

CAPITULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la investigación es analizar la compatibilidad del agregado grueso utilizados en mezclas asfálticas, mediante el método Universal de caracterización de ligantes (UCL), con el fin, de tener una mayor certidumbre de los resultados, dándonos una mayor confianza en esta propiedad en el momento de diseñar y construir la carpeta asfáltica.

Anteriormente se pudieron ver tesis realizadas en Bolivia y una investigación en Cataluña-España con el método UCL, más enfocados en la caracterización y evaluación de las mezclas asfálticas, se observó que este método estudia 4 propiedades importantes en mezclas asfálticas, la cohesión, susceptibilidad térmica, envejecimiento y adhesividad. Este último tiene una gran dependencia con la compatibilidad que deben tener los componentes de las mezclas asfálticas entre ellos. (Moya, 2005) y (OLVERA, 2013)

Por lo que para esta investigación se quiere analizar por medio de este método innovador dicha compatibilidad del agregado grueso en la mezcla asfáltica, utilizando el tipo de árido grueso en triturado o chancado como mejor se lo conoce para poder realizar el análisis deseado y así despejando de cierta manera la certidumbre que puede haber en estos resultados.

Se cree que la investigación a realizarse tendrá un aporte en lo académico para la carrera de Ingeniería Civil, por difundir o en ciertos casos dar a conocer el método UCL que es beneficioso por involucrar ensayos de relativa simplicidad, los cuales nos pueden ayudar a describir las propiedades fundamentales de distintas mezclas asfálticas, con equipo mucho más accesible y mayor rapidez.

Al tener una investigación de análisis de la compatibilidad del agregado grueso se tendrá un respaldo teórico para poder elegir el tipo de agregado en el momento de diseño de una carpeta asfáltica, según las características del lugar y las propiedades que se deseen tener, e incluso para saber el grado de importancia que tiene el tipo de agregado grueso seleccionado al momento de realizar la mezcla asfáltica en la construcción de la carretera.

La investigación será relevante en la construcción de caminos y carreteros y por ende será un beneficio relevante para la sociedad, aportando con su granito de arena para la construcción de calles, caminos carreteros de una mejor calidad.

1.2. ANTECEDENTES

En las últimas dos décadas, mucho esfuerzo científico y tecnológico se ha dedicado al desarrollo de materiales asfálticos para la construcción de carreteras, ya que las especificaciones de éstas son cada día más estrictas.

La tecnología en materia asfáltica se ha enfocado al desarrollo de este tipo de carpeta, buscando que cumpla con: una mayor duración, menor ahuellamientos al paso de vehículos, significativa repelencia al agua (alta hidrofobicidad), resistencia a la radiación ultravioleta, resistencia a la lluvia, aumento al agarre con la llanta, mejor adhesión entre el asfalto y el material pétreo, facilidad para la reparación de baches, etc. Todas estas condiciones impuestas al asfalto, dan como resultado una intensa investigación en este campo, llevando al desarrollo de nuevos materiales asfálticos, así como nuevas formas en las cuales éste puede ser aplicado al substrato pétreo.

Estos y otros aspectos relacionados a la compatibilidad asfalto-agregado, las mezclas asfálticas abiertas y el método UCL han sido tratados por diversos autores algunos de los cuales se indican a continuación.

MUNGUÍA, J. B. (2012). Análisis del comportamiento de asfalto AC-20 proveniente de tres distintas refinerías mediante el método UCL (Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Morelia Michoacán. La investigación se enfoca específicamente al análisis del comportamiento de asfaltos tipo AC-20 que es el más utilizado para la elaboración de mezclas asfálticas empleadas en la construcción de pavimentos flexibles. Cuando se realiza el análisis para la elaboración de mezclas asfálticas para carreteras, por lo regular solo se toma en cuenta la metodología para el análisis de calidad de agregados pétreos y asfalto, los ensayos más comunes para pétreos son: Desgaste de los Ángeles, Densidad, Absorción, Forma de la Partícula, Equivalente de Arena, Interperismo Acelerado, Azul de Metileno, etc. para el asfalto: Viscosidad Dinámica a 60 °C, Viscosidad Cinemática 135 °C, Viscosidad Saybol- Furol a 135 °C, Penetración a 25 °C, Punto de Inflamación, Punto de Reblandecimiento, etc. los cuales

nos definen las características físicas, químicas y mecánicas del material que formará nuestra mezcla asfáltica cada uno por separado, pero no nos reflejará el comportamiento mecánico de la mezcla del agregado pétreo con el asfalto, por lo que se decidió realizar en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo un estudio completo sobre el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente con tres asfaltos tipo AC-20 provenientes de tres refinerías distintas: Salamanca, Salina Cruz y Tula, con un agregado pétreo de la región de Morelia, México. Donde podremos obtener las “Curvas de Estado” para la cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento de los tres asfaltos tipo AC-20 y poder apreciar cual mezcla asfáltica tuvo mejor desempeño después de haber sido sometidas a los distintos procesos y corroborar que el Método UCL es una excelente opción para obtener un estudio más completo de los asfaltos que formarán parte de las mezclas asfálticas en caliente.

CHILQUINGA, T. J. (2015). Método de diseño de mezclas asfálticas abiertas en caliente como capa de alivio (Tesis de grado, Escuela de formación de Tecnólogos). Escuela Politécnica Nacional de Quito. Este trabajo especial de grado, se analizó el método de diseño para mezclas abiertas. El diseño de la mezcla asfáltica abiertas del tipo Open - Graded es muy diferente al aplicado para las mezclas convencionales, en el cual utiliza la “Metodología Marshall”. El diseño estará basado en el ensayo “RP” desarrollada en Chile, el cual determinará el contenido óptimo de asfalto de una mezcla abierta, mediante la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada, a las briquetas de mezcla asfáltica abierta fabricadas con distinto contenido de ligante, tomando en cuenta que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración. Las metodologías conocidas como Cántabro y australiana, muy utilizadas, ayudan a valorar las acciones abrasivas del tránsito y la influencia del agua simuladas en laboratorio. Las de RP y de Tracción Indirecta, en cambio, son metodologías más sencillas, la primera basada en la obtención de un esfuerzo de penetración y la segunda por un esfuerzo de tracción por comprensión diametral. Es de interés estudiar estas metodologías de investigación, al fin de obtener una segura y rápida mezcla drenante, como lo ha sido la metodología Marshall para las mezclas tradicionales. Partiendo de lo establecido que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel con el que se logra

obtener el mayor esfuerzo a la penetración y se verifica con la resistencia a la compresión diametral, el contenido “ideal” de asfalto es 3.7%.

RIOJA, H. (2000). “RP” método experimental para diseño de mezclas asfálticas abiertas (Investigación, Etapa exploratoria). Ministerio de obras públicas Chile. Este trabajo describe el ensayo "RP", creado en Chile, que en forma resumida consiste en la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta fabricadas con distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima, es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración. La influencia de la temperatura, características de los áridos y tipo de ligante escapan al alcance de este estudio. El método inicialmente utilizado para el diseño de esta mezcla fue el de espesor de película. De acuerdo a este método, el contenido de asfalto óptimo fue 2,7[%] de asfalto referido al agregado seco determinado según LNV-17. Por otro lado, debido al bajo valor de área superficial de los áridos (4,92[ft²/lb]) el contenido de asfalto mínimo para cumplir con la especificación de esta obra (25 [micrones]) fue sólo 2,5 [%] de asfalto, Las pruebas de terreno preliminares de esta mezcla fabricadas con un contenido de asfalto de 2,7 [%], mostraron problemas de cohesión de la mezcla (Rioja, 2000). Por esta razón la empresa constructora procedió a incrementar el contenido de ligante determinando empíricamente que con un porcentaje de bitumen de 3,3 [%]. Después de realizados gran cantidad de estudios, se encontró un método de ensayo que aplicado a los materiales provenientes del proyecto “Portillo”, arrojaban como resultado un contenido óptimo de asfalto igual a 3,4 [%] referido al agregado seco.

ARROYO, T. Y RODRIGUEZ, M. (2010). Análisis comparativo de diseños de mezclas asfálticas en caliente, empleando cemento asfáltico AC-20 y AC-30, utilizando agregados de la empresa AGREMACA (Tesis de pregrado, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Colombia. El propósito de esta investigación es de analizar variables comparativas entre dos tipos de cementos asfálticos AC-20 y AC-30 empleando ensayos avalados por la norma COVENIN. Este trabajo de investigación en la actualidad es sumamente importante ya que a través de él podemos dar fin parcialmente al mal diseño de pavimentos, debido a que existen muchos problemas con respecto a disponibilidad de trabajo en cuanto a la intermitencia de despacho de ligante asfáltico a las plantas

productoras de asfalto del país, ya que dependiendo a la situación geográfica de cada planta refinadora se generan tipos específicos de cemento asfáltico. Este trabajo tiene como objetivo principal crear un diseño de mezcla característico dependiendo del tipo de agregados a utilizar que en este caso es de una planta productora de piedra ubicada en el estado de Falcón llamada AGREMACA (AGREGADOS MANA URE C.A), la cual genera agregados derivados para mezclas tipo IV según las especificaciones de la norma COVENIN, obteniendo así mediante la metodología Marshall un porcentaje óptimo de cemento asfáltico, necesario para la comparación entre dichos ligantes asfálticos. Datos que son de relevante importancia para el buen funcionamiento y durabilidad en las mezclas asfálticas en caliente tipo IV. Este trabajo es de tipo descriptivo se busca especificar las propiedades características y rasgos de la mezcla asfáltica empleando dos tipos de cemento asfáltico y así obtener la condición ideal de cemento óptimo para dicha mezcla. Mediante los ensayos se obtuvo un óptimo de 5.0% de cemento asfáltico empleando un ligante asfáltico tipo AC-20 y un óptimo de 5.4% de cemento asfáltico empleando un ligante asfáltico tipo AC-30, datos necesarios para los análisis comparativos de ambos diseños.

MONTENEGRO, M. A. (2015). Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas utilizando agregados de la cantera San Martín con cemento asfáltico PEN60/70 y emulsión asfáltica CSS-1HP (Tesis de postgrado, Universidad privada Antenor Orrego). Trujillo, Perú. El objetivo de estudio fue determinar el grado de compatibilidad de los agregados, su porcentaje optimo y su diseño de mezcla asfáltica en caliente y frio elaboradas con cemento asfáltico PEN 60/70, emulsión asfáltica CSS-1HP y los agregados pertinentes, en la ciudad de Trujillo–La libertad, obteniendo a través de métodos de ensayos en laboratorios de mecánicas de suelos y pavimentos con mezclas asfálticas en Caliente y en Frio, el procesamiento de dichos ensayos se utilizó, tablas, gráficos, imágenes, etc. Además, con el apoyo de normas propuestas por la ASSHTO y ASTM respectivamente. Este proyecto se realizó con la cantera San Martin ubicada en la carretera Panamericana Norte, Según los análisis de los resultados de ensayos mediante el método Marshall el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica en caliente empleando cemento asfáltico PEN 60/70 tiene un valor de 6% con un diseño de 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino. En el resultado realizado también con el método Marshall de mezcla asfáltica en frio su porcentaje óptimo empleado emulsión asfáltica CSS-1HP tiene un valor de 6% con un

diseño de 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino, además debemos de tener en cuenta que para la mezcla tenemos un 60% de emulsión asfáltica y 40% de agua. De acuerdo con el comportamiento de estabilidad de la mezcla asfáltica en Caliente tenemos como resultado de 11817 N y para una mezcla asfáltica en Frio tiene un valor de 10963N, estos resultados cumplen las especificaciones para un tránsito pesado de carpeta y base, según mencionados por el instituto de Asfalto americano para el diseño Marshall.

1.3. JUTIFICACIÓN

Desde el punto de vista académico estoy realizando esta investigación, porque a pesar de que ya existen otros estudios sobre este tema o variable no se han encontrado esta metodología en los estudios, siendo innovadora y de una mayor facilidad en su procedimiento que involucra ensayos de relativa simplicidad, los cuales nos pueden ayudar a describir las propiedades fundamentales de distintos tipos de mezclas asfálticas, con equipo mucho más accesible y mayor rapidez, por estas razones consideramos que este estudio estará llenando un vacío para ampliar dicha investigación.

Por lo tanto, el análisis de la compatibilidad de los agregados gruesos utilizados en mezclas asfálticas mediante el método universal de caracterización de ligantes (UCL), es necesario que cumplan con los estándares de calidad para su proceso de desarrollo.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1. Situación problemática

La compatibilidad entre el agregado grueso y el asfalto es un aspecto crítico en la construcción de carreteras. Por lo que la selección adecuada de los agregados y ligante asfáltico es esencial para asegurar una buena funcionalidad de sus propiedades fundamentales y un rendimiento óptimo del pavimento.

Uno de los principales problemas es la compatibilidad de los agregados gruesos utilizados en mezclas asfálticas, que no dan certidumbre en sus propiedades fundamentales, dando como resultado una mezcla asfáltica deficiente en este aspecto.

En donde se puede llegar al siguiente pronóstico que al no realizar la presente investigación mantendría la incertidumbre con relación a las mezclas asfálticas, generando desconfianza en esta propiedad.

La perspectiva a la que podemos llegar es que dicha certidumbre se podrá solucionar realizando un análisis de la compatibilidad entre el agregado grueso y las mezclas asfálticas, mediante el ensayo de caracterización de mezclas asfálticas abiertas, en donde el método utilizado será el método universal de caracterización de ligantes (UCL).

1.4.2. Formulación del problema

¿En qué medida la compatibilidad de los agregados gruesos influye en las mezclas asfálticas según el método universal de caracterización de ligantes (UCL)?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Analizar la compatibilidad de los agregados gruesos utilizados en mezclas asfálticas, mediante el método universal de caracterización de ligantes (UCL), con la finalidad, de tener una mayor certidumbre de los resultados, logrando de tal manera saber la influencia que tiene esta variable en las mezclas asfálticas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el agregado grueso que será utilizado en la mezcla.
- Caracterizar el tipo de ligante asfáltico que se utilizará.
- Realizar el diseño de mezclas asfálticas abiertas de acuerdo a la norma vigente.
- Elaborar las briquetas Marshall para su aplicación por el método seleccionado.
- Aplicar el método Universal de caracterización de ligantes (UCL).
- Analizar los resultados de manera estadística.

1.6. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS Y SUS VARIABLES

1.6.1. Formulación de la hipótesis

La compatibilidad de los agregados gruesos en mezclas asfálticas según el método universal de caracterización de ligantes (UCL) es significativamente elevada.

1.6.2. Conceptualización y operacionalización de variables

a) Variable:

La compatibilidad

b) Operación de la variable

Tabla 1 Operacionalización de la variable

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
La compatibilidad	Análisis de la compatibilidad de los agregados gruesos utilizados en mezclas asfálticas mediante el método universal de caracterización de ligantes (UCL)	Muestreo de agregados gruesos	Gramos (gr)	En campo con el equipo y la metodología normada
		Ensayos de caracterización de los agregados	Porcentaje (%) y gramos (gr)	En laboratorio con el equipo y la metodología normada
		Ensayos del cemento asfáltico	Porcentaje (%); centímetros (cm); gramos(gr) y grados Celsius (°C)	En laboratorio con el equipo y la metodología normada
		Diseño de mezclas asfálticas abiertas	Porcentaje (%)	En laboratorio con los métodos y equipos normados
		Muestras Marshall	Gramos (gr)	Se preparan muestras según la metodología Marshall.
		Tratamiento de muestra antes de ensayo	Grados Celsius (°C)	24 horas en un horno con ventilación forzada a 25°C
		Método UCL	Porcentaje (%)	En laboratorio con el equipo y la metodología normada

Fuente: Elaboración propia.

1.7.ALCANCE

La redacción de la hipótesis demuestra que se trata de una descripción de la variable existente en donde se tendrá que realizar una recolección de datos para un posterior análisis, dicha variable ocurre en un momento único o mejor dicho que la toma de datos se realizara en una única ocasión y no así a lo largo del tiempo, esto se debe porque antes de realizar el ensayo para obtener un resultado, la muestra que en este caso es una briqueta pasa por un acondicionamiento previo para obtener el dato buscado.

Al ser de esta manera nos encontramos en un **diseño no experimental**, en el tipo de diseño que nombramos nos dice que la variable no es manipulable por el investigador y, se basa en la observación, para después hacer un posterior análisis, tal y como para este caso se describió.

Según las sub divisiones que tiene el tipo de diseño no experimental se puede clasificar según el momento de toma de datos. Para la variable existente en esta investigación es en un momento único por lo que nos dirige dentro de la clasificación **transeccional o transversal**.

Por último, definimos una última sub división que existe en la investigación transeccional, al tratarse de una investigación que tiene como objetivo la descripción de la variable que afecta a la ocurrencia de un fenómeno como ser una buena o mala compatibilidad y el rendimiento optimo del pavimento, esta descripción es individual hacia la variable en estudio.

Lo que nos indica en el anterior párrafo se determina que el alcance de la investigación es de tipo **descriptivo transeccional**.

CAPITULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. PAVIMENTOS

Son las estructuras de la carretera formada por una o más capas de material granular seleccionado y colocado directamente sobre la subrasante del suelo natural, lo cual posteriormente es protegido por una capa asfáltica de rodamiento o una de concreto de cemento Portland, con o sin armadura metálica (Arroyo y Rodríguez, 2010, p. 19).

También es definido como toda estructura artificialmente alisada en su superficie y destinada a transmitir a la subrasante sobre la que descansa, los efectos de las cargas estáticas o en movimiento, resistiendo los efectos destructivos del tránsito y los agentes atmosféricos, y está formado por las capas de subbase, base, rodamiento y sello (Veliz, 2016, p. 1).

2.2. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS

Los pavimentos pueden clasificarse de diferentes maneras, atendiendo a las consideraciones siguientes:

A.- Por el lugar en que prestan servicio

A.1. Pavimentos para viviendas. – Son aquellos que se construyen en las viviendas y zonas aledañas. Debido a reducidas cargas que soportan su función principal es ornamental. En este tipo de pavimentos se debe prestar atención a la textura, suavidad, color, condiciones acústicas y térmicas. Podemos citar como ejemplo los pisos de granito, parquet, cerámico, losetas, etc.

A.2. Pavimentos para zonas urbanas. – Los que se construyen en calles, avenidas, paseos, parques, etc. Se incluyen veredas, zonas peatonales de parques y plazas, pavimentos de calles, que se construyen en las zonas urbanas. También debe considerarse el aspecto ornamental. Se puede utilizar losas de concreto, lajas de piedra, bloques de granito, ladrillo, prefabricados, etc.

A.3. Pavimentos para carreteras. – Los utilizados en vías carrozables, de uno o más carriles. Consta de una o más capas y sus dimensiones deben diseñarse estructuralmente, para soportar las solicitaciones del tránsito vehicular, teniendo en consideración, además,

la calidad del terreno de fundación y de los materiales empleados. Pueden utilizarse suelos estabilizados, pavimentos asfálticos, de concreto de cemento Portland o una combinación de estos.

A.4. Pavimento para aeropuertos. – Aquellos que se construyen en las pistas de aterrizaje y zonas de parqueo de aviones en los aeropuertos. Soportan grandes cargas, así como efectos muy altos de abrasión, lo que exige consideraciones especiales para el diseño estructural y de la calidad de los materiales, por lo que su costo resulta elevado. En este caso se utilizan concretos asfálticos o de cemento Portland y los pavimentos mixtos.

A.5. Pavimento para malecones portuarios y muelles. – Necesitan un tratamiento especial, ya que se construyen sobre estructuras artificiales como son los muelles y generalmente soportan cargas estáticas, debido a la presencia de grúas.

B.- Por la forma en que transmiten la carga a la subrasante

B.1. Pavimentos flexibles. – Son aquellos que tienen una base flexible o semirrígida, sobre la cual se puede construir una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de alquitrán, brea o asfalto. Por ser flexibles se adaptan al terreno y a ciertos asentamientos diferenciales de sí mismos.

B.2. Pavimentos rígidos. – Son aquellos en los cuales la capa de rodamiento está formada por concreto de cemento Portland, con o sin armadura metálica.

B.3. Pavimentos mixtos, o compuestos. – Son aquellos que resultan de la combinación de los tipos anteriores. Se construyen cuando la resistencia requerida del pavimento es muy alta, o para la rehabilitación de pavimentos existentes.

C.- Por los materiales con los que están hechos

C.1. Suelos estabilizados. – Son los pavimentos compuestos de una mezcla controlada de suelos nativos y de “aditivos”, como asfalto, cemento Portland, cloruro de calcio y, en ciertas ocasiones, arcilla y arena u otro material granular; con la finalidad de aumentar su resistencia al corte y a los esfuerzos abrasivos, usados sobre todo para tráfico bajo y liviano. Los suelos estabilizados también servir como excelente base para ciertos tipos de pavimentos.

C.2. Pavimentos bituminosos. – Se agrupan en esta categoría aquellos pavimentos cuya superficie de rodadura lo constituye una mezcla de agregados y material bituminoso,

generalmente asfalto, asentados sobre una o más capas de material granular. Su comportamiento estructural es de tipo flexible, pero si las capas inferiores lo forman suelos estabilizados de alta rigidez y resistencia mecánica, su flexibilidad puede disminuir y a veces desaparecer, adoptando un comportamiento semirrígido o rígido.

C.3. Pavimento de concreto de cemento Portland. – Son estructuras en las que la losa absorbe los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito y los transmite en grandes áreas del terreno de fundación directamente o a través de una o más capas de material granular. Las losas pueden ser de concreto simple, armado, o tensionado y su comportamiento es de naturaleza rígida.

C.4. Pavimentos varios. – Se agrupan bajo esta clasificación los pavimentos construidos de piedra, ladrillo, madera, láminas metálicas, fibra sintética, etc. Que cubren requisitos estéticos, térmicos o de otro tipo.

D.- Por su calidad

D.1. Pavimentos económicos. – Son los de menor costo de construcción, dentro de los que podemos considerar a los suelos estabilizados y a los tratamientos superficiales.

D.2. Pavimento de tipo intermedio. – Costo un poco más elevado que los anteriores, como generalmente lo son las mezclas baratas de asfalto in situ o en planta, macadam de penetración y similares.

D.3. Pavimento de tipo superior. – Son más costosos, utilizados generalmente en carreteras de primera clase, carreteras duales y en aeropuertos importantes. Aquí se incluyen los pavimentos de concretos asfálticos, concretos de cemento Portland, mixtos, los mosaicos, etc.

D.4. Pavimentos de lujo. – Son los que además de cumplir requisitos estructurales especiales, cumplen funciones estéticas y ornamentales. Podemos considerar dentro de este tipo, los pavimentos de adoquines de vidrio, enlosados, etc.

(Horna, 2011, p. 35-37)

2.3. MATERIALES DE LA CARPETA ASFÁLTICA

Están conformados por agregados o áridos, y asfalto líquido, los cuales al ser combinados mediante distintos métodos forman las mezclas asfálticas, y estas mezclas a su vez pueden ser frías o en caliente, según la forma en que son preparadas.

a) Agregados

Según Lynch es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezclas asfálticas en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El comportamiento de la mezcla se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante (Montenegro, 2015, p. 18).

En los concretos asfálticos, los agregados normalmente constituyen del 90 al 95% del peso total o entre el 80 y el 85% del volumen de la mezcla. Son los principales responsables de la capacidad de soportar las cargas de las mezclas asfálticas; por ello se hace necesario realizar un análisis de sus propiedades para el buen diseño y comportamiento de las mezclas asfálticas (Arroyo y Rodríguez, 2010, p. 24).

b) Agregado grueso

Se conoce como agregado grueso al material proveniente de la desintegración de la roca de origen volcánico y que por su tamaño queda retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm).

Está elaborado bajo cumplimiento de la norma NTE INEN 872, equivalente a la norma ASTM C33 (HOLCIM, 2023).

Árido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm cuando se emplea en hormigón y 2,5 mm cuando se utiliza en asfalto (ABC, 4ta Edición).

c) Agregados finos

Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm (hormigón) y 2,5 mm (asfalto) y es retenido en el de 0,75 mm (ABC, 4ta Edición).

2.4. CEMENTO ASFÁLTICO.

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio asphatu o asphallo, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar. De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt). Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre (Pfeiffer. J. , 1950, p. 3).

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dio lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones (Villar, 2000).

Tabla 2 Historia del Asfalto

AÑO	USO
6000 a. C.	En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó como mortero.
3200-2600 a. C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
2600-540 a. C.	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
300 a. C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamientos.
1802 d. C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras
1838 d. C.	En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras
1870 d. C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga.
1876 d. C.	Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado.
1902 d. C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año.

Fuente: Conferencia: Esquema Actual y Futuro de Producción de Asfaltos en PEMEX Refinación. Ing.: Jorge Rodríguez Villar. 2000

A. Definición

El asfalto se define como una mezcla de hidrocarburos, derivado del petróleo naturalmente o por destilación. (Pfeiffer. J. , 1950)

B. Producción del asfalto

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

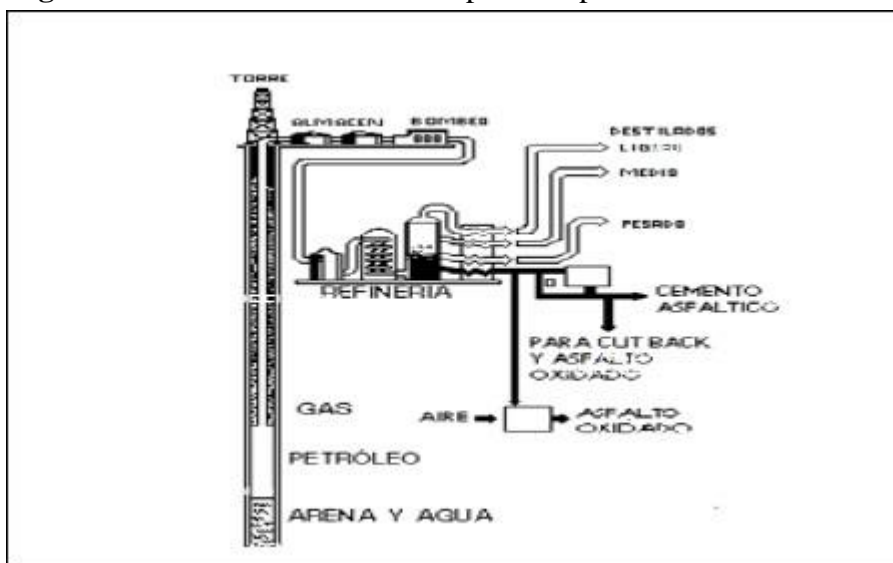
- destilación por vacío
- extracción con solventes

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia.

(PFEIFFER, 1950.)

Figura 1 Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto



Fuente: Guide for Hot Mix Asphalt Pavement. NAPA.

C. Composición química del asfalto

Está constituido por tres grupos básicos: asfaltenos, resinas y aceites (aromáticos y saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las micelas, en las cuales el núcleo o agregado es el asfalteno (Villar, 2000).

En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80- 85% de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. Los asfaltenos son producto de la condensación de las resinas.

Tabla 3 Composición química del asfalto

Elemento	Concentración (%)
Carbono	82-88%
Hidrogeno	8-11%
Azufre	0-6%
Oxigeno	0-1,5%
Nitrógeno	0-1%

Fuente: Conferencia. Introducción a la química del asfalto por: Ing. German Garzón, Costa Rica, 2004.

D. Propiedades físicas del asfalto de pavimentación

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

D.1. Durabilidad: es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

D.2. Adhesión y cohesión: la adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

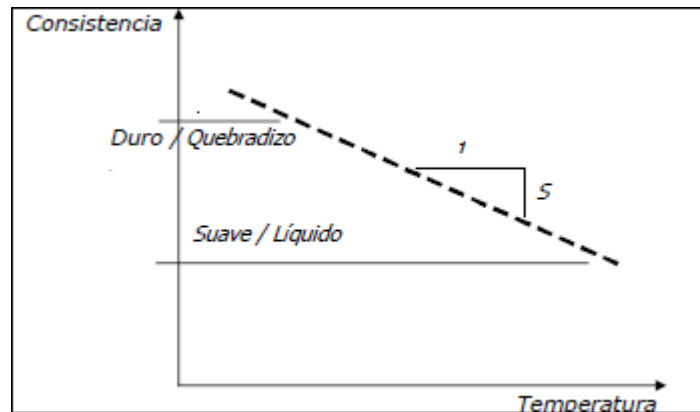
D.3. Susceptibilidad a la temperatura: el asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

Figura 2 Comportamiento del asfalto



Fuente: Principios de Construcción de Mezclas Asfáltica en caliente. Asphalt Institute.

La gráfica muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

D.4. Endurecimiento y envejecimiento: Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

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

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

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

D.5. Pureza: El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue pérdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100°C (212°F). La pureza de un cemento asfáltico está definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

(CRUZ, 2007, p.5-8)

E. Clasificación de los asfaltos de pavimentación

De acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos generales:

E.1. Cementos asfálticos: Se dividen bajo tres diferentes sistemas, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

E.1.1. Caracterización por penetración: Se aplica la norma ASTM D- 946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Esta abarca los siguientes grados de penetración:

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

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

E.1.2. Caracterización por viscosidad: Se aplica la norma ASTM D- 3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

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

E.1.3. Caracterización por comportamiento: Este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), aunque también está incluido en la norma ASTM D-6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento) incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica. La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer. Se puede envejecer el asfalto a corto y largo plazo, posteriormente se mide su viscosidad.

E.2. Asfaltos rebajados: Conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo. Existen tres clases:

E.2.1. Asfalto de curado rápido (RC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

E.2.2. Asfalto de curado medio (MC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente como la kerosina de media volatilidad.

E.2.3. Asfalto de curado lento (SC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

E.3. Asfaltos emulsificados: Es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que

normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

E.3.1. Emulsión aniónica: Los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.

E.3.2. Emulsión catiónica: Los glóbulos de asfalto están cargados positivamente.

(ASTM, 1898.)

F. Especificaciones sobre cementos asfálticos

En Guatemala, la Dirección General de Caminos es la entidad encargada de velar porque se cumplan las especificaciones sobre asfaltos de pavimentación, incluidas en el libro ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES, (año 2001) en la sección 401 (Pavimentos de concreto asfáltico en caliente). Estas se basan en las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Tabla 4 Normas AASHTO Y ASTM aplicables a asfaltos

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Viscosidad	T - 201 T - 2020	D - 2170 D - 2171
Penetración	T - 49	D - 5
Punto de inflamación	T - 48	D - 92
Prueba de película delgada en horno	T - 179	D - 1754
Prueba giratoria de película delgada en horno	T - 240	D - 2872
Ductilidad	T - 51	D - 113
Solubilidad	T - 44	D - 2042
Peso específico	T - 228	D - 70
Punto de ablandamiento	T - 53	D - 3695

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente,

Condensado por: Dina Avellán.

2.5. MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Una mezcla en caliente de pavimento asfáltico consiste en una mezcla uniforme de asfalto y agregado caliente. Es el tipo de mezcla de mayor protección para bases flexibles, colocadas en caliente. Poseen una gran resistencia estructural y debidamente diseñadas y compactadas son mucho menos penetrables por el agua que las mezclas asfálticas en frío, por lo tanto, son apropiadas para todos los tipos de tráfico (Pfeiffer. J. , 1950).

De acuerdo con el Asphalt Institute en una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Se dividen en arena asfalto en caliente y en concretos asfálticos.

Los concretos asfálticos consisten en una o varias capas compactadas de una mezcla de agregados minerales y cemento asfáltico, producido en las plantas destinadas a este fin, o en la vía. Este tipo de concreto asfáltico se puede emplear como capa de rodamiento para tráfico liviano, mediano o pesado.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) clasifica el tráfico en:

1. Tráfico Ligero:

- Frecuencia y Tipo de Vehículos: Principalmente automóviles de pasajeros y vehículos ligeros, con pocos vehículos comerciales pequeños.
- Volumen de Tráfico: Baja densidad de vehículos. Esto incluye calles residenciales, caminos rurales y áreas de estacionamiento.
- Cargas Aplicadas: Relativamente bajas, lo que requiere menos resistencia y durabilidad en los materiales.

2. Tráfico Intermedio:

- Frecuencia y Tipo de Vehículos: Mezcla de automóviles de pasajeros, vehículos ligeros y una mayor cantidad de vehículos comerciales pequeños y medianos.

- Volumen de Tráfico: Densidad de tráfico moderada, incluyendo vías arteriales secundarias y algunas calles comerciales.
- Cargas Aplicadas: Moderadas, requiriendo materiales con mayor resistencia y durabilidad que los utilizados para tráfico ligero.

3. Tráfico Pesado:

- Frecuencia y Tipo de Vehículos: Alta frecuencia de vehículos comerciales pesados, camiones de carga y autobuses.
- Volumen de Tráfico: Alta densidad de vehículos. Esto incluye carreteras principales, autopistas y zonas industriales.
- Cargas Aplicadas: Altas, lo que exige materiales de construcción muy resistentes y duraderos.

2.6. COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICOS.

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

El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características según Maila (2013) son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

2.7. MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES (UCL)

Las metodologías actuales de caracterización y evaluación de desempeño, tanto de ligantes asfálticos como de mezcla asfáltica, involucran generalmente el uso de equipos muy costosos, y procedimientos de evaluación complejos y de larga duración. Este es el caso de metodologías como la Superpave, la cual para caracterizar las mezclas adecuadamente, principalmente cuando se trata de proyectos de alta importancia, requiere de una extensa cantidad de ensayos, lo que involucra largos y costosos períodos de análisis de la mezcla en el laboratorio. Adicionalmente, puesto que la tecnología no se ha terminado de desarrollar completamente, existen ensayos como los realizados para la medición de la deformación permanente, o la correlación con la misma (puesto que en muchos de los casos no mide directamente el tipo de deterioro) que requieren de equipos de operación y mantenimiento costoso.

Es por esto que se plantea el siguiente proyecto de investigación, con el fin de evaluar un método alternativo para la caracterización de ligantes (UCL), que involucra ensayos de relativa simplicidad, los cuales nos pueden ayudar a describir las propiedades fundamentales de distintos tipos de ligantes asfálticos, con equipo mucho más accesible y mayor rapidez.

El Método Universal de Caracterización de Ligantes, o UCL, fue desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña. Este método fue desarrollado con el fin de evaluar y caracterizar ligantes asfálticos que van a ser usados en mezclas asfálticas, para capas de rodadura de carreteras. Este método se apoya en el ensayo del Cántabro de la norma española “NLT-352/86”, que a su vez depende de la normativa para el ensayo en la Máquina de Los Ángeles “NLT-149/91”. Las propiedades de la mezcla asfáltica estudiadas son (Moya, 2005):

- La cohesión, o poder aglutinante de la mezcla.
- La susceptibilidad térmica. Dado que los ligantes asfálticos son materiales viscoelásticos, sus propiedades varían con la temperatura y frecuencia de carga.
- La adhesividad. Esto se refiere a la adherencia ligante agregado bajo el efecto del agua.
- El envejecimiento. Debido a los efectos del entorno (aire y calor entre otros) se produce oxidación y envejecimiento de los ligantes rigidizando la mezcla.

A. Mezcla patrón

Según estudios realizados por la Universidad Politécnica de Cataluña, se debe fabricar una mezcla patrón a partir de agregado sanos y limpios, con un desgaste de Los Ángeles inferior al 25%, y de una absorción inferior al 1,5%. Se han utilizado dos granulometrías abiertas de diferente tamaño:

Tabla 5 Granulometría patrón

Malla (mm)	% Pasando	
	Granulometría T - 5	Granulometría T - 10
12,50	100	100
10,00	100	82
5,00	100	38
2,50	80	6
0,63	0	0

Fuente: Reporte de investigación LM- PI - PV- IN- 36 – 05 Método universal de caracterización de ligantes (UCL).

De las granulometrías anteriores, recomiendan la T – 5, por ser la que da menores dispersiones en el ensayo cántabro y proporciona un mayor porcentaje de vacíos en la mezcla, lo que facilita la circulación de aire por la probeta en el ensayo de oxidación.

La probeta se fabrica siguiendo el procedimiento Marshall, pero empleando en la compactación únicamente 50 golpes por cara. El peso del agregado para la elaboración de la probeta suele ser de 1000 g. El porcentaje del ligante asfáltico es de 4,5 % PTA (peso total de agregado).

Las condiciones de ensayo de la probeta varían según la variable estudiada: susceptibilidad térmica, adhesividad o envejecimiento.

En el caso de estudiar la susceptibilidad térmica, las probetas se mantienen en el congelador u horno a la temperatura de ensayo (varía de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$), el tiempo necesario para que las probetas tomen la temperatura de ensayo, y se realiza este con la máxima premura en la máquina de Los Ángeles, que debe encontrarse en una habitación a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para estudiar la adhesividad, las probetas se ensayan en la máquina de Los Ángeles, a la temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, debiendo transcurrir un día desde su extracción del baño (las condiciones de inmersión de las probetas pueden variarse según las necesidades del estudio, aunque recomiendan 4 días a $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 1 día a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) y su ensayo.

Finalmente, para analizar el envejecimiento⁶, se someten las probetas a envejecimiento a 163 °C durante diferentes períodos de tiempo (5, 10, 15 y 20 horas), y luego se ensayan las probetas en la máquina de Los Ángeles, a la temperatura de 25 °C.

(MOYA, 2005.)

B. Ventajas del método UCL

- El ensayo es suficientemente sensible para diferenciar el comportamiento de distintas mezclas asfálticas.
- La idoneidad del ensayo UCL de pérdida por desgaste para valorar las propiedades fundamentales de las mezclas asfálticas, permitiendo establecer un método completo de caracterización, basado en un único ensayo, rápido, sencillo y suficientemente preciso
- El ensayo es capaz de evaluar directamente el comportamiento integrante de la mezcla, y no el del material original que se desea estudiar el cual no ha experimentado calentamiento alguno o el proceso de elaboración de la mezcla.
- El ensayo permite valorar de forma general la mezcla asfáltica y también de forma específica para cada uno de sus componentes de la mezcla, asiendo variar el componente a ser estudiado y manteniendo constante los demás.

C. Desventajas del método UCL

- El ensayo se debe realizar con el suficiente cuidado por varios factores que pueden intervenir en la toma de resultados, como ser, Porcentaje de árido fino, Granulometría del árido fino, Tipo y naturaleza del árido fino, Porcentaje de filler, Tipo y naturaleza de filler, Granulometría del árido grueso, Tipo y naturaleza del árido grueso, Porcentaje de ligante, Tipo y naturaleza del ligante, Temperatura de ensayo. Los cinco primeros factores pueden ser eliminados si se ensayan probetas fabricadas únicamente con el árido grueso y ligante.
- El ensayo UCL, por ser un ensayo experimental, no determina ningún parámetro fundamental de la mezcla, como podría ser el ángulo de rozamiento, el módulo, etc. Pero sí da una idea clara de la capacidad de la mezcla para mantenerse unida, cuando estas uniones sean dúctiles y tenaces, las pérdidas son bajas, y cuando resultan frágiles o poco consistentes, las pérdidas aumentan.

2.8. MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre 12,5 milímetros “1/2 in” y 6,3 milímetros “1/4 in”, que satisfaga los requisitos de calidad (OLVERA, 2013).

Es un aglomerado de un ligante y áridos de granulometría abierta o discontinua (aquella en la que aparecen las partículas, en su mayoría, distribuidas entre dos tamaños extremos, con una proporción relativamente baja en los demás tamaños), o sea aquellos que carecen o tienen muy poco polvo mineral, y en los cuales los vacíos en los áridos una vez compactados son relativamente altos (ABC, 4ta Edición).

A. Materiales para mezcla abierta en caliente

Según las normas y especificaciones 2012 INVIAS los materiales que conformaran la mezcla asfáltica de granulometría abierta deben cumplir las siguientes especificaciones.

Tabla 6 Niveles de tránsito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño, N_{80kN} , millones
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kN} > 5.0$

Fuente: Art. 100. Ámbito de aplicación, términos y definiciones. Normas y especificaciones 2012 INVIAS.

A.1. Agregados pétreos

Los agregados pétreos deberán satisfacer los requisitos del Artículo 400, numeral 400.2.1. Además, deberán cumplir con los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 7

Tabla 7 Requisitos de los agregados para mezcla abierta en caliente

Características	Norma de ensayo INV	nivel de transito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso				
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%)	E-218			
500 revoluciones		35	35	35
100 revoluciones		7	7	7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238		30	25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224			
Valor en seco, mínimo(kN)				90
Relación húmeda/seco, mínimo (%)				75
Durabilidad(O)				
Perdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio del agregado grueso, máximo (%)	E-220	18	18	18
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5	0,5	0,5
Geometría de partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara / dos caras	E-227	60/-	75/-	75/-
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia de agua hirviendo, mínimo (%)	E-757	Reportar		

Fuente: Normas y especificaciones 2012 INVIAS

El conjunto de agregado grueso y agregado fino se deberá ajustar a alguna de las gradaciones indicadas en la Tabla 8

Tabla 8 Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente

Tipo de mezcla	Tamiz (mm/U.S. Standard)									
	75	63	50	37,5	19	9,5	4,75	2,26	0,15	
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°100	
% pasa										
MAC-75	100	95-100	-	30-70	3-20	0-5	-	-	-	
MAC-63	-	100	-	35-70	5-20	-	-	0-5	-	
MAC-50	-	-	100	75-90	50-70	-	8-20	-	0-5	
Tolerancia en producción sobre la fórmula de trabajo	5%							3%		

Fuente: Normas y especificaciones 2012 INVIAS

Salvo que los estudios del proyecto indiquen lo contrario, se empleará la gradación tipo MAC-50.

A.2. Material bituminoso-cemento asfáltico

Será cemento asfáltico del tipo especificado en los documentos del proyecto; si estos no lo especifican, será cemento asfáltico de penetración 60-70, que cumpla los requisitos indicados en el Artículo 410.

A.3. Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deberán cumplir con los requisitos del Artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deberán tener la aprobación del Interventor. El Constructor deberá garantizar que su incorporación no producirá ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, será de responsabilidad exclusiva del Constructor, quien deberá efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste.

2.9.MARCO NORMATIVO.

2.9.1. Ensayo de los agregados.

A. Método para extraer y preparar muestras (ASTM C 75; AASHTO T2-91)

A.1. Objeto

Este método establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensaye. Se aplicará a los áridos naturales y manufacturados de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg /m³.

A.2. Definiciones

- Muestra de yacimiento

Muestra representativa del árido en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

- Muestra de producción

Muestra representativa de un árido removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras, o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

- Muestra de obra

Muestra representativa de un árido que se encuentra en una obra, ya sea sobre vehículos o almacenado.

- Muestra gemela

Conjunto de dos o más fracciones de muestra, separadas por cuarteo según Método A0505. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensaye (operador, equipo, etc.) en la dispersión de los resultados.

A.3. Equipos y materiales

Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sea necesario considerar para los procedimientos que se establecen en el presente método.

A.4. Extracción y preparación de la muestra

- Aspectos generales

Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, el muestreador debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener muestras que sean representativas del material que se va a analizar. Para ello, personal debidamente experimentado debe

inspeccionar el material por muestrear en superficie o a través de pozos de prueba o sondajes, según corresponda, a fin de determinar su homogeneidad con un adecuado nivel de confiabilidad.

- Tamaño de la muestra

a) Muestra de terreno. La cantidad de muestra tomada en terreno debe ser tal que represente la naturaleza y condición de los áridos. Redúzcala por cuarteo hasta obtener una cantidad de al menos el doble de la requerida como muestra de laboratorio, conservando el material restante de la reducción como contramuestra ante cualquier eventualidad.

b) Muestra de laboratorio. La cantidad de muestra necesaria para ser enviada al laboratorio depende del tipo y número de ensayos a los cuales será sometido el material. Generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes:

Árido fino: 30 kg.

Árido grueso: Una cantidad en kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto del árido grueso, expresado este último en mm.

Árido integral: En este caso se cumplirá simultáneamente con las cantidades mínimas requeridas para los distintos tipos de áridos antes mencionados.

A.5. Extracción de muestras para reconocimiento de yacimientos

7. Procedimientos de extracción

a) Yacimiento con frente descubierto. Inspeccione la(s) cara(s) del yacimiento, para determinar variaciones importantes o existencia de estratos. Extraiga muestras por fajas verticales del frente de explotación, de acuerdo con la homogeneidad del material, la forma de explotación y la facilidad de acceso. Registre el ancho de la faja, la profundidad horizontal y las cotas verticales de extracción de muestras si ello es procedente, además registre las diferencias observables en el color y la estructura.

b) Yacimiento sin frente descubierto. Extraiga muestras representativas de los diferentes estratos, identificados en cada pozo de prueba o sondaje, tomando tres o más porciones de cada uno de ellos. Registre la profundidad relativa de extracción de la muestra y el espesor del (de los) estrato(s).

8. Frecuencia de muestreo

- a) En yacimientos con frente descubierto, extraiga muestras de fajas verticales ubicadas a distancias inferiores a 30 m.
- b) En yacimientos sin frente descubierto, ejecute al menos un pozo de prueba o sondaje cada 5.000 m², uniformemente distribuidos y cubriendo el área de estudio.

A.6. Extracción de muestras de producción

De preferencia las muestras de material manufacturado se extraerán de cintas transportadoras. Si esto no es aplicable, se extraerán muestras desde silos, tolvas o depósitos, o bien desde acopios.

9. Procedimientos de extracción

- a) Cintas transportadoras. Detenga la cinta a intervalos regulares de tiempo y extraiga porciones de pétreo que correspondan a todo material comprendido entre dos secciones transversales a la cinta, distanciadas en aproximadamente 1 m. Extraiga tres o más porciones de árido hasta completar la muestra.
- b) Silos, tolvas o depósitos. Extraiga porciones de árido en el flujo de la descarga sin incluir el primer y último 10% de ésta. Tome tres o más porciones de material hasta completar la muestra. Emplee, en lo posible, un recipiente que abarque todo el flujo del material.
- c) Acopios. Utilizando un cargador frontal, extraiga porciones de árido en distintos niveles y ubicaciones rodeando el acopio, evitando sacar material de las zonas inferior y superior de éste. Con las porciones extraídas forme un pequeño acopio debidamente homogeneizado, aplanando su parte superior. Desde éste extraiga manualmente las porciones necesarias para conformar la muestra.

10. Frecuencia de Muestreo

Adopte como frecuencia mínima de muestreo la correspondiente al menor volumen indicado en los siguientes puntos:

- a) Extraiga una muestra cada 1.000 m³ de cada tipo de árido producido.
- b) Extraiga una muestra correspondiente al volumen de cada tipo de árido producido en un mes.

A.7. Extracción de muestras de obra

Las muestras se extraerán desde vehículos o desde el material almacenado. Establezca un control de calidad durante la recepción del material y disponga los acopios según las diferencias que se observen.

11. Procedimientos de extracción

a) Vehículos. Extraiga porciones de árido en tres o más puntos, profundizando aproximadamente hasta la mitad de la altura de la carga o a intervalos regulares de tiempo durante la descarga.

b) Silos, tolvas o depósitos. Proceda de acuerdo con 9 b).

c) Acopios. Proceda de acuerdo con 9 c).

12. Frecuencia de muestreo

a) Control de recepción

-Extraiga al menos una muestra de cada tipo de árido por cada 500 m³ recepcionados.

-Extraiga una muestra cada vez que se cambie de fuente de abastecimiento o se aprecien cambios de calidad del material.

-El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

b) Control para el uso

-Extraiga una o más muestras de cada tipo de árido por cada 250 m³ por emplear.

-Extraiga una muestra cada vez que se aprecien cambios de calidad del material, debido a tiempo prolongado de almacenamiento en obra, contaminaciones, segregaciones, etc.

-El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

A.8. Preparación de muestras

13. Mezclado

Mezcle con pala, sobre una superficie horizontal y limpia, las porciones de árido obtenidas del muestreo hasta obtener una muestra homogénea, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen. Si se requiere determinar el grado de variabilidad de un acopio, las porciones extraídas de las distintas zonas de este no deben mezclarse entre sí.

14. Reducción

Reduzca por cuarteo según Método A0505 el tamaño de la muestra extraída, para obtener el tamaño de muestra de laboratorio especificado en 6 b).

15. Transporte a laboratorio

Transporte las muestras en bolsas, cajas o recipientes confeccionados de tal manera de evitar pérdidas de material. Identifíquelas claramente, de acuerdo a lo indicado en “Registro”, con marcas indelebles protegidas de cualquier eventual deterioro.

(ABC, 4ta Edición, p. 262)

B. Método para el cuarteo de muestras (ASTM C-702)

B.1. Objeto

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

B.2. Procedimiento manual

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

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

b) Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil. Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños del árido sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad del árido.

c) Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal. Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando

un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes.

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

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

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

B.3. Procedimiento con cuarteador metálico o mecánico

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente:

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

b) Vacíe la muestra en el cuarteador.

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

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

(ABC, 4ta Edición, p. 266)

C. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM E-40; AASHTO T27-99)

C.1. Objeto.

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

C.2. Definiciones.

1. Granulometría Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

2. Porcentaje parcial retenido en un tamiz Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

3. Porcentaje acumulado retenido en un tamiz Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del

porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

4. Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

C.3. Equipos y materiales

5. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

6. Tamices

a) Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la Tabla 6

Tabla 9 Tamaño de tamices nominales

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
75,00	3"
63,00	2 1/2"
50,00	2"
37,50	1 1/2"
25,00	1"
19,00	3/4"
12,50	1/2"
9,50	3/8"
6,30	1/4"
4,75	N°4
2,36	N°8
2,00	N°10
1,18	N°16
0,60	N°30
0,30	N°50
0,15	N°100
0,075	N°200

Fuente: Manual de la ABC.

b) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado

y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.

c) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.

d) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

7. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

8. Herramientas y accesorios

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

C.4. Extracción y preparación de la muestra

Extracción de muestras

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

Acondicionamiento de la muestra de ensaye

a) Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con el Método A0505 hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en “Tamaño de la muestra de ensaye”.

b) No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.

c) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Tamaño de la muestra de ensaye

9. Para el Árido fino

a) Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla 6

Tabla 10 Tamaño de la muestra de ensaye del árido

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (gr)
4,75 mm	$\leq 5 \%$	500
2,36 mm	$\leq 5 \%$	100

Fuente: Manual de la ABC

b) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla 7 podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en 9 c).

c) La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g por cm³ de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

10. Para los áridos gruesos

a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla 8

Tabla 11 Tamaño de la muestra de ensaye del árido grueso

Absoluto tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (Kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25	10
19	8
12,5	5
9,5	4

Fuente: Manual de la ABC.

b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe

separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones.

Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 9 y 10, respectivamente.

c) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla 8 podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).

d) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

C.5. Procedimiento

11. Preparación de tamices

Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

12. Tamizado

Efectúelo en dos etapas:

- a) Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- b) Un tamizado final que debe ser manual.

13. Tamizado inicial

a) Determine la masa de la muestra de ensaye en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa:

b) Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).

14. Tamizado final

a) Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa

b) Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado

c) Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.

d) Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.

e) Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.

f) Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.

g) Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.

h) Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos

necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

15. Determinación de la Masa

Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

C.6. Cálculos

16. Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13 en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos gruesos.

17. Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rehace el ensaye y efectúe otro con una muestra gemela.

18. Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.

19. Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.

20. Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:

a) Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.

b) Como porcentaje parcial retenido.

C.7. Expresión gráfica

La expresión gráfica de la granulometría de un pétreo se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 19 y 20.

(ABC, 4ta Edición, p. 270)

D. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E-131; AASHTO T96-99).

D.1. Objeto

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

D.2. Equipos y materiales

1. Máquina de Los Ángeles

a) Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz N ° 50 (0.3 mm).

b) Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

c) La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

2. Balanza

Con una capacidad superior a 10 kg y una precisión de 1 g.

3. Tamices

Deben cumplir con lo especificado en el Método A0506 numeral 6

4. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

5. Esferas (Carga abrasiva)

Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

D.3. Extracción y preparación de la muestra

Muestreo y preparación

6. Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con los Métodos A0504 y A0505

7. Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con el Método A0506

Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2nD$, en que nD es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg para los grados 1 al 5 y 25 kg para los grados 6 y 7.

Acondicionamiento de la muestra de ensaye

Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C.

8. Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con el Método A0506, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm y 2,36 mm. Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

9. Elija de la Tabla 9 el grado de ensaye que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensaye el que entregue una mayor suma.

10. Cuando se trate de áridos sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensaye correspondiente a dicha banda granulométrica.

D.4. Procedimiento

11. Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la Tabla 9 Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (m_i), aproximando a 1 g.

12. Coloque la masa inicial de material en la máquina de Los Ángeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según Tabla A0511_1.

13. Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
14. Separe la carga abrasiva.
15. Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).
16. Tamice manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (N° 12), según procedimiento de tamizado final descrito en el punto 14 del Método A0506.
17. Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a 100 ± 5 ° C y deje enfriar a temperatura ambiente.
18. Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (mf), aproximando a 1 g.

D.5. Cálculos

Calcule el desgaste del árido como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{mi - mf}{mi} * 100$$

Donde:

P= Pérdida de masa de la muestra (%)

mi = Masa inicial de la muestra (g)

mf = Masa final de la muestra (g)

(ABC, 4ta Edición, p. 288)

Tabla 12 Grados de ensaye (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

METODO		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		15	15	15	15

Fuente: Manual de la ABC

E. Método para determinar la superficie específica

E.1. Objeto

1. Aplicación

Este método describe el procedimiento para determinar la superficie específica teórica de áridos.

2. Alcance

a) El método considera que el árido está formado por partículas esféricas ideales. Por lo tanto, no considera el efecto de la forma, porosidad ni rugosidad del árido.

b) El método define el procedimiento para calcular la superficie específica externa de un árido. Por lo tanto, no considera el área de los poros accesibles (macro y meso poros), ni de los poros inaccesibles del árido.

c) El procedimiento es aplicable a áridos de cualquier tamaño máximo absoluto. Para árido muy finos, tales como filler o cemento, con superficie específica volumétrica de hasta aproximadamente $1,2 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ se recomienda la aplicación de procedimientos de medición basados en ensayos de permeabilidad o de adsorción de gas.

E.2. Definiciones

3. Superficie específica

Cociente entre la superficie externa de un agregado y su volumen, la que se expresa en m^{-1} o pie^{-1} .

4. Superficie específica en peso.

Cociente entre la superficie específica de un agregado y su densidad real seca, la que se expresa como m^2/kg o pie^2/lb .

E.3. Fundamentos

La superficie específica, SE, para partículas mono granulares esféricas de diámetro d , se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$SE = \frac{\text{Superficie de la esfera}}{\text{Volumen de la esfera}} = \frac{\pi d^2}{\pi d^3/6} = \frac{6}{d} \quad (m^{-1}) \text{ o } (pie^{-1})$$

De la expresión anterior se puede ver que la superficie específica de las partículas es inversamente proporcional al diámetro de las mismas, supuesto partículas de diámetro uniforme. Para el caso de agregados pétreos de distinto tamaño y suponiendo partículas esféricas, la superficie específica correspondiente a una determinada fracción de agregado retenido entre dos mallas sucesivas de la serie normal, se calcula con el diámetro equivalente a la media geométrica de los tamaños extremos, como:

$$SE = \frac{6}{d} = \frac{6}{\sqrt{D_{\max} * D_{\min}}} \quad (m^{-1}) \text{ o } (pie^{-1})$$

En que $D_{\min} = D_{\max} / 2$

D_{\max} . y D_{\min} son las dimensiones de los tamices de la serie normal de mayor y menor abertura, expresados en metros, que dejan pasar y retienen al material, respectivamente.

La Tabla 10 da la superficie específica de agregados, SE, para distintas fracciones del tamaño de partículas.

Tabla 13 Superficie específica según tamaño de partículas

Fricción tamaño partículas	Superficie específica	
Dmax - Dmin (mm)	SE (m-1)	SE (pie-1)
37,5 - 19	212	65
19 - 9,5	424	129
9,5 - 4,75	849	259
4,75 - 2,36	1697	517
2,36 - 1,18	3394	1035
1,18 - 0,6	6761	2061
0,6 - 0,3	13469	4105
0,3 - 0,15	26726	8146
0,15 - 0,075	53033	16164
0,075 - 0,045	106066	32329

Fuente: Manual de la ABC.

La superficie específica total de un árido, SET, que tiene una granulometría determinada, expresada en m-1, se obtiene de la sumatoria de los productos del porcentaje en peso retenido en cada fracción de tamaño de los tamices normales por la superficie específica correspondiente a dicha fracción indicado en Tabla 10 y dividiendo el resultado por 100.

$$SE_T = \frac{\Sigma (\text{Porcentaje retenido} * SE)}{100}$$

La superficie específica en peso de un agregado, SEP, es función de su densidad real seca, ρ_{RS} , expresada en kg /m3, y viene dada por la siguiente expresión:

$$SE_P = \frac{SE_T}{\rho_{RS}} \left(\frac{m^2}{kg} \right) \left(\frac{pie^2}{lb} \right)$$

E.4. Procedimiento

5. Muestrear áridos

Prepare muestras representativas de los áridos para efectuar ensayos según lo señalado en Método A0504.

6. Determinar la granulometría de los áridos

Ejecute los ensayos para determinar la granulometría de los áridos según lo señalado en los siguientes Métodos: A0506, A0507 y A0502, cuando proceda

7. Determinar la densidad real seca de los áridos

Ejecute los ensayos para determinar las densidades reales de los agregados según lo señalado en los siguientes métodos: A0519 y A0520.

8. Calcular la superficie específica de los áridos

Calcule la superficie específica total en peso de cada uno de los agregados utilizando la ecuación (4).

9. Calcular la superficie específica del árido combinado

La superficie específica del árido combinado, en peso, se obtiene de la sumatoria de los productos de los porcentajes en peso de cada tipo de árido por su superficie específica, y dividiendo el resultado por 100.

$$SE_{PT} = \frac{\sum (\text{Porcentaje retenido } (i) * SE_P \text{ arido } (i))}{100} \quad \frac{m^2}{(kg)} \quad \frac{pie^2}{(lb)}$$

(ABC, 4ta Edición, p. 296)

F. Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM E-127; AASHTO T85-91)

F.1.objeto

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg//m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

F.2. Definiciones

1. Árido Grueso

Material árido retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2,36 mm (N.º 8) cuando se utiliza en asfaltos.

2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

a) Poro accesible: poro permeable o abierto.

b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

4. Densidad (ρ)

Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material pétreo a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m^3 .

a) Densidad real ($R \rho$). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

-Densidad real del árido seco ($RS \rho$). Densidad real en que se considera solamente la masa del árido seco.

-Densidad real del árido saturado superficialmente seco ($RT \rho$). Densidad real en que se considera la masa del árido seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

b) Densidad neta ($N \rho$). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

5. Absorción de agua (α)

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

6. Árido seco

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

F.3. Equipos y materiales

7. Balanza

De capacidad superior a la masa del canastillo porta muestra más la masa de la muestra de ensaye y una precisión mínima de 1 g.

8. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

9. Canastillo porta muestra

De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4l. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

10. Estanque

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

11. Recipientes

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensaye.

F.4.extracción y preparación de muestras

Extracción de muestras

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

Tamaño de la muestra de ensaye

La cantidad mínima de muestra para el ensaye se determina según la Tabla 11, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 14 Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (gr)
12,5	2000
19	3000
25	4000
37,5	5000
50	8000

Fuente: Manual de la ABC

Preparación de la muestra de ensaye

- a) Puede emplear el material proveniente del ensaye de tamizado, debidamente homogeneizado.
- b) Elimine por tamizado las partículas inferiores a 4,75 mm, en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2,36 mm, en el caso de asfaltos.
- c) Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.
- d) Seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- e) Enfríe la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de $24 \pm 4 \text{ h}$.
- f) Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de $24 \pm 4 \text{ h}$.

F.5.Procedimiento

Efectúe las siguientes pesadas a la muestra de ensaye:

12. Pesada al aire ambiente del árido saturado superficialmente seco

- a) Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectúe toda la operación en el menor tiempo posible.
- b) Determine inmediatamente la masa del pétreo saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como *MSSS*.

13. Pesada sumergida

- a) Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra.
- b) Sumerja el canastillo en agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$, por un período de al menos 3 min.
- c) Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como *SUM*.

14. Pesada al aire ambiente del árido seco

- a) Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
- b) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- c) Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.
- d) Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1g. Registre su valor como SM.

(ABC, 4ta Edición, p. 318)

2.9.2. Ensayos del cemento asfáltico.

A. Método para determinar la densidad (ASTM D71-94; AASHTO T229-97)

A.1. Objeto

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

A.2. Equipos y materiales

- a) Picnómetro, de 24 a 30 ml de capacidad
- b) Balanza analítica
- c) Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango de $\pm 0,1^\circ \text{C}$
- d) Termómetro de -8 a 32°C , con una precisión de $0,1^\circ \text{C}$
- e) Agua destilada

A.3. Calibración del picnómetro

1. Determine la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y désignela como A, aproximando a 0,01 g.
2. Llene el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa girándola. Sumerja totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Coloque el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que

la del vaso. manténgalos en el baño como mínimo 30 min. a la temperatura de ensaye. Retire el picnómetro y seque rápida y cuidadosamente toda humedad superficial, determine la masa y désignela como B, aproximando a 0,01 g.

A.4. Procedimiento

Procedimiento para asfaltos líquidos de baja viscosidad

3. Caliente el material asfáltico a la temperatura requerida y viértalo dentro del picnómetro hasta llenarlo, evitando la inclusión de burbujas de aire. Inserte la tapa firmemente en el picnómetro y limpie con un paño el exceso de material que se hubiere derramado por el orificio. Determine la masa del picnómetro y su contenido y désignela como C, aproximando a 0,01 g.

4. Calcule la densidad del asfalto como:

$$\rho_b = \frac{C - A}{B - A} * \rho_w * 1.000$$

Donde:

ρ_w = Densidad del agua a la temperatura de ensaye

ρ_b = Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye

5. Si la viscosidad impide seguir el procedimiento descrito, aplique lo que se señala en procedimientos para cementos asfálticos.

Procedimientos para cementos asfálticos

6. Caliente una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; debe prevenir la pérdida por evaporación. Una vez que la muestra está suficientemente fluida viértala dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad. Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro antes de vaciar el material. Se deben tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evite la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente la llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del

asfalto. Enfríe el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determine la masa con la tapa incluida. Designe esta masa como C, aproximando a 0,01 g.

7. Termine de llenar con agua destilada, inserte la tapa firmemente, sumérgalo completamente en un vaso lleno de agua destilada y colóquelo en el baño, de acuerdo a lo indicado en 2, a la temperatura de ensaye por unos 30 min. Retire el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determine la masa y désignela como D, aproximando a 0,01 g.

8. Determine la densidad del asfalto de acuerdo a la formula:

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w * 1.000$$

Donde:

ρ_w = Densidad del agua a la temperatura de ensaye

ρ_b = Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye

(ABC, 4ta Edición, p. 46)

B. Método de ensaye de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-97)

B.1. Objeto

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensaye de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

B.2. Equipos y materiales

1. Penetrómetro

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de 47, 5 +/- 0,05 g. El peso total de la aguja y el vástago será de 50, 0 +/- 0,05 g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones es en que se aplique el ensaye, se estipulan pesas de 50,0 +/- 0,05g y 100,0 +/- 0,05g. La superficie sobre la que se apoya la capsula que contiene la

muestra será lisa y el eje del embolo deberá estar aproximadamente a 90o de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

2. Aguja de penetración

La aguja es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.

Sera simétricamente afilada en forma cónica, con un Angulo entre 8,7 y 9, 7o con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en Angulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de 2o.

El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la American National Standard B 46.1 o ISO468, la aspereza superficial (Ra) del cono aguzado debe estar entre 0,2 y 0,3 µm como promedio aritmético.

La aspereza superficial (Ra) del eje de la aguja debe estar entre 0,025 y 0,125 micrones.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de 3,2 +/- 0,05 mm y una longitud de 38 +/- 1 mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

La masa del conjunto casquete - aguja será de 2,50 +/- 0,05 g (se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Coloque marcas de identificación individual en el casquete de cada aguja; las mismas marcas no deberían repetirse por un mismo fabricante dentro de un periodo de tres años.

3. Capsulas

Las capsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

-Para penetraciones bajo 200. Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35

-Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70

4. Baño de agua Tendrá una capacidad mínima de 10 l y un sistema apto para mantener la temperatura a 25 °C, o cualquiera de ensaye, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C; tendrá, además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño. Si el ensaye de penetración se realiza en el mismo baño, este debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina

5. Transportador de capsula

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la capsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la capsula.

6. Aparato medidor de tiempo

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronometro o cualquier dispositivo a cuerda, que este graduado en 0,1 s o menos y cuya precisión este dentro de $\pm 0,1$ s para un intervalo de 60 s. También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 s. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de $5 \pm 0,1$ s. Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensayo deseado dentro de 0,1 s.

7. Termómetros

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de 0,1 °C, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1.

B.3. Condiciones generales

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensaye, considere la temperatura, carga y tiempo,

en 25 °C, 100 g y 5 s, respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 15 Condiciones para ensayos especiales

Temperatura	Carga	Tiempo
(°C)	(gr)	(s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

Fuente: Manual de la ABC

En los casos especiales deben informarse las condiciones especificadas de ensaye.

B.4. Extracción y preparación de la muestra

8. Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que este lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el método de ensaye ASTM D 36, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.

9. Vierta la muestra en la capsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensaye, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensaye.

10. Proteja la capsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30°C, entre 1 y 1,5 h para una capsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h, para el mas gran (175 ml). Cuando utilice el transportador de capsula, coloque las muestras junto con este en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensaye. Las muestras en capsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.

B.5. Procedimiento

12. Examine la aguja y guía para comprobar que este perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que

se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de 100 +/- 0,1 g.

13. Si el ensaye se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la capsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de este (Nota 2), y deje la capsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensaye se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de capsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro. Nota 2: Para ensayos arbitrarios, las penetraciones a temperaturas diferentes de 25°C deben realizarse sin remover la muestra del baño.

14. Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual emplee una fuente luminosa

15. Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la capsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de capsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación.

Si la penetración es mayor que 200, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

(ABC, 4ta Edición, p. 50)

C. Método para determinar la ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00)

C.1. Objeto

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de 25 +/- 0,5 °C y a una velocidad de 5 cm/min +/- 5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

C.2. Equipos y materiales

1. Moldes

El molde, de bronce o zinc, los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

A: Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm

B: Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm.

C: Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm.

D: Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm.

E: Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm.

F: Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm.

G: Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm.

H: Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm.

I: Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm.

J: Espesor: 9,9 a 10,1 mm

2. Baño de agua

Mantenga el baño a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de +/- 0,1 °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumerja la muestra a una profundidad no menor que 10 cm. y apóyela sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm. del fondo del baño.

3. Ductilómetro

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especifica en 7, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 8.

4. Termómetros
El termómetro por utilizar será ASTM 63 C con un rango de temperatura entre - 8 y 32 °C; debe cumplir los requerimientos descritos en la norma ASTM E1.

C.3. Procedimiento

5. Preparación del molde

Arme el molde sobre una placa base; cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde con una película delgada de

desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde este completamente en contacto.

6. Moldeo de las muestras para el ensaye

Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que este suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamice la muestra fundida a través del tamiz 0,3 mm (No 50); Luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta; vierta con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Deje enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 30 a 40 min y luego coloque en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensaye especificada por 30 min. Luego recorte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

7. Conservación de las muestras a la temperatura de ensaye

Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un periodo de 85 a 95 min. a la temperatura especificada; luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensaye la briqueta.

8. Ensaye

Enganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilómetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de +/- 5 % para la velocidad especificada. Mida la distancia en cm. entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensaye, el agua en el estanque del ductilómetro cubrirá la briqueta a lo menos 2,5 cm. y esta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de +/- 0,5 °C.

(ABC, 4ta Edición, p. 58)

D. Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01; AASHTO T79-96).

D.1. objetivo

El método define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, Excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79°C determinado por medio de este método de ensaye.

D.2. Equipos y materiales

1. Copa Abierta de Cleveland

Consiste en una copa de ensaye, una placa de calentamiento, un aplicador de la llama, un calentador y apoyos como se describe en detalle en el Anexo. Una forma de armar el aparato, la placa de calentamiento y la copa,

2. Protector

Se recomienda un protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga un frente abierto.

3. Termómetro

Un termómetro que tenga un rango de -6 a 400°C y cumpla con los requisitos del 11c o 28c de ASTM E1.

D.3. Preparación del aparato

4. Arme el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación. Ensayes en campanas de laboratorio o en lugares donde no existan corrientes de aire son confiables.

5. Lave la copa de ensaye con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.

6. Mantenga el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa y localizada en el punto medio del trecho entre el centro y el borde

de la copa, en un diámetro perpendicular al arco o línea del recorrido de la llama de prueba y en el lado opuesto de la llama del quemador.

D.4. Procedimiento

7. Llene la copa a una temperatura conveniente, no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el Punto de Ablandamiento; de esa manera la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor del nivel de llenado. Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado. Sin embargo, si hay muestra que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra.

8. La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm y se compara con el tamaño del cabezal.

9. Aplique calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado, disminuya el calor de modo que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del Punto de Inflamación, sea de 5 a 6°C por min.

10. Comenzando, al menos 28°C por debajo del Punto de Inflamación, aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulos recto al diámetro que pasa a través del termómetro; con suavidad continúe el movimiento aplicando la llama en línea recta a lo largo de la circunferencia de un círculo que tenga un radio al menos de 150 mm. El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2 mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 s. Durante los últimos 17°C, suba la temperatura previa al Punto de Inflamación. Evite alteraciones del vapor en la copa de ensaye poniendo atención en movimientos descuidados o en aires suaves cercanos a la copa.

11. Informe el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.

12. Para determinar el Punto de Combustión continúe calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por min. Continúe aplicando la llama a intervalos de 2°C hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informe la temperatura de este punto como el Punto de Combustión del material.

D.5. Corrección por presión barométrica

13. Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensaye es menor que 715 mm de mercurio, informe y sume la corrección apropiada al Punto de Inflamación y Punto de Combustión de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 16 Valores de corrección del punto de inflamación y punto de combustión

Presión barométrica (mm de mercurio)	Corrección (°C)
715-665	2
664-610	4
609-550	6

Fuente: Manual de la ABC

D.6. Cálculos

14. Corrija el Punto de Inflamación o el Punto de Combustión o ambos, observados, de acuerdo con 13.

15. Informe la corrección del Punto de Inflamación o Punto de Combustión o ambos, como el Punto de Inflamación o Combustión de la Copa Abierta de Cleveland.

(ABC, 4ta Edición, p. 62)

E. Método para determinar el punto de Ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D-36; AASHTO T53-96)

E.1 Objeto

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

E.2. Generalidades

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

E.3. Definiciones

1. Punto de Ablandamiento

Es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

E.4. Equipos y materiales

2. Equipo Normal

- a) Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones que se muestran
- b) Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre $3,50 \pm 0,050$ g.
- c) Una guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones indicadas.

3. Baño

Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, que tenga un diámetro no menor que 85mm y una profundidad no menor que 120 mm.

4. Soporte del Anillo

El anillo deberá estar sujeto sobre un soporte.

- d) Los anillos deberán sujetarse en posición horizontal, con el fondo a 25mm por encima de la superficie superior de la placa, y la superficie inferior de ésta a una distancia de por lo menos 13 mm y no mayor de 19 mm al fondo del vaso. La profundidad del líquido en el vaso deberá ser mayor que 100 mm.

- e) El termómetro deberá suspenderse de manera que el fondo del bulbo esté a nivel con el fondo del anillo y dentro de 13 mm de distancia del anillo, pero de manera que no lo toque.

5. Termómetros

Termómetros del tipo ASTM para punto de ablandamiento bajo que tengan un rango de -2° a $+80^{\circ}\text{C}$ y cumplan con los requisitos para termómetro 15C, descritos en la norma ASTM E 1 y un ASTM 16C (rango 30 a 200°C) para puntos de ablandamientos altos.

E.5. Extracción y preparación de la muestra

6. Caliente con cuidado la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura de la muestra debe exceder de 110°C por sobre del punto de ablandamiento estimado. Elimine las burbujas de aire incorporadas en la muestra mediante agitación continua.

7. Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, en un tiempo no mayor que 240 min; vierta la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Enfríe por lo menos durante 30 min; en ningún caso deje transcurrir más de 4 h antes de terminar el ensaye. Las muestras que estén blandas a temperatura ambiente, se deben enfriar durante un mínimo de 30 min a una temperatura mínima de 8°C por debajo del punto de ablandamiento esperado.

8. Después de enfriado, corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente. En caso de que se repita el ensaye, utilice una muestra nueva y un recipiente limpio.

E.6. Procedimiento

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento igual o menor que 80°C

9. Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua fresca destilada a $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110 mm. Mantenga la temperatura del baño a 5°C durante 15 min, colocando el recipiente del ensaye en agua helada, si es necesario. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de contraje de las bolas.

10. Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de 5°C por min; evite el efecto de las corrientes de aire, utilizando protectores si es necesario.

11. La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el período del ensaye. La variación máxima permisible para cualquier minuto de tiempo, después de los tres minutos, será $\pm 5^\circ\text{C}$. Elimine todos los ensayos en los que la velocidad de aumento de temperatura no esté dentro de estos límites.

12. Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro; en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Si la diferencia entre estos dos valores excede 1°C, repita el ensaye. Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento mayor que 80°C Utilice el mismo procedimiento descrito en 10, con las siguientes modificaciones:

a) Use glicerina en vez de agua.

b) La temperatura inicial del baño de glicerina será 32°C.

(ABC, 4ta Edición, p. 90)

2.9.3. Ensayos finales.

A. Método de diseño de mezclas asfálticas Abiertas (AASHTO R12-85)

A.1. Objeto

Este método describe un procedimiento para determinar la cantidad de emulsión asfáltica o cemento asfáltico a ser combinado con una mezcla de áridos de graduación abierta.

A.2. Preparación de la muestra

1. Someta el árido a los ensayos de calidad especificados.

2. Separe el árido en cada una de las siguientes fracciones: 25 - 20; 20 - 12,5; 12,5 - 5 y bajo 5 mm, de modo de reconstituir posteriormente la granulometría del material en mezclas de prueba.

3. Determine la constante de absorción del árido grueso de acuerdo con el Método A0519.

4. Determine el área superficial de acuerdo con el Método A0513.

A.3. Procedimiento

Contenido de ligante

El contenido del ligante se determina de acuerdo a la expresión siguiente:

5. Mezclas con cemento asfáltico.

$$CA(\%) = 1.5 Kc + 1.0$$

Donde:

CA= Porcentaje de cemento asfáltico tentativo referido al árido seco.

Kc=Constante de absorción del árido Grueso.

Mezclas de prueba con cementos asfálticos

6. Seque a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ las fracciones previamente separadas y reconstituya muestras representativas de 500 g.

7. La temperatura de mezclado del asfalto debe ser tal que produzca una viscosidad mayor o igual que 300 cSt (150 SFS), manteniéndose lo más baja posible compatible con un adecuado cubrimiento del árido. Caliente el árido a una temperatura no mayor que 20°C sobre la temperatura del asfalto.

8. Coloque la muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de cemento asfáltico establecida en 5.

9. Mezcle manualmente durante 30 a 45 s.

10. Coloque la muestra en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje drenar la mezcla durante 30 min en un horno a la temperatura de $120 \pm 5^\circ\text{C}$. Si drena, determine el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto } (\%) = \frac{\text{Peso final} - \text{tara}}{\text{Peso arido}} * 100$$

11. Saque la muestra del embudo y colóquela en un recipiente plano y evalúela de acuerdo a lo siguiente

- a) Espesor del cubrimiento.
- b) Porcentaje de partículas cubiertas.
- c) Trabajabilidad.
- d) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.

12. Repita los pasos desde 8 a 11 con muestras con un contenido de 0,5 puntos porcentuales sobre y bajo el contenido determinado en 5.

A.4. Cálculos

13. Contenido de asfalto efectivo es el contenido de asfalto

14. Valor mínimo de cemento asfáltico debe ser de un 3,0%.

15. La tolerancia para calcular el porcentaje efectivo de cemento asfáltico es $\pm 0,5$ puntos porcentuales.

16. Se confeccionarán probetas Marshall con 50 golpes por cara, para calcular el porcentaje máximo de cemento asfáltico.

17. El contenido máximo de cemento asfáltico se obtiene para el valor de 0,8 MPa del ensaye de resistencia a la penetración utilizando el equipo Marshall, con una velocidad de 2,0 mm/min.

(ABC, 4ta Edición, p. 396)

B. Muestras Marshall (AASHTO T 245-97)

B.1. Número de probetas.

Prepare a lo menos 3 y de preferencia 5 probetas para cada contenido de asfalto.

B.2. Preparación del árido

Seque el agregado hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y sepárelo por tamizado en seco en las siguientes fracciones: 25-19 mm; 19-12,5 mm; 12,5-9,5 mm; 9,5-4,75mm; 4,75-2,36 mm y bajo 2,36 mm.

B.3. Temperatura de mezclado

Es la temperatura a la cual debe calentarse el cemento asfáltico y el asfalto cortado para producir una viscosidad de 170 ± 20 cSt.

B.4. Temperatura de compactación

Para cementos asfálticos la temperatura de compactación debe ser aquella a la cual el cemento asfáltico alcanza una viscosidad de 280 ± 30 cSt.

B.5. Preparación de muestras

Pese en bandejas separadas para cada probeta de ensaye, la cantidad necesaria de cada fracción para producir una muestra que dé como resultado una probeta compacta de una altura aproximada de 65 mm; normalmente se requieren 1.100 g. Coloque las bandejas en

el horno o en una placa caliente y llévelas a una temperatura de aproximadamente 30 °C sobre la temperatura de mezclado especificada en 13 para cementos asfálticos, y de 15 °C sobre dicha temperatura para asfaltos cortados. Coloque el árido caliente en el bol de mezclado y revuelva completamente. Forme un cráter en el árido y pese la cantidad necesaria de cemento asfáltico o asfalto cortado e incorpórela al bol. En ese instante las temperaturas del árido y del asfalto deben estar dentro de los límites establecidos en el numeral 13. El asfalto no debe mantenerse a la temperatura de mezclado por más de 1 h antes de usarlo. Mezcle el árido y asfalto tan rápido como sea posible hasta que la mezcla quede totalmente cubierta y uniforme.

Terminado el mezclado, coloque las mezclas con asfaltos cortados en un horno ventilado, mantenido a una temperatura de aproximadamente 10° C sobre la de compactación. Continúe el curado hasta que se haya evaporado el 50% del solvente. La mezcla debe revolverse para acelerar el proceso de pérdida de solvente, teniendo cuidado de no perder mezcla. Durante este proceso, pese la mezcla inicialmente en intervalos de 15 min y, cuando se aproxima a la pérdida del 50%, en intervalos menores de 10 min.

B.6. Compactación de probetas

1. Prepare el molde y el martillo, limpiando completamente el conjunto del molde y cara del martillo de compactación y caliéntelos durante 15 min en un baño de agua o en una placa caliente a una temperatura próxima a la de compactación. Coloque un disco de papel filtro, cortado a medida, en la parte inferior del molde antes de colocar la mezcla. Suavice la parte interior del molde y la cara del martillo con un aceite grueso. Coloque el conjunto collar, molde y base en el pedestal del compactador.
2. Llene el molde con una espátula, acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro. La temperatura antes de compactar debe estar en los límites establecidos en 14; si no es así, descártela; en ningún caso la mezcla debe recalentarse.
3. Con el martillo de compactación aplique 75 golpes en un tiempo no superior a 90 s. Saque la base y el collar, invierta y reensamble el molde. Aplique en la otra cara el mismo número de golpes en un tiempo no mayor al indicado. Después de compactar, saque la

base y deje enfriar la probeta al aire. Si se desea un enfriamiento más rápido puede usar ventiladores. Normalmente la probeta se deja enfriar toda una noche.

B.7. Determinación de densidad y espesor

Tan pronto como la probeta se enfríe a temperatura ambiente, desmolde y determine su espesor. Luego proceda a determinar su densidad de acuerdo al Método A0606.

(ABC, 4ta Edición, p. 390)

C. Método universal de caracterización de ligantes (UCL) o método para caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste (AASHTO T165-97)

El ensayo permite valorar indirectamente la trabazón, cohesión, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico. Para la realización del ensayo, se preparan muestras según la metodología Marshall. (Moya, 2005)

Objeto

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de Desgaste de los ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25mm.

El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, la trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Equipo y materiales

1. Tamices 25 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 0,6 mm, 3 mm, y 0,075 mm. Conforme con las características técnicas que para los mismos se especifican en el Método A0506.

2. Horno de tiro forzado Que alcance y mantenga las temperaturas de 25°C, 45°C, 60°C, con precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ y hasta 200 °C con precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$.
3. Balanza Hasta 2 kg de carga con 0,1 g de precisión.
4. Martillo de compactación El equipo de compactación tendrá los elementos, características y dimensiones que se refieren en el Método A0608.
5. Malla de plástico Tipo mosquitera de unos 2 mm de luz de malla, para mantener las probetas fabricadas en frío.
6. Baño termostático De capacidad suficiente para dejar las probetas de ensayo y que mantenga la temperatura especificada constante dentro de $\pm 1^\circ\text{C}$.
7. Máquina de Los Ángeles La máquina para ensayo de desgaste de las probetas tendrá las características y dimensiones que se indican para este mecanismo en el Método A0511.
8. Cámara termostática Recinto apto para alcanzar y mantener la temperatura especificada, con la precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$, durante el ensayo y que pueda mantener en su interior la máquina de Los Ángeles.

Fabricación de las probetas

Preparación de los áridos

9. Se procede a separar en fracciones, mediante tamizado, los áridos a emplear, en cantidad suficiente para fabricar una serie de un mínimo de ocho probetas, de 1000 ± 1 g cada una, por cada contenido de ligante a ensayar.
10. Las fracciones en que se separan los áridos son las siguientes: 25 mm/12,5 mm 2,36 mm/0,6 mm 12,5 mm/9,5 mm 0,6 mm /0,3 mm 9,5 mm/4,75 mm 0,3 mm /0,075 mm 4,75 mm/2,36 mm polvo mineral
11. El tamizado en seco de las fracciones superiores a 2,36 mm (Nº8) se considera suficiente y efectivo si después de terminado el proceso no se pierde por lavado más del 1 % de la cantidad retenida en cada tamiz. En caso contrario se procede al lavado de cada fracción en su tamiz correspondiente y a su posterior secado en estufa a la temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante.

12. Las fracciones menores a 2,36 mm (N° 8) se lavan por los tamices correspondientes y posteriormente se secan en horno a la temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante.

13. Con los áridos separados en fracciones se procede a dosificarlos ponderadamente, para componer la granulometría de la fórmula de trabajo.

14. En un recipiente de masa conocida se pesan sucesivamente las cantidades de cada una de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido sea de 1000 ± 1 g.

Preparación de las probetas

15. Mezclas en caliente

a) Elaboración de la mezcla

-Se coloca el recipiente con los áridos preparados según los puntos 9 al 14 en un horno o placa de calefacción y se calienta el conjunto a una temperatura que sea, máximo 25 °C superior a la especificada para la mezcla, según Método AM0608.

-La cantidad de ligante necesario para la fabricación de las probetas se coloca en un recipiente pequeño y se calienta en horno a la temperatura prescrita de mezclado. El ligante no debe estar más de 1 hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.

-A continuación, se vierten los áridos en el recipiente para mezclado (bolo) y se efectúa una mezcla ligera en seco de los mismos, se forma un cráter en su centro y se añade, por pesada, la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.

-Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se inicia el proceso de mezclado y se continúa hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta por el ligante.

b) Compactación de las probetas

-La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y procedimiento de compactación descritos en el Método A0608.

-El número de golpes a aplicar con el martillo es de 50 golpes por cara.

-La temperatura de la mezcla, inmediatamente antes de la compactación, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos, de acuerdo con el Método A0608.

-Una vez compactada la probeta, se espera un tiempo mínimo de 2 horas antes de extraerla del molde.

Procedimiento

16. En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 °C, con una tolerancia de ± 1 °C.

17. Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota este valor, P1. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis horas.

18. Se introduce a continuación una probeta en el interior de la máquina de Los Ángeles y, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en el Método de 3,1 a 3,5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.

19. Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P2.

20. El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según lo descrito en Preparación de las Probetas.

Cálculos

a) Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota dicho valor, P1.

b) Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en la NLT-149 de 3,1 a 3,5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 100, 200 y 300 vueltas.

c) Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P2.

d) Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la siguiente expresión:

$$P_c = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde,

Pc = Valor de la pérdida por desgaste, en %.

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

(ABC, 4ta Edición, p. 400)

CAPITULO III
RELEVAMIENTO Y
PROCESAMIENTO DE LA
INFORMACION

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL BANCO DE PRÉSTAMO Y CHANCADORA DE LOS AGREGADOS.

A continuación, describimos el lugar de donde se proporcionó los agregados y cemento asfáltico para el desarrollo de nuestro proyecto de investigación:

Los agregados y cemento asfáltico a utilizar para la mezcla asfáltica de granulometría abierta son del departamento de Tarija, provincia Cercado de la Dirección de Obras Publicas de la alcaldía de Cercado - Tarija ubicada en la Posta Municipal de la ciudad de Tarija. Av. Guadalquivir alado del parque central Oscar Alfaro.

a) Coordenadas Geográficas:

Latitud: 21°31'34"S

Longitud: 64°44'27"W

Elevación: 1800 m

Figura 3 Ubicación satelital Google Earth



Fuente: Elaboración Propia

3.2. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS METODOLÓGICOS.

Queremos valorar las características de los materiales mediante ensayos para realizar una investigación de “ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESOS UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE EL MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES (UCL)”.

Las fases de la investigación se describen en la siguiente tabla. En donde la selección de los agregados gruesos será del tipo triturado (Chancado) verificando que cumpla con las Propiedades de acuerdo a la norma.

Tabla 17 Ensayos de la investigación

Fase de la investigación	Nombre de los ensayos	Cantidad de ensayos
Caracterización de los agregados	Granulometría grava triturada	5
	Granulometría gravilla triturada	5
	Granulometría arena	5
	Desgaste de los ángeles grava triturada	3
	Peso específico grava triturada	5
	Constante de absorción grava triturada	5
	Superficie específica grava triturada	5
Pruebas al cemento asfáltico	Penetración	5
	Punto de ablandamiento	5
	Ductilidad	5
	Densidad	5
	Punto de inflamación y combustión	5
Prueba de prediseño para encontrar el contenido óptimo	Diseño de mezclas asfálticas abiertas (Mezcla con árido triturado)	2
Pruebas finales	Ensayo de briquetas por el método UCL (Mezcla de árido triturado)	40
Total, de ensayos		100

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Unidad de muestra.

“El ensayo de laboratorio”

3.2.2. Población.

Población “N” = 100 ensayos establecidos en la investigación (finita)

3.2.3. Muestra definida.

Muestra “n” =60 ensayos de laboratorio calculados y definidos.

3.3. CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA.

a) Cálculos previos.

Población finita “N” = 100

Nivel de confianza: NC=95%

Variable estandarizada: Z= 1,96. De la tabla de distribución normal

Margen de error: e=5%. Deducido por el nivel de confianza que propone el investigador.

Varianza: $\sigma^2 = 0,10$. Asumida en función al tiempo asignado.

b) Cálculos finales.

Al ser una población finita método a utilizar será el muestreo estratificado para medias poblacionales.

$$n = \frac{\sum N_i * \sigma^2}{N * \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum N_i * \sigma^2}{N}}$$

$$n = \frac{10.0}{100 * \left(\frac{0.05}{1.96}\right)^2 + \frac{10.0}{100}} = 60.58 \approx 60$$

$$fa = \frac{(N_i * \sigma^2)}{\sum N_i * \sigma^2} \rightarrow ni = n * fa$$

Tabla 18 Calculo del número de muestra

Estrato	Nombre de los ensayos	Ni	σ^2	$Ni*\sigma^2$	fi	ni	ni asumido
1	Granulometría grava triturada	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
2	Granulometría gravilla triturada	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
3	Granulometría arena	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
4	Desgaste de los ángeles grava triturada	3	0,1	0,30	0,0300	1,80	2
5	Peso específico grava triturada	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
6	Constante de absorción grava triturada	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
7	Superficie Especifica grava triturada	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
8	Penetración	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
9	Punto de ablandamiento	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
10	Ductilidad	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
11	Densidad	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
12	Punto de inflamación y combustión	5	0,1	0,50	0,0500	3,00	3
13	Diseño de mezclas asfálticas abiertas (mezcla con árido triturado)	2	0,1	0,20	0,0200	1,20	1
14	Ensayo de briquetas por el método UCL (mezcla de árido triturado)	40	0,1	4,00	0,4000	24,00	24
Total, de ensayos		100		10,0		60	60

Fuente: Elaboración propia

Conclusión. El total de ensayos cubierto por la investigación en el periodo entre 4 a 5 meses corresponde a 60 ensayos bien definidos en cada categoría.

3.4. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.

3.4.1. Granulometría.

a) Objeto del ensayo.

La norma ASTM E 40 AASHTO T27-99 nos brinda el método que establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

b) Definiciones.

1. Granulometría: Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.
2. Porcentaje parcial retenido en un tamiz: Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.
3. Porcentaje acumulado retenido en un tamiz: Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.
4. Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz: Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

c) Resultados del ensayo

Tabla 19 Granulometría grava triturada (muestra 1)

Peso total (gr.) =			15886,8		
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% q. pasa del total
			(gr)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	12,10	12,10	0,08	99,92
3/4"	19,05	4348,20	4360,30	27,45	72,55
1/2"	12,50	7523,10	11883,40	74,80	25,20
3/8"	9,50	2445,20	14328,60	90,19	9,81
1/4"	6,30	1359,30	15687,90	98,75	1,25
N°4	4,75	153,20	15841,10	99,71	0,29
N°8	2,36	24,80	15865,90	99,87	0,13
Base	0	20,90	15886,80	100,00	0,00
Suma =		15886,80			
Pérdidas =		0,00	Tamaño máx. (1")		
MF =		7,17			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Granulometría gravilla (muestra 1)

Peso total (gr.) =			4063		
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% q. pasa del total
			(gr)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	64,20	64,20	1,58	98,42
3/8"	9,50	92,60	156,80	3,86	96,14
1/4"	6,30	1668,10	1824,90	44,92	55,08
Nº4	4,75	1530,90	3355,80	82,59	17,41
Nº8	2,36	671,90	4027,70	99,13	0,87
Base	0	34,10	4061,80	99,97	0,03

Suma =	4061,80	Tamaño máx. 1/2"
Pérdidas =	1,20	
MF =	5,86	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Granulometría de la arena (muestra 1)

Peso total (g)			509,00		
Tamices	tamaño (mm)	Peso ret. (g)	Ret. acum (g)	% Ret	% q. pasa del total
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	14,40	14,40	2,83	97,17
Nº8	2,36	59,00	73,40	14,42	85,58
Nº10	2,00	12,50	85,90	16,88	83,12
Nº16	1,18	42,40	128,30	25,21	74,79
Nº30	0,60	73,60	201,90	39,67	60,33
Nº50	0,30	107,90	309,80	60,86	39,14
Nº100	0,15	113,60	423,40	83,18	16,82
Nº200	0,075	56,50	479,90	94,28	5,72
Base		28,70	508,60	99,92	0,08

Suma	508,60
Pérdidas	0,40
MF =	2,26

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Desgaste de los ángeles.

a) Objeto del ensayo.

La norma ASTM E 131 AASHTO T96-99 nos brinda el método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

b) Resultados del ensayo.

Tabla 22 Desgaste de grava triturada (muestra 1)

Material	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
A	5000,00	3723,90	25,52	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Peso específico y constante de absorción.

a) Objeto del ensayo.

La norma ASTM E 127 AASHTO T85-91 nos brinda el método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

b) Resultado del ensayo.

Tabla 23 Peso específico de la grava triturada

Muestra N.º	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra sat. dentro del agua "C" (gr)	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico S.S.S. (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de Abs.
1	4875,00	4949,70	3058,50	2,58	2,62	2,68	1,53
2	4905,00	4990,40	3070,00	2,55	2,60	2,67	1,74
3	4905,00	4975,10	3074,00	2,58	2,62	2,68	1,43
Promedio				2,57	2,61	2,68	1,57

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Superficie específica.

a) Objeto del ensayo.

1. Aplicación

Este método describe el procedimiento para determinar la superficie específica teórica de áridos.

2. Alcance

El método considera que el árido está formado por partículas esféricas ideales. Por lo tanto, no considera el efecto de la forma, porosidad ni rugosidad del árido.

El método define el procedimiento para calcular la superficie específica externa de un árido. Por lo tanto, no considera el área de los poros accesibles (macro y meso poros), ni de los poros inaccesibles del árido.

El procedimiento es aplicable a áridos de cualquier tamaño máximo absoluto. Para árido muy finos, tales como filler o cemento, con superficie específica volumétrica de hasta aproximadamente $1,2 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ se recomienda la aplicación de procedimientos de medición basados en ensayos de permeabilidad o de adsorción de gas.

b) Resultados del ensayo.

Tabla 24 Superficie específica grava triturada (Muestra 1)

Muestra N.º	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra sat. dentro del agua "C" (gr)	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico a granel (Kg/m ³)	Superficie específica en peso (m ² /kg)
1	4875,00	4949,70	3058,50	2,58	2577,73	1,157

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Equivalente de arena

a) Objeto del ensayo.

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo.

b) Resultado del ensayo.

Tabla 25 Resultados de equivalente de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de arena (%)	
	(cm)	(cm)		
1	9,20	9,40	97,87	
2	9,70	9,90	97,98	Norma
3	9,30	9,70	95,88	
		Promedio	97,24	

Fuente: Elaboración propia

3.5. CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

3.5.1. Penetración.

a) Objeto del ensayo

La norma ASTM D 5 AASHTO T49-97 nos brinda el método que describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensaye de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

3.5.2. Punto de ablandamiento.

a) Objeto del ensayo

La norma ASTM D 36 AASHTO T53-96 como se identifica este método, describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

3.5.3. Ductilidad.

a) Objeto

La norma ASTM D 113 AASHTO T51-00 como se identifica este método de la ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de 25 +/- 0,5 °C

y a una velocidad de 5 cm/min +/- 5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

3.5.4. Peso específico.

a) Objeto

La norma ASTM D71-94 AASHTO T229-97 nos brinda este método que establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

3.5.5. Punto de inflamación y combustión.

a) objetivo

Norma ASTM D1310-01 AASHTO T79-96 el método define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, Excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79°C determinado por medio de este método de ensaye.

3.5.6. Resumen de resultados del cemento asfálticos.

Tabla 26 Resultados de Caracterización del C.A. 85/100

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (AASHTO T49-97)							
Lectura N°1	0,1 mm	85	95	91	89	85	100
Lectura N°2	0,1 mm	100	88	81			
Lectura N°3	0,1 mm	90	89	84			
Penetración Promedio	0,1 mm	92	91	85			
Peso específico a 25°C (AASHTO 7229-97)							
Peso Picnómetro	gr	34,8	35,9	34,1	1,020	1	1,05
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	88,1	87,1	87,3			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	64,7	64,2	61,5			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	88,6	88,3	87,5			
Peso específico Promedio	gr/cm ³	1,014	1,041	1,004			
Punto de inflamación (AASHTO T79-96)	°C	280	282	290	284	232	-
Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)	°C	45,0	41,0	44,0	43	42	53
Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)	cm	98	107	99	101	100	-
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C	sF	-	-	-	-	85	400

Fuente: Elaboración propia

3.6. PRUEBAS DE CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.

3.6.1. Granulometría del agregado para mezclas asfálticas abiertas

El método UCL nos proporciona una granulometría tentativa para aplicar en las briquetas asfálticas abiertas nombrándola como mezcla patrón, el defecto de esta mezcla para la aplicación en la investigación es que cuenta con porcentaje moderado de agregado grueso, por lo que se recurrió a una normativa con un mayor porcentaje del agregado grueso para este tipo de mezclas, siendo el agregado de interés para ser estudiado en esta investigación.

Para las franjas granulométricas se usará la norma INVIAS que tiene origen en Colombia, por ser una norma que nos brinda una granulometría de alto porcentaje de agregado grueso, con 86% de grueso y 14% de fino, a diferencia de las distintas normativas consultadas como ser el Manual de Carreteras de Chile VOL 3 “Instrucciones y criterios de diseño” y Vialidad Nacional de Argentina “Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas.”, siendo este punto beneficioso para la investigación al tratarse de un análisis de la compatibilidad agregado grueso. Según las normas y especificaciones 2012 INVIAS Colombia “Instituto nacional de vías Colombia”:

El conjunto de agregado grueso y agregado fino se deberá ajustar a alguna de las gradaciones indicadas en la Tabla 26.

Tabla 27 Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente

Tipo de mezcla	Tamiz (mm/U.S. Standard)									
	75	63	50	37,5	19	9,5	4,75	2,26	0,15	
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°100	
% pasa										
MAC-75	100	95-100	-	30-70	3-20	0-5	-	-	-	
MAC-63	-	100	-	35-70	5-20	-	-	0-5	-	
MAC-50	-	-	100	75-90	50-70	-	8-20	-	0-5	
Tolerancia en producción sobre la fórmula de trabajo	5%							3%		

Fuente: Normas y especificaciones 2012 INVIAS

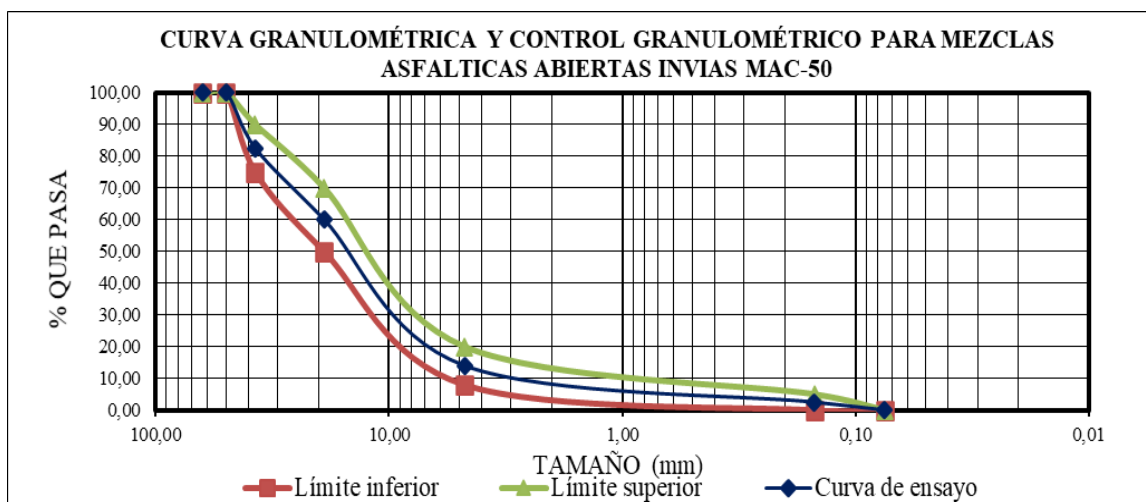
Salvo que los estudios del proyecto indiquen lo contrario, se empleará la gradación tipo MAC-50.

Tabla 28 Porcentaje pasa para cumplir las franjas granulométricas de mezclas abiertas

Tamices	Tamaño	% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)			
2 1/2"	63,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-
3/4	19,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-
N°4	4,75	14,00	8,00	20,00
N°8	2,50	-	-	-
N°100	0,15	2,50	0,00	5,00
N°200	0,075	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1 Curva granulométrica para los agregados de la mezcla asfáltica abierta



Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Dosificación para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría abierta.

Tabla 29 Dosificación 1

Para CA (%) = 3,35	
Mezcla asfáltica (gr)	500,00
C.A. (gr)	16,8
Agregado (gr)	483,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Cumplimiento de las franjas granulométrica de mezclas abiertas dosif. 1

Peso total (gr.) =		483,3					
Tamices	Tamaño	Peso ret. (gr)	Retenido acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)		(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	84,6	84,57	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	108,7	193,30	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
N°4	4,75	222,3	415,60	86,00	14,00	8,00	20,00
N°8	2,50	-	-	-	-	-	-
N°100	0,15	55,6	471,17	97,50	2,50	0,00	5,00
N°200	0,075	12,1	483,25	100,00	0,00	0,00	0,00
Suma =		483,3					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Dosificación 2

Para CA (%) = 2,85	
Mezcla asfáltica (gr)	500,00
C.A. (gr)	14,3
Agregado (gr)	485,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Cumplimiento de las franjas granulométrica de mezclas abiertas dosif. 2

Peso total (gr.) =			485,8				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	85,0	85,01	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	109,3	194,30	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
Nº4	4,75	223,4	417,75	86,00	14,00	8,00	20,00
Nº8	2,50	-	-	-	-	-	-
Nº100	0,15	55,9	473,61	97,50	2,50	0,00	5,00
Nº200	0,075	12,1	485,75	100,00	0,00	0,00	0,00
Suma =		485,8					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Dosificación 3

Para CA (%) = 3,85	
Mezcla asfáltica (gr)	500,00
C.A. (gr)	19,3
Agregado (gr)	480,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Cumplimiento de las franjas granulométrica de mezclas abiertas dosif. 3

Peso total (gr.) =		480,8					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	84,1	84,13	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	108,2	192,30	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
Nº4	4,75	221,1	413,45	86,00	14,00	8,00	20,00
Nº8	2,50	-	-	-	-	-	-
Nº100	0,15	55,3	468,73	97,50	2,50	0,00	5,00
Nº200	0,075	12,0	480,75	100,00	0,00	0,00	0,00
Suma =		480,8					

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Diseño de mezclas asfálticas abiertas.

a) Objeto

Este método AASHTO R12-85 describe un procedimiento para determinar la cantidad de emulsión asfáltica o cemento asfáltico a ser combinado con una mezcla de áridos de graduación abierta.

b) Cálculos previos.

Para realizar los cálculos previos del diseño utilizamos la constante de absorción del agregado grueso, con la siguiente expresión:

$$CA(\%) = 1.5 Kc + 1.0$$

Donde:

CA= Porcentaje de cemento asfáltico tentativo referido al árido seco.

Kc=Constante de absorción del árido Grueso.

Tabla 35 Porcentaje de asfalto calculado para el diseño

Porcentaje tentativo	
CA (%) =	3,35
CA (%) - 0,5% =	2,85
CA (%) + 0,5% =	3,85

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36 Porcentaje tentativo en gramos

Cantidad de cemento asfáltico para 500 gr de agregado			
Cemento asfáltico tentativo	16,8	gr	M1
Cemento asfáltico tentativo - 0,5%	14,3	gr	M2
Cemento asfáltico tentativo + 0,5%	19,3	gr	M3

Fuente: Elaboración propia.

c) **Resultados del ensayo**

Tabla 37 Porcentaje de mezclas asfálticas efectivo

N° de mezcla según porcentaje	Peso tara (gr)	Peso final (gr)	Peso árido (gr)	Exceso asfalto (%)	asfalto efectivo (%)
1	81,10	81,10	483,24	0,00	3,35
2	79,00	79,10	485,74	0,02	2,83
3	79,00	79,00	480,74	0,00	3,85

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Dosificación para las briquetas de mezclas con granulometría abierta

Tabla 38 Dosificación briquetas 1

Para CA (%) = 3,35	
Mezcla asfáltica (gr)	1000,00
CA (gr)	33,5
Agregado (gr)	966,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39 Cumplimiento de granulometría de mezclas abiertas dosif. briquetas 1

Peso Total (gr.) =		966,5					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	169,1	169,14	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	217,5	386,60	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
N°4	4,75	444,6	831,19	86,00	14,00	8,00	20,00
N°8	2,50	-	-	-	-	-	-
N°100	0,15	111,1	942,34	97,50	2,50	0,00	5,00
N°200	0,075	24,2	966,50	100,00	0,00	0,00	0,00
SUMA =		966,5					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Dosificación briquetas 2

Para CA (%) = 2,83	
Mezcla asfáltica (gr)	1000,00
CA (gr)	28,3
Agregado (gr)	971,70

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 41 Cumplimiento de granulometría de mezclas abiertas dosif. briquetas 2

Peso Total (gr.) =			971,7				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	170,0	170,05	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	218,6	388,68	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
N°4	4,75	447,0	835,66	86,00	14,00	8,00	20,00
N°8	2,50	-	-	-	-	-	-
N°100	0,15	111,7	947,41	97,50	2,50	0,00	5,00
N°200	0,075	24,3	971,70	100,00	0,00	0,00	0,00
SUMA							
=		971,7					

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42 Dosificación briquetas 3

Para CA (%) = 3,85	
Mezcla asfáltica (gr)	1000,00
CA (gr)	38,5
Agregado (gr)	961,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43 Cumplimiento de granulometría de mezclas abiertas dosif. briquetas 3

Peso Total (gr.) =		961,5					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	168,3	168,26	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	216,3	384,60	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
N°4	4,75	442,3	826,89	86,00	14,00	8,00	20,00
N°8	2,50	-	-	-	-	-	-
N°100	0,15	110,6	937,46	97,50	2,50	0,00	5,00
N°200	0,075	24,0	961,50	100,00	0,00	0,00	0,00
SUMA =		961,5					

Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Densidad y Rotura de Briquetas.

Este ensayo se realizó con el fin de verificar que las briquetas realizadas con mezcla asfáltica de granulometría abierta se encuentren dentro de especificaciones estándar de las briquetas de mezcla asfálticas convencional.

Tabla 44 Densidad y rotura de briquetas

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta	Densidad Briqueta		Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	2,83	2,91	5,95	997,6	1013,9	565	448,9	2,22	2,22	468	1242,01	1,12	1388,57	1408,75	23	16,33	
2			5,79	983,9	999,2	562	437,2	2,25		434	1150,45	1,17	1343,73		13		
3			5,90	972,2	986,8	545	441,8	2,20		496	1317,41	1,13	1493,94		13		
4	3,35	3,47	5,93	984,8	1001,3	555	446,3	2,21	2,20	670	1785,95	1,12	2007,41	1744,00	15	17,00	
5			5,95	990,3	1008,5	558	450,5	2,20		669	1783,26	1,12	1993,69		21		
6			5,92	990,5	1007,8	559	448,8	2,21		412	1091,21	1,13	1230,89		15		
7	3,85	4,00	5,91	985,7	1003,0	558	445,0	2,22	2,22	872	2329,90	1,13	2635,12	2426,513	20	21,00	
8			5,99	988,3	1005,9	560	445,9	2,22		879	2348,75	1,11	2597,72		17		
9			5,86	977,5	991,2	554	437,2	2,24		670	1785,95	1,15	2046,70		26		
ESPECIFICACIONES				mínimo											1200		8
				máximo											-		16

Fuente: Elaboración propia

3.7. MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES “UCL”.

3.7.1. Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por el método UCL.

a) Objeto

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de Desgaste de Los Ángeles.

b) Dosificación óptima del ensayo.

Tabla 45 Dosificación óptima para el ensayo final UCL

Para CA (%) = 3,35	
Mezcla asfáltica (gr)	1000,00
CA (gr)	33,5
Agregado (gr)	966,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46 Franjas granulométricas de mezclas abiertas para dosificación óptima

Peso Total (gr.) =			966,5				
Tamices	Tamaño	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. INVIAS MAC-50	
	(mm)		(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
2	50,00	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2	37,50	169,1	169,14	17,50	82,50	75,00	90,00
1	25,00	-	-	-	-	-	-
3/4	19,00	217,5	386,60	40,00	60,00	50,00	70,00
1/2	12,50	-	-	-	-	-	-
3/8	9,50	-	-	-	-	-	-
N°4	4,75	444,6	831,19	86,00	14,00	8,00	20,00
N°8	2,50	-	-	-	-	-	-
N°100	0,15	111,1	942,34	97,50	2,50	0,00	5,00
N°200	0,075	24,2	966,50	100,00	0,00	0,00	0,00
SUMA =		966,5					

Fuente: Elaboración propia.

c) **Resumen del ensayo**

Tabla 47 Ensayo UCL con briquetas conservadas en aire a 25°C

Briquetas N°	Peso inicial P1 (gr)	Peso final P2 (gr)	Perdida desgaste P (%)
1	1026,00	87,20	91,50
2	980,30	77,00	92,15
3	988,50	116,40	88,22
4	1004,80	66,80	93,35
5	1003,00	136,10	86,43
6	983,90	152,50	84,50
7	1011,40	171,10	83,08
8	988,80	0,00	100,00
9	985,00	33,40	96,61
10	1004,70	27,60	97,25
11	990,80	139,30	85,94
12	995,10	30,70	96,91
13	996,30	348,20	65,05
14	961,60	344,30	64,20
15	1008,70	373,60	62,96
16	963,80	39,50	95,90
17	1009,20	27,20	97,30
18	996,50	16,20	98,37
19	995,30	335,30	66,31
20	1007,60	431,50	57,18
21	1017,50	220,10	78,37
22	993,30	251,20	74,71
23	981,50	48,80	95,03
24	991,60	105,90	89,32
25	994,70	587,30	40,96
26	970,90	440,50	54,63
27	1003,20	397,50	60,38
28	999,80	38,00	96,20
29	981,30	43,70	95,55
Promedio			82,36

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV
ANALISIS Y DEBATE DE LOS
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DEBATE DE LOS RESULTADOS.

4.1. ANÁLISIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

El contenido óptimo para el diseño de la mezcla asfáltica abierta realizada en la investigación es de 3.35%, dicho procedimiento de diseño descrito en el manual de la ABC que se basa de un antiguo método de diseño norteamericano (R. W. Smith et al, 1978) de nominado método del espesor de película asfáltica. De acuerdo con el método norteamericano se puede realizar una comprobación al porcentaje de asfalto obtenido, con la aplicación de la siguiente formula:

$$e = \frac{48.7 * Pb}{A.S.t.}$$

Donde:

Pb= Porcentaje de asfalto (%) = 3.35%

A.S.t.= Área superficial del agregado grueso(ft²/lb) = 1.157 m²/kg = 5.649 ft²/lb

e = Espesor de película delgada = para cumplir con el espesor de película mínimo es de 25(micrones)

$$e = \frac{48.7 * 3.35}{5.649}$$

$$e = 28.88 > 25 \text{ cumple}$$

El método de diseño sugiere que para cargas de tránsito pesadas se realice ensayos que determinen las propiedades mecánicas de la mezcla que permitan estimar las capacidades que pueda tener la mezcla frente a las cargas de tránsito deseadas.

- Investigaciones de mezclas abiertas con porcentaje de cemento asfáltico similares.

(Rioja, 2000). Las pruebas de terreno preliminares de esta mezcla fabricadas con un contenido de asfalto de 2,7 [%], mostraron problemas de cohesión de la mezcla. Por esta razón la empresa constructora procedió a incrementar el contenido de ligante determinando empíricamente que con un porcentaje de bitumen de 3,3 [%] r.a.s., la mezcla mostraba mejor comportamiento de fabricación colocación y particularmente de cohesión frente al tránsito. Después de realizados gran cantidad de estudios, se encontró un método de ensayo que aplicado a los materiales provenientes del proyecto "Portillo", arrojaban como resultado un contenido óptimo de asfalto igual a 3,4 [%] referido al agregado seco.

(CHILQUINGA, 2015). Partiendo de lo establecido que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel con el que se logra obtener el mayor esfuerzo a la penetración y se verifica con la resistencia a la compresión diametral, el contenido ideal de asfalto es 3.7 %.

(ABC, 4ta Edición). Valor mínimo de cemento asfáltico debe ser de un 3,0%.

(MC-V3 CHILE, 2013). El diseño de la mezcla se hará mediante el Método descrito en 8.302.48 del MC-V8. El contenido de asfalto deberá ser mínimo 3%, siempre que presente un recubrimiento completo del agregado y drenado no superior a 0,2% a la temperatura de mezclado.

4.2. ANÁLISIS DEL USO Y NIVEL DE TRÁNSITO DEL DISEÑO

Según las especificaciones de la ABC que se basa en las normas ASTM Y AASTHO, si el uso de la mezcla es de capa de rodadura drenante, el diseño es para un tráfico ligero.

Si el uso de la mezcla es como capa de alivio de fisuras o repavimentación, el diseño es para un tráfico intermedio.

Tabla 48 Criterio de diseño de mezclas Marshall.

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Criterio de mezcla						
Compactación número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad [lb]	750	-----	1200	-----	1800	-----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 pulg)	8	18	8	16	8	14

Fuente Diseño de mezclas ASTM D1559

Según el manual de normas y especificaciones 2012 INVIAS el diseño realizado es para un tráfico NT1 para una capa de rodadura drenante y un tráfico NT2 para una capa de alivio de fisuras o repavimentación.

$$1744 \text{ lb} * \frac{0.454 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} = 791.07 \text{ kg}$$

$$17 * 0.25 \text{ mm} = 4.25 \text{ mm}$$

Tabla 49 Criterios de comprobación del diseño volumétrico de la fórmula de trabajo

Característica	Norma de ensayo inv	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto módulo
		Categoría de tránsito			
		NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)	E-748	50	75	75	75
Estabilidad mínima (kg)	E-748	500	750	900	1500
Flujo (mm)	E-748	2 – 4.5	2 – 4	2 – 3.5	2 – 3

Fuente: Art. 450. Mezclas asfálticas. Normas y especificaciones INVIAS.

Tabla 50 Niveles de tránsito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño, N_{80KN} , millones
NT1	$N_{80KN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80KN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80KN} > 5.0$

Fuente: Art. 100. Ámbito de aplicación, términos y definiciones. Normas y especificaciones 2012 INVIAS.

Para los espesores de capa drenante se pueden considerar las siguientes normativas y publicaciones de artículos:

(ETSI de Caminos, Canales y Puertos, 2015). Publica un boletín oficial del estado de España sobre los espesores de capa de rodadura drenante. Las mezclas bituminosas drenantes son aquellas que, por su baja proporción de árido fino, presentan un contenido muy alto de huecos interconectados que le proporcionan sus características drenantes, pudiéndose emplear en capas de rodadura de cuatro a cinco centímetros (4 a 5 cm) de espesor.

(ProVial CHILE, 2002). Opciones modernas para capas de rodado Mezclas en caliente: Mezclas drenantes (espesores >4 cm) Mezclas delgadas y ultradelgadas (espesores < 3 cm)

(Ayala y Juárez, 2010). Debido a los problemas presentados en la construcción de este tipo de mezclas, España fue el primer país en estudiar las características de estas mezclas hasta el año 1985, es así como este país empieza a implementar en carreteras como capas de rodadura con espesores de 3, 4 e incluso 5 cm.

(MONTEJO, 2002). la mayor parte de los casos las mezclas bituminosas drenantes se emplean en capas de 4 cm. de espesor y, por ello, el tamaño máximo de agregado utilizado suele ser el menor de los admitidos por el huso, es decir, 12,5 mm. Únicamente cuando se fabrican mezclas para ser empleadas en capas de 5 o 6 cm. de espesor se recurre al empleo de agregados de hasta 20 mm. de tamaño máximo.

4.3. ORGANIZACIÓN DE LA PLANILLA RESUMEN DE RESULTADOS.

Tabla 51 Resultados del método UCL

Briquetas N°	Perdida desgaste P (%)
1	91,50
2	92,15
3	88,22
4	93,35
5	86,43
6	84,50
7	83,08
8	100,00
9	96,61
10	97,25
11	85,94
12	96,91
13	65,05
14	64,20
15	62,96
16	95,90
17	97,30
18	98,37
19	66,31
20	57,18
21	78,37
22	74,71
23	95,03
24	89,32
25	40,96
26	54,63
27	60,38
28	96,20
29	95,55
Promedio	82,36

Fuente: Elaboración propia

4.4. CURVA DE FRECUENCIAS E HISTOGRAMA.

Tabla 52 Distribución de frecuencia y clase

	Calculado	Asumido
Rango	59,04	
N° de clase	5,86	6
Ancho de clase	9,84	

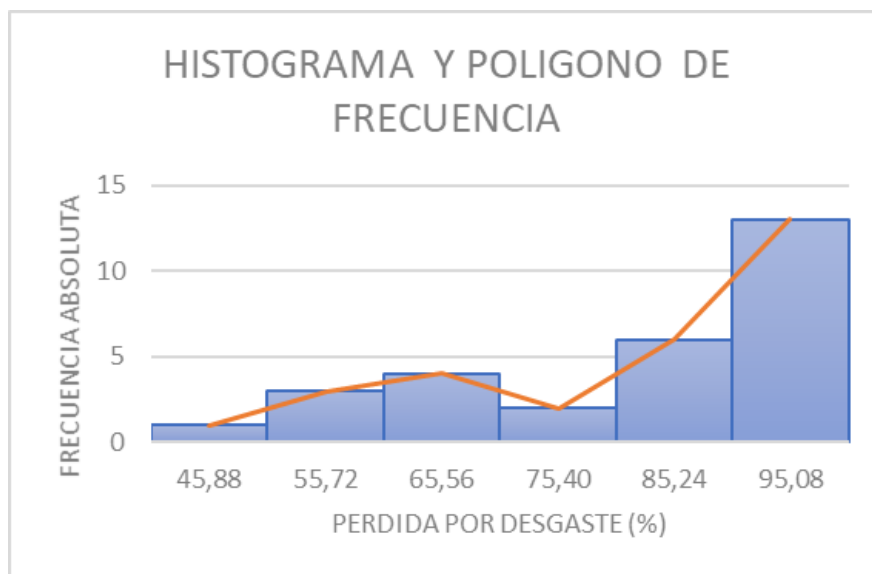
Fuente: Elaboración propia

Tabla 53 Distribución de frecuencias de datos agrupados

Intervalo de clase		Marca de clase (%)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia relativa acumulada (%)
40,96	50,80	45,88	1	1	3,4	3,4
50,80	60,64	55,72	3	4	10,3	13,8
60,64	70,48	65,56	4	8	13,8	27,6
70,48	80,32	75,40	2	10	6,9	34,5
80,32	90,16	85,24	6	16	20,7	55,2
90,16	100,00	95,08	13	29	44,8	100,0
			29			

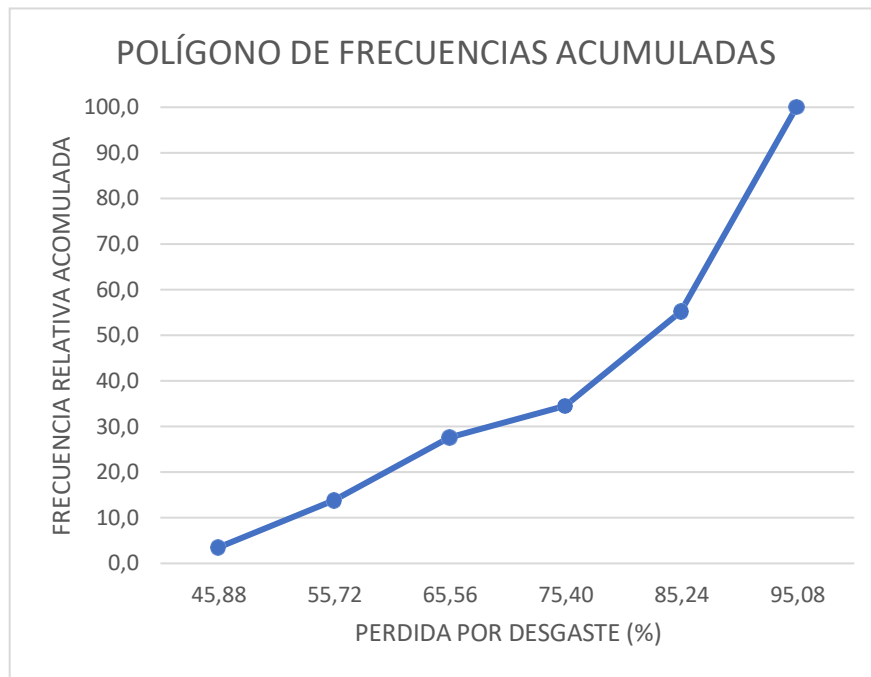
Fuente: Elaboración propia.

Grafica 2 Histograma y polígono de frecuencia



Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 Polígono de frecuencias acumuladas



Fuente: Elaboración propia

4.5. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

4.5.1. Valores de tendencia central.

Tabla 54 Valores medios

Media aritmética "Xm"	82,4
Moda	-
Mediana "m"	-

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Valores de dispersión.

Tabla 55 Valores de dispersión

Desviación estándar de la muestra	S	16,36
Desviación estándar de la población	σ	3,04
Varianza	σ^2	9,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56 Cálculos de las medias de dispersión

Briquetas N°	Perdida desgaste P (%)	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²
1	91,50	9,14	83,60
2	92,15	9,79	95,80
3	88,22	5,87	34,42
4	93,35	10,99	120,88
5	86,43	4,07	16,59
6	84,50	2,14	4,59
7	83,08	0,73	0,53
8	100,00	17,64	311,26
9	96,61	14,25	203,11
10	97,25	14,90	221,87
11	85,94	3,58	12,84
12	96,91	14,56	211,92
13	65,05	-17,31	299,53
14	64,20	-18,16	329,87
15	62,96	-19,40	376,18
16	95,90	13,54	183,44
17	97,30	14,95	223,42
18	98,37	16,02	256,54
19	66,31	-16,05	257,47
20	57,18	-25,18	634,13
21	78,37	-3,99	15,91
22	74,71	-7,65	58,48
23	95,03	12,67	160,54
24	89,32	6,96	48,48
25	40,96	-41,40	1713,99
26	54,63	-27,73	768,83
27	60,38	-21,98	483,15
28	96,20	13,84	191,59
29	95,55	13,19	173,96
Promedio	82,36	Σ	7492,93

Fuente: Elaboración propia

4.6. ESTADÍSTICA INFERENCIAL

4.6.1. Precisión, rango de confianza y valor aceptado

Tabla 57 Datos para el rango de confianza

Datos iniciales		
Tamaño de la muestra	n	29
Media aritmética	Xm	82,36
Nivel de confianza	NC	95
Varianza	σ^2	9,23
Desviación estándar poblacional	σ	3,04
Para un NC de 95	z	1,96

Fuente: Elaboración propia.

- a) Cuando se conoce z y σ se utiliza la formulas:

$$\bar{x} \pm z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

- b) Límites de intervalo:

Superior:

$$\mu = \bar{x} + z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Inferior:

$$\mu = \bar{x} - z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Tabla 58 Límites de intervalo

Límite superior	83,5
Límite inferior	81,3

Fuente: Elaboración propia.

- c) Intervalo de confianza:

$$81.3 \leq \bar{X} \leq 83.5$$

4.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

4.7.1. Conversión de la hipótesis de investigación a hipótesis alternativa.

a) Hipótesis de investigación.

“La compatibilidad de los agregados gruesos en mezclas asfálticas según el método universal de caracterización de ligantes (UCL) es significativamente elevada.”

Según el verbo conector “es” se utilizará el conector “=”

b) Interpretación de hipótesis

Por lo que nos da una hipótesis nula: $H_0: \bar{X} = \mu$

Lo que activa la hipótesis alternativa: $H_1: \bar{X} \neq \mu$

4.7.2. Procedimiento de prueba comparando medias.

Paso 1 Interpretación de la hipótesis de investigación.

- La hipótesis de investigación será nula.

$$H_0: \bar{X} = \mu$$

- Hipótesis contraria a la interpretada.

$$H_1: \bar{X} \neq \mu$$

Paso 2 Establecer el valor de nivel de significancia.

Tabla 59 Nivel de significancia

Nivel de confianza	NC	95	%
Nivel de significancia	NS	5	%

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3 Determinar el método a usar y cálculo de los estadísticos.

Al ser un método muy poco usado no se cuenta con un valor estandarizado para la pérdida por desgaste de briquetas asfálticas de granulometría abierta.

Por lo que se procede a realizar la prueba de hipótesis por el método de t – Student, con un valor de la media poblacional de cero.

- Cálculo del estadístico.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} * \sqrt{n - 1}$$

Para la prueba de hipótesis se utilizó un valor de la media poblacional de 50% debido a no contar con especificaciones y resultados normados, se consideró este valor por ser un valor medio, además de tener como referencia el porcentaje permisible del ensayo de los ángeles para los agregados que es 35% al 40% de pendiente de la norma y su uso del agregado, entonces nos da entender que para la briquetas asfálticas no puede ser una media poblacional menor que ese valor de los agregados, por lo que justifica el valor seleccionado, dando así una mayor certeza de que la prueba de hipótesis realizada fue ejecutada de manera correcta.

Tabla 60 Calculo de estadístico de t-Student

Datos y calculo		
Tamaño de la muestra	n	29
Media poblacional	μ	50
Media aritmética	Xm	82,36
Desviación estándar de la muestra	S	16,36
	t=	10,47

Fuente: Elaboración propia

- Grado de libertad

$$v = n - 1 = 29 - 1 = 28$$

- Obtención de estadístico critico de t- Student con los datos de grado de libertad y nivel de significancia.

$$tc = 2.05$$

Tabla 61 Distribución de t- Student

Grado de libertad	Niveles de significación dos colas							
	0,600	0,260	0,200	0,100	0,050	0,025	0,020	0,010
1	1	2,41	3,08	6,31	12,71	25,45	31,82	63,88
2	0,82	1,6	1,8	2,92	4,3	6,21	6,98	9,92
3	0,7	1,42	1,64	2,35	3,18	4,18	4,54	5,84
4	0,74	1,34	1,63	2,13	2,78	3,5	3,75	4,6
5	0,73	1,3	1,48	2,02	2,57	3,1	3,3	4,03
6	0,72	1,27	1,44	1,94	2,45	2,97	3,14	3,71
7	0,71	1,25	1,41	1,89	2,36	2,64	3	3,5
8	0,71	1,24	1,4	1,86	2,31	2,75	2,9	3,36
9	0,7	1,23	1,38	1,83	2,26	2,69	2,92	3,25
10	0,7	1,22	1,37	1,81	2,23	2,63	2,76	3,17
11	0,7	1,21	1,36	1,8	2,2	2,5	2,72	3,11
12	0,7	1,21	1,36	1,78	2,18	2,5	2,68	3,05
13	0,69	1,2	1,35	1,77	2,16	2,53	2,65	3,01
14	0,69	1,2	1,35	1,76	2,14	2,51	2,62	2,98
15	0,69	1,2	1,34	1,75	2,13	2,49	2,6	2,95
16	0,69	1,19	1,34	1,75	2,12	2,47	2,58	2,92
17	0,69	1,19	1,33	1,74	2,11	2,48	2,57	2,9
18	0,69	1,19	1,33	1,73	2,1	2,45	2,55	2,88
19	0,69	1,19	1,33	1,73	2,09	2,43	2,54	2,86
20	0,69	1,18	1,33	1,72	2,09	2,42	2,53	2,86
21	0,69	1,18	1,32	1,72	2,08	2,41	2,52	2,83
22	0,69	1,18	1,32	1,72	2,06	2,41	2,51	2,82
23	0,69	1,18	1,32	1,71	2,06	2,4	2,5	2,81
24	0,68	1,18	1,32	1,71	2,06	2,39	2,49	2,8
25	0,68	1,18	1,32	1,71	2,06	2,38	2,49	2,79
26	0,68	1,18	1,32	1,71	2,06	2,38	2,48	2,78
27	0,68	1,18	1,31	1,7	2,05	2,37	2,47	2,77
28	0,68	1,17	1,31	1,7	2,05	2,37	2,47	2,76
29	0,68	1,17	1,31	1,7	2,05	2,36	2,46	2,76
30	0,68	1,17	1,31	1,7	2,04	2,36	2,46	2,75

Fuente: Estadística Universidad Católica Andrés Bello.

Paso 4 Comprobando la región de aceptación.

Condición final: Se rechaza la hipótesis nula cuando se cumple la condición de

$$t_c < t \text{ para dos colas}$$

$$2.05 < 26.64 \text{ cumple}$$

Paso 5 Conclusión de hipótesis

Al ser verdadera la condición de t-Student se rechaza la hipótesis nula siendo esta la hipótesis de investigación.

La hipótesis de investigación es rechazada.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización del agregado utilizado en la mezcla asfáltica abierta, con el apoyo del manual de ensayos de la ABC y con el cumplimiento de las normas vigentes, concluyendo que los datos obtenidos en la caracterización quedan aceptados para su uso en mezclas asfálticas abiertas, cumpliendo con las especificaciones requeridas, en donde de los datos más relevantes fueron del agregado grueso que obtuvo un porcentaje de absorción promedio de 1.57%, siendo este un dato necesario para el diseño de las mezclas abiertas y un desgates de los ángeles de 25.62%, cumpliendo una condición importante para su uso en la mezcla.
- En la caracterización del cemento asfáltico se pudo definir las características del material ligante a ser usado en la investigación, verificando que el cemento asfáltico cumple con todas las especificaciones normadas, logrando observar según los resultados, que se cuenta con un asfalto del tipo 85/100, tipo de cemento asfáltico usualmente usado en la zona de los valles.
- El diseño de la mezcla asfáltica de granulometría abierta, se logró realizar el ensayo de forma satisfactoria, obteniendo como resultado un porcentaje óptimo de 3.35%, concluyendo que el porcentaje bajo llega a ser conveniente en la economía para la realización de una mezcla asfáltica, en donde se tiene que tener en cuenta la fluencia según el tráfico para el cual se requiera esta mezcla, sabiendo que según la función que va cumplir la mezcla varía el porcentaje de cemento asfáltico.
- En la elaboración de las briquetas Marshall se pudo concluir que la textura de las briquetas difería de las briquetas fabricadas de manera tradicional y el porcentaje de vacíos era claramente mayor, la briqueta de mezcla abierta cuenta con una buena estabilidad.
- Sobre el método UCL, se concluye que es práctico, que de forma clara nos permite apreciar el comportamiento mecánico entre agregados y el asfalto, para contribuir con un estudio más detallado de una mezcla asfáltica

- Para el análisis de resultados se recurrió a la estadística descriptiva e inferencial, los resultados analizados fueron los obtenidos del método UCL, donde se obtuvo un análisis de mayor credibilidad, para la estadística descriptiva se observó resultados de desviación estándar de 16.36 y varianza de 9.23, en donde al ser la desviación menor que 15 estamos dentro de lo normal, el intervalo de confianza nos dio unos límites superior e inferior pequeño, lo que nos asegura que los resultados son confiables.
- Realizando la prueba de hipótesis fue rechazada por el método de t-Student, con este resultado nos da la conclusión de la investigación que la compatibilidad del agregado grueso utilizado en mezcla asfáltica y analizado por el método UCL es baja.
- La baja compatibilidad del agregado en la mezcla estudiada nos da a entender que, si bien el agregado grueso aporta a la estabilidad de la mezcla, se debe tener en cuenta la fluencia que tiende a elevarse para este tipo de mezclas.
- Se concluye también que la investigación realizada es de gran utilidad para poder ampliar la aplicación de las mezclas asfálticas abiertas al tener un análisis del comportamiento de la misma y un análisis de resultados por t- Student un método de alta confianza.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar el diseño de mezclas asfálticas abiertas, es beneficioso realizar pruebas con el método UCL por darnos un parámetro de comparación de cómo se comportaría la mezcla puesta en funcionamiento.
- El cemento asfáltico del tipo 85/100 aplicado a mezclas de granulometría abierta o que tengan un contenido de agregado grueso alto, dio un resultado no compatible por lo que se recomienda el realizar la inclusión de asfalto modificado o la utilización de cemento asfáltico de menor penetración como 60/70 para futuras investigaciones de análisis.
- Se recomienda para puestas en obra con las mezclas asfálticas abiertas de tráfico pesado como capa de rodadura la adición de aditivos para disminuir los valores de fluencia, debido a que la estabilidad en este tipo de mezclas es alta, teniendo esta consideración en cuenta se garantiza un buen funcionamiento.
- El método UCL tiene una amplia aplicación en mezclas asfálticas y ha demostrado ser un método lo suficientemente sensible, por lo que se recomienda considerar su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas de cualquier tipo.
- Al momento de realizar el ensayo UCL se recomienda dividir las briquetas en grupos para realizar el ensayo en distintos horarios o días debido a que el equipo del cántabro no puede trabajar jornadas largas, causando esto reducción en el ensayo de briquetas por día, cada briketa ensayada toma un tiempo de 10 min considerar este tiempo para calcular la cantidad de briquetas a ensayar por día.