

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se analiza una comparación de dosificaciones con 2 Tipos de Agregados Pétreos. (Triturado río San Mateo de la Chancadora Garzón), (Natural río Guadalquivir Clasificadora ubicada en zona Mira flores), con el fin de obtener óptimos de propiedades logrando obtener un diseño de mezclas asfálticas con un buen nivel de confiabilidad.

En el Departamento de Tarija – Cercado, se observa varios problemas con el pavimento flexible ocasionando fisuras, ahuellamiento, esto sucede en algunas calles de Tarija-Cercado.

Uno de los problemas puede ser los agregados pétreos utilizados, de esa manera se realiza el análisis de 2 agregados pétreos obteniendo comparaciones de dosificación.

El autor propone realizar un Análisis de las dosificaciones de las mezclas asfálticas en caliente, utilizando cemento asfáltico (85100), agregado pétreo Natural y Triturado con la finalidad de obtener Optimización de Propiedades de **Resistencias, Estabilidad y Durabilidad.**

Se aplica los fundamentos teóricos para realizar ensayos de obtención de propiedades de manera óptima.

Esperando obtener un análisis de comparación y optimización con alta confiabilidad así se contribuye con la sociedad utilizando agregados óptimos y no estar perdiendo el tiempo con otros agregados de esa forma se economiza logrando buenos pavimentos sin problemas estructurales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El análisis de dosificación es factible debido a que al hacer las comparaciones obtendremos resultados óptimos, así las instituciones trabajarían con esa dosificación logrando factibilidad y calidad en el diseño.

En cuanto a los Agregados serán obtenidos del río Guadalquivir (Natural) y río San Mateo (triturado).

Los ensayos se realizarán en el laboratorio del Servicio Departamental de Caminos. (S.E.D.E.C.A.).

1.3. DISEÑO TEORICO

1.3.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE CAUSALES IDENTIFICADOS

- El tipo de agregados pétreos dureza, la forma y textura superficial fuera de especificación.
- Los factores climáticos, altas temperaturas, agua, etc.
- Tipos de asfalto a utilizar.
- Dosificaciones inadecuadas.

1.3.2. IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Optimización de dosificaciones de mezclas asfálticas en caliente.

1.3.3. ESTABLECIMIENTO DE LA PERSPECTIVA

Análisis de diferentes dosificaciones en mezclas asfálticas.

1.3.4. SITUACIÓN PROBLEMICA

Caracterización de los Agregados Pétreos Triturados y Naturales

1.3.5. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El pavimento flexible en algunas calles de la ciudad de Tarija, presentan daños severos a causa de una mala elección de agregados Pétreos, mediante eso se detecta un mal diseño de las mezclas asfálticas en caliente en el pavimento flexible

Así mencionamos la granulometría, contenido de asfalto, el tamaño de la arena como principales en el diseño de la mezcla asfáltica.

Es por eso que al circular el tráfico pesado por estas calles, colapsa de forma inmediata el pavimento.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

El objeto de la presente tesis es de analizar el estudio sobre el comportamiento del tipo de Agregados (Naturales y Triturados) aplicando a la Dosificación de la mezcla asfáltica, teniendo como objeto realizar una Análisis de las dosificaciones de las mezclas asfálticas en caliente, utilizando cemento asfáltico (85100), agregado Pétreo Natural y Triturado Con la finalidad de obtener Optimización de Propiedades de Resistencias Estabilidad y Durabilidad.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la elección de agregados para conocer sus características físicas a través de pruebas de laboratorios, establecer las proporciones en las que estos materiales entran a formar parte de la mezclas.
- Analizar las propiedades del Cemento asfáltico así encontrar el contenido Óptimo de asfalto de una mezcla.
- Comparación de resultados obtenidos con el ensayo Marshall, de esa forma obtenemos características Óptimas de Propiedades.
- Comparación de resultados obtenidos mediante el Ensayo Cántabro con los 2 Agregados (Naturales –Triturados), así encontramos Características de resistencia.
- Comparación de resultados obtenidos mediante el Ensayo Adherencia de los Materiales con los 2 Agregados (Naturales –Triturados).
- Analizar la Durabilidad de los Agregados usando Sulfato de Sodio en las muestras (Naturales –Triturados).

1.5. HIPÓTESIS

Si se realiza un análisis técnico de dosificación para mezcla asfálticas en caliente comparando agregados pétreos naturales vs agregados pétreos triturados, entonces se podrá obtener propiedades óptimas mediante análisis estadístico requerido.

1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

- Cantidad de cemento asfáltico
- Valor de la propiedad
- Dosificaciones Diferentes
- Optimización
- Cemento Asfáltico.....Variable Constte.

- Agregado Pétreos Natural..... Variable Constte.
- Agregados Pétreos Triturado..... Variable Constte.
- Cálidad..... (Cemento Asfáltico) Constte.
(Agregados Pétreos) Constte

1.6.1. CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Conceptualización Variables.

TABLA1.7.1 CONCEPTUALIZACION OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALORA/ ACCIÓN
Cemento asfáltico	Se utilizan principalmente en aplicaciones viales. Son sólidos a temperatura ambiente y se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad.	temperatura . Consistente	Grados centígrados	Rangos De 110 C. A 120 C. Viscosidad
Propiedad	Son características que tienen los diseños de mezclas asfálticas que se aplican en los pavimentos flexibles.	Temperatura . Estabilidad Resistencia Durabilidad	Grados centígrados	Rangos de 110° C. a. 120° C.

Dosificación	Son mezclas que se realiza con cemento asfáltico y agregados pétreos.	Temperatura .Estabilidad Resistencia Durabilidad	Grados centígrados	Rangos de 110° C. a. 120° C.
Agregados Pétreos Naturales	Son agregados que se los extrae de bancos naturales como ser ríos, etc.	Resistencia Durabilidad	Grados centígrados	Rangos de 110° C. a. 120° C.
Agregados Pétreos Triturados	Son agregados que se los extraen de una cantera y pasan por una serie de procedimientos para ser utilizados.	Resistencia Durabilidad	Grados centígrados	Rangos de 110° C. a. 120° C.

1.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.

- DOSIFICACIONES 1 ----- X1
- DOSIFICACIONES 2 ----- X2
- DOSIFICACIONES 3 ----- X3
- DOSIFICACIONES 4 ----- X4

1.6.3. VARIABLE DEPENDIENTE.

- ResistenciaY1

- Estabilidad.....Y2
- Durabilidad.....Y3

1.7. DISEÑO METODOLOGICO



1.8. UNIDAD DE ESTUDIO

1.8.1. POBLACIÓN

Comportamiento de las Mezclas Asfálticas en Combinación de dosificaciones:

- Agregado río Guadalquivir +Cemento Asfáltico (85100) = DOSIFICACIÓN 1

- Agregado Triturado San Mateo+ Cemento Asfáltico (85100) = DOSIFICACIÓN 2

1.8.2. TAMAÑO Y MUESTRA

1.8.2.1. Muestra

- Agregado Pétreos (Triturados) y (Naturales)

1.8.2.2. Muestreo

- Para la selección de la muestra se analizará la mezcla asfáltica con la Combinación de Agregados Pétreos (Triturados y Naturales) verificando que cumpla con las Propiedades de acuerdo a la norma para posteriormente realizar una comparación con la mezcla asfáltica convencional.

1.8.3. PROPIEDADES

Se va a utilizar **3 propiedades**:

- RESISTENCIA
- ESTABILIDAD
- DÚRABILIDAD

2 COMBINACIONES.

- Cantidad de Cemento Asfáltico = 2
- Cantidad de Agregados Pétreos = 2
- Cantidad de Agregado Triturado = 2

1.9. ALCANCE

Para construir, mantener y supervisar eficientemente las calles y carreteras que el Departamento de Tarija – Cercado requiere para su desarrollo, es necesario conocer las especificaciones técnicas correspondientes, pero además es preciso tener conceptos claros sobre el comportamiento de los materiales utilizados, así poder aprovechar sus ventajas y prever sus desventajas del pavimento flexible.

En las características de los agregados se realizara un estudio de caracterización mecánicas su relación con las mezclas, teniendo en cuenta los criterios de la ABC :AASHTO:SISTEMA UNIFICADO, de esa manera se realiza el “ANALIS DE

DOSIFICACIONES DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE OBTENIENDO OPTIMIZACION DE PROPIEDADES”, determinando el contenido Optimo de Cemento asfaltico, Resistencia, Estabilidad, Durabilidad,etc para este se empleara el método Marshall que es el que se utiliza con frecuencia para estudiar estas propiedades.

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS

CARACTERÍSTICAS GENERALES

2. MARCO TEÓRICO

2.1- MARCO CONCEPTUAL

Un pavimento es una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del volumen de tráfico.

2.2. PAVIMENTO

Es la estructura generalmente integrada por la sub-base, base y carpeta de rodadura, construida sobre una terracería debidamente compactada, para poder soportar las cargas de tránsito de acuerdo al diseño, pero al mismo tiempo, deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan en él.

2.2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

Los pavimentos pueden clasificarse en:

- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos rígidos.

- Pavimentos semirrígidos.

Generalmente el diseñador se decide por implementar el sistema Flexible – Pavimentos con tratamiento Superficial debido a que presenta Algunas ventajas sobre el sistema rígido como:

- Bajo costo inicial.
- No requiere de juntas por lo que es más cómodo el tránsito por la carretera
- Puede ser reciclado, etc.

2.2.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Son aquéllos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La Distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico.

2.2.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su fisuración por fatiga

2.2.4. PAVIMENTOS SEMIRÍGIDOS

En términos amplios, un pavimento semirrígido ó compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima.

La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento Portland) permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como ser camiones o aeronaves.

2.2.5. TIPOS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Se menciona los diferentes tipos de Pavimentos Flexibles:

- Convencionales de base granular.
- Deep-Strength de base asfáltica.
- Pavimentos full – depth
- Pavimentos con tratamiento superficial (pueden ser semirrígidos también).

2.2.6. PAVIMENTOS CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Los tratamientos superficiales dobles o triples pueden ser utilizados como capas de revestimiento en carreteras de tráfico leve a medio. Se construyen mediante la aplicación de capas de ligante bituminoso sobre las cuales se conforman capas de material pétreo compactados, cuya granulometría debe ser rigurosamente controlada para satisfacer las exigencias de las especificaciones técnicas adoptadas en el proyecto. El deterioro del revestimiento se produce principalmente por la fisuración debida a la fatiga y/o al desgaste.

2.3. MARCO REFENCIAL

2.3.1. EL CEMENTO ASFÁLTICO

2.3.1.1. DEFINICIÓN

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define el asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas.

El asfalto es un constituyente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, y a veces pueden ser casi enteramente asfalto. Existen algunos petróleos crudos, sin embargo, que no contiene asfalto. En base a la proporción de asfalto, los petróleos se clasifican por lo común en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafina (contiene parafina, pero no asfalto)
- Petróleos crudos de base mixta (contienen parafina y asfalto)

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera es como el asfalto, parafina, gasolina, aceites lubricantes y otros

2.3.2. REFINACIÓN DEL PETRÓLEO CRUDO PARA LA OBTENCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto.

Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles) y se los separa para el posterior refinamiento en nafta, gasolina, querosene y otros productos derivados del petróleo.

Para la separación de la fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener cemento asfáltico. Según el proceso de refinación utilizado se obtienen cementos asfálticos de muy alta o baja consistencia, estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada.

2.3.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO

Está constituido por tres grupos básicos: asfáltenos, 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 asfalten.

Tabla 2.1 Composición química del asfalto

Elemento	Concentración (%)
Carbono	82- 88%
Hidrógeno	8- 11%
Azufre	0- 6%
Oxígeno	0-1.5%
Nitrógeno	0- 1%

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por:

Ing. German Garzón, Costa Rica, 2004

2.3.4. ENSAYOS PARA CARACTERIZAR EL CEMENTO ASFÁLTICO

- ENSAYOS DE VISCOSIDAD
- ENSAYOS DE PENETRACIÓN
- ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN

- ENSAYO DE DUCTILIDAD

2.3.5. PROPIEDADES DEL MATERIAL ASFÁLTICO

El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

Tabla II.4. Cuadro comparativo de los materiales asfálticos

Material asfáltico	Ventajas	Desventajas	Proceso de curado
Mezclas en caliente	Aplicación directa	Humos y costo de combustible	Por enfriamiento
Asfaltos rebajados	Trabajabilidad	Contaminación atmosférica	Evaporación del Solvente
Emulsiones asfálticas	Menor polución, menor costo de combustible	Cuidado en el manejo de la emulsión	Rotura, coalescencia, evaporación del agua

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual del Asfalto.

2.3.6. ENSAYOS EN MATERIALES ASFÁLTICOS

2.3.6.1. PENETRACIÓN

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración. Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto del Asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300. Además, el Instituto tiene especificaciones para

un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones especiales e industriales. Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T49 y en el ASTM D5.

2.3.6.2. VISCOSIDAD

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas a las que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática.

En el ensayo Saybolt-Furol se emplea un viscosímetro Saybolt con un orificio Furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad especificada de betún asfáltico. Como las temperaturas a que se determina la viscosidad de los betunes asfálticos son frecuentemente superiores a los 100 °C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material. Cuando más viscosos son los materiales más tiempo es necesario para que pasen a través del orificio. Los valores obtenidos se expresan como segundos Saybolt-Furol (SSF). Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E102.

La viscosidad cinemática del betún asfáltico se mide normalmente con viscosímetros de tubo capilar de cristal. Como consecuencia de la comodidad del ensayo y de la mayor exactitud de los resultados, hay una reciente tendencia a medir la viscosidad cinemática de los betunes asfálticos y de los asfaltos fluidificados. Para este ensayo son necesarios, como consecuencia de la amplia gama de viscosidades de los asfaltos, varios viscosímetros calibrados que difieren entre sí en el tamaño del tubo capilar. La base de este ensayo es la medida del tiempo necesario para que fluyan un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura de líquido, rígidamente controladas. Mediante el tiempo medido, en segundos, y la constante de calibración del viscosímetro, es posible calcular la viscosidad cinemática del material en la unidad fundamental, centistokes.

2.3.6.3. PUNTO DE INFLAMACIÓN

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo del vaso abierto Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en los métodos AASHTO T48 y ASTM D92. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define como punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

2.3.6.4. ENSAYO EN ESTUFA EN PELÍCULA DELGADA

El ensayo en estufa en película delgada se emplea para prever el endurecimiento que puede esperarse se produzca en un betún asfáltico durante las operaciones de mezclado en la instalación mezcladora. Esta tendencia al endurecimiento se mide por ensayos de penetración realizados antes y después del tratamiento en estufa. Se expresa la penetración del betún asfáltico después del tratamiento en la estufa como porcentaje de la penetración antes del tratamiento. Las especificaciones prescriben valores mínimos para el porcentaje de penetración retenido que varían para los diferentes tipos de betún asfáltico.

El procedimiento a seguir en la realización del ensayo en horno en película delgada.

2.3.6.5. DUCTILIDAD

La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y en el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

2.3.6.6. PESO ESPECÍFICO

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso

específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro.

2.3.6.7. TEMPERATURAS DE APLICACIÓN DEL ASFALTO

Normalmente se especifican las temperaturas de aplicación para diversos empleos de los materiales asfálticos, pero como consecuencia de las variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es suficiente para hacer uso adecuado de los materiales. Por ello, el Instituto del Asfalto recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-temperatura de cada material asfáltico antes de fijar la temperatura adecuada para el tipo de procedimiento constructivo empleado.

Las temperaturas más elevadas de este campo de variación son normalmente más adecuadas para mezclas con áridos finos. No hay que olvidar que la temperatura de los áridos regula en medida importante la temperatura de la mezcla.

Tabla II.10. Temperaturas de aplicación del asfalto

Tipo y grado de asfalto	Temperatura de empleo recomendada en °C		
	Para mezcla	Para riego	
Betunes asfálticos.	40-50	150-180	-
	60-70	135-165	140-175
	85-100	135-165	140-175
	120-150	135-165	140-175
	200-300	95-135	125-160

Fuente Manual del Asfalto

2.3.7. AGREGADOS PARA EL USO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.3.7.1. GENERALIDADES

La calidad y gradación de los agregados tienen un efecto importante en las propiedades de la mezcla, el tipo de agregado debe ser considerado cuidadosamente, pues las propiedades varían según el lugar de producción. La calidad y gradación del agregado obtenida en ensayos de laboratorio indican los niveles recomendables de su uso. Así, la selección apropiada del agregado depende esencialmente del propósito de su aplicación, tomando en cuenta los factores económicos.

2.3.8. TIPOS DE AGREGADOS UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.3.8.1. AGREGADO GRUESO

Los agregados gruesos son partículas grandes, mayores aproximadamente a 2,5mm (0,1 plg). Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas

2.3.8.2. PIEDRA TRITURADA

El material bruto para piedra triturada debe provenir de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de partícula de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final.

Las piedras trituradas deben tener uniformidad, limpieza, dureza y durabilidad suficiente, y estar libres de una cantidad perjudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

2.3.8.3. GRAVA TRITURADA

Grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación- La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras además en la distribución o rangos de tamaño de las partículas.

Las proporciones de las partículas que tienen una o más caras fracturadas, tiene que ser mayor al 75% del peso total de partículas retenidas en un tamiz de 4,75 mm Sin otro procesamiento, este producto de grava triturada o chancada se llama "triturado sin cribar".

2.3.8.4. AGREGADO FINO

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 2.5mm (0,1plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las facciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas. Los áridos finos son aquéllos que pasan el tamiz número 4.

2.3.8.5. ARENA

La arena se clasifica en: arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial.

La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación en: arena de río, arena de cantera y arena de mar.

2.3.8.6. FILLER

Relleno mineral es un producto mineral finamente dividido del que al menos el 65% pasa por el tamiz número 200. La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedras, cal apagada, cemento Portland y algunas sustancias minerales muy finas y otras de origen volcánicas.

El filler aumenta en muchos casos la estabilidad y la calidad de una mezcla, ayudando en la aportación de agregado fino cuando se utilizan gradaciones cerradas o densa, en estos casos es frecuente el empleo principalmente polvo mineral (Porción de los áridos finos que pasa el tamiz número 200), y otros fillers.

Tabla.2.3.8.6. Grados Estándar Del Filler Mineral

Filler Mineral			
Tamiz	#100		#200
% que pasa	100	90-100	65-100

Fuente.

Elaboración personal

El polvo mineral es usado principalmente como filler para la mezcla de asfalto en caliente. Es la parte de los áridos que pasa por el tamiz N°200. Puede consistir en partículas finas de los áridos finos o gruesos y/o filler mineral- El filler se produce triturando piedra caliza o roca volcánica y debe contener menos del 1% de agua y estar libre de aglomerados, no contendrá sustancias orgánicas ni partículas de arcilla. Cuando se almacena el filler mineral, se debe . evitar cualquier contacto con agua o humedad, porque se vuelve inservible cuando está mojado.

2.3.8.7. ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

Para muchos ingenieros de materiales, la resistencia del material es frecuentemente considerada como un factor de calidad, sin embargo, este no es el caso necesariamente para mezclas en caliente para pavimento. Una estabilidad extremadamente alta de las mezclas asfálticas, muchas veces, es obtenida a expensas de bajar la durabilidad de los agregados, y viceversa.

Los áridos se emplean, combinados con los asfaltos de diversos tipos, para preparar mezcla de usos muy diversos. Como los áridos constituyen normalmente el 90% al 95% en peso de las mezclas asfálticas sus propiedades tienen gran influencia sobre las del producto terminado. Los áridos más empleados son piedra canto rodado, grava triturada o natural, arena y filler natural.

En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de los áridos es tan importante como el de las del asfalto.

2.4. MARCO NORMATIVO

2.4.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.4.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.4.2.1. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (*)

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 define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente. Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6⁰0 de asfalto en volumen de agregados pétreos.

Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla, entre estos el más utilizado es el método Marshall.

2.4.2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias.

Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas. Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado.

2.4.2.3. MEZCLAS POROSAS DRENANTES

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos.

2.4.2.4. MICRO AGLOMERADOS

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm. lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los micro aglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los micro aglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones.

2.4.2.5. MASILLAS

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que, si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

2.4.2.6. MEZCLAS DE ALTO MÓDULO

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. A 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de grava cemento es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorrar espesor.

2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE AGREGADOS PÉTREOS

El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-bases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cemejante para utilizar en diseño de mezcla asfáltica.

2.4.3.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Las propiedades más importantes de los agregados que se usan para la construcción de carreteras son:

- Tamaño y graduación de las partículas.
- Dureza o resistencia al desgaste.
- Durabilidad
- Densidad relativa.
- Estabilidad química.
- Forma de partícula y textura de la superficie.

2.4.3.2. TAMAÑO DE PARTÍCULAS Y GRADUACIÓN DE LOS AGREGADOS

Una propiedad clave de los agregados que se usan en las bases y superficies de las carreteras es la distribución de los tamaños de partículas al mezclarlos. La graduación de los agregados, esto es, la combinación de tamaños de partículas en la mezcla, afecta la densidad, la resistencia, y la economía de la estructura del pavimento.

En el método **T27 de la AASHTO** se dan los procedimientos detallados para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

2.4.3.3. RESISTENCIA AL DESGASTE

Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de Los Ángeles.

El método T96 de AASHTO da un procedimiento detallado para esta prueba.

2.4.3.4. DURABILIDAD O RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

Comúnmente, la durabilidad de los agregados se mide con una prueba de integridad. Esta prueba mide la resistencia de los agregados a la desintegración en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Simula el intemperismo de los agregados que existen en la naturaleza.

2.4.3.5. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN

La densidad relativa y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y de mezclas bituminosas. La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica. Debido a que los agregados pueden contener huecos permeables al agua, se usan dos medidas de la densidad relativa de los agregados: densidad relativa aparente y densidad relativa de la masa.

2.4.3.6. FORMA, TEXTURA Y LIMPIEZA DEL AGREGADO

Por lo general, las especificaciones para agregados que se usan en la construcción de carreteras tienen requerimientos relacionados con la forma de la partícula, la textura de la superficie y la limpieza del agregado. Normalmente, las especificaciones para agregados que se usan en las mezclas bituminosas requieren que los agregados sean resistentes, limpios, durables y libres de cantidades en exceso de piezas planas o alargadas, polvo, bolas de arcilla y otro material indeseable.

2.4.4. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.4.4.1. PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

Como el agregado está compuesto por fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y filler natural, todos con distinto peso específico, los cálculos finales se verán simplificados de gran manera por el cálculo del peso específico bruto del agregado total. Generalmente, los

pesos parciales, se expresan en por cientos del peso total del agregado- Para introducir en la fórmula (que se detalla a continuación) el peso específico del agregado grueso y el agregado fino se utiliza el peso específico masivo (bulk), y para el filler se usa el peso específico aparente, por lo tanto, la fórmula de peso específico promedio, del agregado mineral es la siguiente:

$$G_{agreg} = \frac{PA}{VA} = \frac{100}{\frac{\%AG(a)}{G_{ag}(a)} + \frac{\%AF(b)}{G_{ag}(b)} + \frac{\%F(c)}{GF(c)} + \dots + \frac{\%A(n)}{G(n)}}$$

(Ec. 2.1 Peso específico de los agregados)

Donde:

G_{agreg} : Peso específico promedio del agregado mineral combinado.

PA: Peso total expresado en porcentaje

AG(a), AF(b), F (c), ..., A(n): Porcentaje de los agregados a, b, c, ..., n

G_{ag} : Pesos específicos brutos de los agregados a, b, c, n

2.4.4.2. DENSIDAD MÁXIMA REAL DE LA MEZCLA (gr/cm³)

Las mezclas asfálticas cuya densidad real requiere ser determinada, pueden ser moldeadas en laboratorio, u obtenerse directamente de un pavimento. El diámetro y longitud de las muestras deben ser no menores a cuatro veces el tamaño máximo del agregado empleado y su altura, por lo menos una vez y medio el tamaño del agregado- La densidad real de la mezcla es comúnmente llamada peso unitario de mezclas asfálticas.

Las muestras obtenidas directamente de un pavimento deben ser representativas de la mezcla empleada y no contener materias extrañas al propio pavimento. Al hacer el ensayo, las muestras deben cubrirse con parafina derretida, al fin de tapar todos los poros, o vacíos de la mezcla, y dejar la muestra al aire 30 minutos antes de pesarla.

La fórmula para determinar la densidad real de la mezcla de las briquetas es:

$$Dr \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{PV(gr)}{VP(cm^3)}$$

(Ec. 2.2 Densidad Máxima Real de la Mezcla)

Donde:

Dr.: Densidad real de la mezcla (briqueta)

PB: Peso de la briqueta sin parafina

VP: Volumen de la briqueta sin parafina

2.4.4.3. DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (gr/cm³)

El peso máximo teórico, de una mezcla asfáltica, compacta es la que considera el volumen del agregado mineral y el del asfalto, sin tomar en cuenta el volumen de vacíos llenos de aire.

La densidad de la mezcla compacta está definida como su peso unitario (El peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante que se debe tomar en cuenta, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

La fórmula su cálculo es la siguiente:

$$D_{mt} \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{100}{\frac{\%C.A.}{GCA} + \frac{100 - \%C.A.}{G_{agreg}}}$$

(Ec. 2.3 Densidad Máxima Teórica)

Donde:

D_{mt}: Densidad máxima teórica

% C. A: Porcentaje de cemento asfáltico

GCA: Peso específico de cemento asfáltico

G_{agreg}: Peso específico del agregado

En las pruebas y análisis de diseño de las mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa generalmente, en kilos por metro cubico (kg/m³), gramos por centímetro cubico (gr/cm³), o libras por pie cubico (lb/ft³). La densidad es calculada de multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³) o (62.416 Lb. /ft³). La

densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuado.

2.4.4.4. VACÍOS DE LA MEZCLA (%)

Expresado en porcentaje del volumen total indica la diferencia relativa entre la densidad teórica y la real para el estado de compactación alcanzado. El contenido de vacíos de aire (también porcentaje de vacíos) es la concentración, en volumen del aire en la muestra compactada. Es importante tomar en cuenta que, en una mezcla asfáltica, una parte de los vacíos o poros existentes entre las partículas del agregado mineral, se llena de asfalto, quedando lleno de aire el resto de los vacíos. En un pavimento asfáltico, es importante que el porcentaje de vacíos llenos de aire se controle. Como dijimos anteriormente, la mezcla asfáltica compacta deberá tener un porcentaje de vacíos, comprendido entre 3 y 5% del volumen total de la mezcla.

Por lo tanto, como ya se indicó los vacíos de la mezcla se expresan como un porcentaje del volumen total de la muestra. Representan el volumen que no es ocupado ni por asfalto ni por agregado. Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos de la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto bajo esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos está entre 3 y 5 % dependiendo del diseño específico. La fórmula para su cálculo es:

$$V_m(\%) = \frac{D_{mt} - D_{rm}}{D_{mt}} * 100$$

(Ec. 2.4 Vacíos de la Mezcla)

Donde:

V_m : Vacíos de la mezcla compactada

D_{mt} : Densidad máxima teórica

D_{rm} : Densidad real promedio

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta es la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de

la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos.

2.4.4.5. VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL V.A.M. %

Expresado en porcentaje del volumen total, representa el volumen de vacíos existentes en el agregado mineral al estado de densificación alcanzado. Parte del volumen de vacíos está ocupado por el cemento asfáltico.

El espacio intergranular está ocupado por el asfalto y aire en una mezcla compacta denominada vacíos del agregado mineral (V.A.M.). Por lo tanto, se define como la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo expresado como un porcentaje del volumen total. El volumen de asfalto absorbido no es usualmente considerado como parte del V.A.M.

Los vacíos del agregado mineral son expresados en porcentaje del volumen total de la muestra. Representan el volumen de la mezcla compacta que no es ocupado por el agregado. El espacio inter granular ocupado por el asfalto y el aire en una mezcla compacta se denomina vacíos del agregado mineral, VAM. En el diagrama de componentes, la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo, es el VAM. El volumen de asfalto absorbido por el agregado no es usualmente considerado como parte del VAM. Por lo tanto, los vacíos del agregado mineral, son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compacta de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos de la mezcla.

Los valores recomendados para el V.A.M. de acuerdo al tamaño de las partículas se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.4 Valores recomendados para los V.A.M.

Tamices Standard	Tamaño Nominal de la partícula	Volumen mínimo de vacíos en el
-------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

Standard (mm)	Alternativo	Mm	Plg.	agregado mineral por ciento
1.18	Nº 16	1.18	0.0469	23.5
2.36		2.36	0.093	21.0
4.75	NO 4	4.75	0.187	18.0
9.50	-----	9.50	0.375	16.0
12.50	-----	12.50	0.5	15.0
19.00	-----	19.00	0.75	14.0
25.00	1.0	25.00	1.00	13.0
37.50	1.5	37.50	1.50	12.0
51.00	2.0	50.00	2.00	11.5
63.00	2.5	63.00	2.50	11.0

Fuente. Capítulo Diseño de Mezclas Asfálticas J.PADILLA

Cuanto mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para el VAM como se detalla en el cuadro anterior los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubra las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$\text{VAM (\%)} = \text{Vm(\%)} + \frac{\text{CA(\%)} * \text{Drm}}{\text{GCA}}$$

(Ec.2.5 Vacíos del Agregado Mineral)

Donde:

VAM (%): Vacíos del agregado mineral

V_m (%): Vacíos de la mezcla compactada

CA (%): Porcentaje de cemento asfáltico

GCA: Peso específico del cemento asfáltico

D_{rm}: Densidad real promedio

Bajo ninguna circunstancia se debe sobrepasar el valor de la fluencia o alcanzar valores inferiores a la estabilidad mínima requerida.

2.4.4.6. RELACIÓN BETUMEN VACÍOS (%)

Expresa el porcentaje de los vacíos del agregado mineral ocupado por el cemento asfáltico en la mezcla compacta.

Esta propiedad es el porcentaje de los vacíos del agregado mineral (VAM) que contiene asfalto. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$RBV(\%) = \frac{VAM(\%) - Vm(\%)}{VAM(\%)} * 100 \quad (\text{Ec. 2.6 Relación Betumen-Vacíos})$$

Donde:

RBV (%): Relación betumen vacíos

VAM (0/0): Vacíos del agregado mineral

V_m (%): Vacíos de la mezcla compactada

2.4.4.7. ESTABILIDAD DE LA MEZCLA (Lb)

Se entiende estabilidad de la mezcla la carga máxima (**carga de rotura**) obtenida cuando se ejecuta el ensayo de acuerdo a las condiciones establecidas para ello, este parámetro se puede asimilar igualmente como una medida de la resistencia al corte de la mezcla.

- La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica es la carga máxima en libras que soporta una probeta aproximadamente de 6.35 cm. de altura y 10.00 cm. de diámetro

cuando se la ensaya a temperatura dada cargándola en sentido diametral a una velocidad de 5.8 cm/minuto.

- Es la resistencia al desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica, La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones provocadas por las cargas impuestas.

Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamiento y corrimiento u ondulaciones). La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

- La fricción interna depende de la textura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y cantidad de asfalto. Es una combinación de la resistencia friccional y de la trabazón del agregado de la mezcla.
- La resistencia friccional aumenta con la rugosidad superficial de las partículas del agregado. También aumenta con el área de contacto de las partículas. La resistencia por trabazón depende del tamaño y forma de las del agregado.

Para cualquiera agregado dado, la estabilidad aumenta con la densificación (hacer que el agregado sea compacto, apretado) de las partículas confinadas, la cual se logra mediante granulometrías cerradas y adecuada compactación. El exceso de asfalto en la mezcla tiene a lubricar las partículas y a disminuir la fricción interna del esqueleto pétreo.

- La cohesión es la fuerza aglutinante propia de una mezcla asfáltica para pavimentación- El asfalto sirve para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas de agregado. La cohesión varía directamente con la intensidad de la carga, el área cargada y la viscosidad del asfalto. Varía intensamente con la temperatura, la cohesión aumenta con el incremento del contenido de asfalto hasta un máximo y luego decrece.

Generalmente para medir la estabilidad de una mezcla asfáltica o su resistencia al desplazamiento lateral, se emplea generalmente, diversos métodos, pero para nuestro caso de estudio se usa el **método Marshall**.

- La estabilidad máxima en una masa de agregados no se alcanza hasta que la cantidad de asfalto que recubre todas las partículas ha llegado a un valor crítico, Un porcentaje adicional del mismo actúa como lubricante más que como ligante, reduciendo la estabilidad de la mezcla, pero aumentando su durabilidad. Por esta razón es mejor

conservar el contenido de asfalto tan alto como sea posible conservando una adecuada estabilidad.

2.4.4.8. FLUENCIA DE LA MEZCLA (1/100")

Es la deformación total expresada en centésimas de pulgada que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

Los valores de fluencia se incrementan, con el aumento del contenido de asfalto en la mezcla y viceversa.

El flujo es la deformación que ocurre en el instante de la rotura, y por tanto una medida de la plasticidad y capacidad de fluidez de la mezcla. Esta deformación se considera en la misma dirección de aplicación de la carga.

2.4.4.9. RELACIÓN ESTABILIDAD – FLUENCIA

Para entender que es una mezcla buena o mala, se recurre al concepto de **rigidez** analizando de una manera combinada los parámetros de estabilidad y flujo.

Existe la falsa idea en nuestro medio de que una mezcla de alta estabilidad es en general buena, lo que lleva de hecho a fortalecer la idea de fabricar mezclas muy rígidas, asunto que favorece a la resistencia a la deformación plástica, pero a costa de una debilidad al fenómeno de la fatiga. La tendencia a fabricar mezclas muy rígidas, con la falsa idea de que mayor resistencia a la deformabilidad es positiva para la mezcla, genera, en consecuencia, una ausencia de la flexibilidad típica del pavimento asfáltico, que puede influir en la fisuración prematura de las capas asfálticas sometidas a tráfico pesado.

El problema de especificar independientemente estos parámetros radica en que se suele rechazar mezclas cuando alguno de estos no cumple con los valores establecidos para control, es decir, que se está argumentando que al cumplir con los parámetros de estabilidad y flujo la mezcla es buena, pero antes de llegar a esta conclusión es indispensable verificar la rigidez de la mezcla, como una medida de su carácter deformable o quebradizo (dúctil o frágil).

Una forma de controlar la rigidez de las mezclas, es empleada en la relación estabilidad/flujo, para verificar que se está evaluando de forma correcta la calidad mecánica de las mezclas asfálticas.

Para el método Marshall, las especificaciones establecen un valor mínimo de estabilidad, mas no definen un máximo, en consecuencia es frecuente ver que en muchos casos los diseños de mezclas asfálticas se toman valores extremadamente altos de estabilidad, sin tomar en cuenta que pueden llegar a ser perjudiciales, la estabilidad es un índice de la mezcla que indica rigidez,

que al ser puesto en la estructura del pavimento, este será fácilmente quebradizo bajo las cargas del tránsito y más susceptible a los agentes del intemperismo, degenerándose completamente hasta el punto de perder la capa asfáltica.

2.4.5. OBJETIVO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Éstas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades.

2.4.5.1. DURABILIDAD

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene por más tiempo, sus características originales. Además el Máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua.

La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con poca durabilidad del pavimento.

TABLA N° 1.- CAUSAS Y EFECTOS DE UNA POCA DURABILIDAD

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y

	Desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente. Capítulo Diseño de Mezclas Asfálticas J.PADILLA

2.4.5.2. ESTABILIDAD

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento establecido es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna.

La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con incrementa en la frecuencia de carga (Tráfico). La cohesión también incrementa a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con incrementos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa 66 sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los Pavimentos.

TABLA N° 3.- CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o Exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la Mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; Dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

Fuente. Capítulo Diseño de Mezclas Asfálticas J.PADILLA

2.4.5.3. RESISTENCIA A LA FATIGA

Es la capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas (Vida Útil).

Resistencia al Deslizamiento Es una cualidad que debe presentar un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje.

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

Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (Relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye.

Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub rasantes débiles.

TABLA N° 2.- CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por Agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por Fátiga.

Fuente. Capítulo Diseño de Mezclas Asfálticas J.PADILLA

2.4.5.4. IMPERMEABILIDAD

Es la resistencia del pavimento a ser penetrado por el agua y el aire.

2.4.5.5. TRABAJABILIDAD

Es la facilidad que tiene una mezcla para ser colocada y compactada. Está relacionado con el tipo y porcentaje de agregado, además de la temperatura de mezclado y compactación.

2.4.6. MATERIALES GRANULARES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.4.6.1. AGREGADOS NATURALES.

Los agregados naturales son utilizados en la fabricación de mezclas asfálticas, se encuentran en canteras como así también en depósitos de origen fluvial, y también proceden de la disgregación de rocas, el método de obtención de estos agregados son de vital importancia puesto que de este trabajo dependerá básicamente los resultados que se quieren obtener.

2.4.6.2. AGREGADOS ARTIFICIALES.

Estos agregados proceden bien de procesos industriales de los cuales son un sub producto o bien el tratamiento industrial de los agregados naturales también pueden proceder del trituración o fragmentación de las rocas. Son utilizados en las construcciones de mezclas asfálticas, cuando los proyectos tienen que cumplir especificaciones rígidas, consideraciones ambientales y eventual escasez de los agregados naturales.

2.5. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL

2.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante. Se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a una temperatura de 140 ó 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura de 110 a 130 °C. Después que el material pétreo esté caliente y seco se mezclan sus componentes de acuerdo a una composición granulométrica aprobada, incorporándole a continuación el cemento asfáltico en una cantidad previamente definida.

Las mezclas terminadas se extienden en capas uniformes en el espesor y ancho requeridos, para luego ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C. (NORMA AASHTO T245)(O ASTM D 1559).

2.5.2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

Se debe establecer los criterios que se van a considerar para la preparación de la mezcla, de acuerdo a las especificaciones técnicas que regirán el proyecto:

- Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla total
- Porcentaje de vacíos llenados con el asfalto

- Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral
- Valor mínimo de la estabilidad
- Rango de valores límite de fluencia

Estos criterios se deben ajustar a los valores de proyecto, correspondientes al nivel de tráfico establecido (liviano, mediano y pesado).

- Tráfico liviano ESALs > 104
- Tráfico mediano ESALs de 104 a 106
- Tráfico Pesado ESALs > 106

Es conveniente, en forma previa, analizar la susceptibilidad de la mezcla al agua, para determinar su comportamiento con relación al desplazamiento de la película de ligante por el agua (“stripping”), que depende del porcentaje de vacíos de aire, a través de los cuales la humedad debe ser secada.

2.5.3. FACTORES QUE DEBEN CONTROLARSE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para que una carpeta sea estable, duradera, impermeable y antiderrapante, se deben controlar los siguientes factores:

- Granulometría del material pétreo
- Contenido de asfalto
- Características del cemento asfáltico

2.5.4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO MARSHALL

- El método Marshall usa muestras de prueba normalizadas (briquetas) de 2 y ½” de espesor por 4” de diámetro (64 x 102 mm).
- Se selecciona el agregado que cumpla con las especificaciones requeridas. El tipo y grado del asfalto, de acuerdo al tipo de agregado y las condiciones climáticas.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se preparan y compactan una serie de muestras de prueba (briquetas), con distintos porcentajes de asfalto cuyo rango de variación no debe ser mayor a 0,5%. Como mínimo se debe incluir dos porcentajes por encima y dos por debajo del óptimo de contenido de asfalto estimado.

2.5.5. Preparación para efectuar los procedimientos Marshall

Como es conocido, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características, que tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades que se necesita en una determinada

mezcla asfáltica, y posteriormente seleccionar el tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

3. Selección de las muestras de material

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple, los datos de los procedimientos de diseño de la mezcla determinan la "receta" para la elaboración de la mezcla final usada en el proceso de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en laboratorio tienen características idénticas a los usados en el producto final.

4. Preparación del agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida con el propósito de establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar claramente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico.

Con la finalidad de preparar una serie de briquetas que tengan diferentes contenidos de asfalto, se prepara una dosificación por el método de tanteo, en función de una faja de trabajo que se adecue al proyecto, y de una granulometría conocida de los agregados disponibles (Grava de 3/4, Grava de 3/8 y Arena Natural).

Como indica el nombre del método, se tantea con diferentes porcentajes de agregado, hasta que se encuentre una combinación que se adecúe de mejor manera posible a la faja de trabajo.

Sabiendo que se tiene que elaborar briquetas con un peso de 1200 g; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total' de la briqueta.

Conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briqueta por la diferencia en peso entre el total de la briqueta y el peso del asfalto, se separa una dosificación en pesos retenidos, que aporta cada tamiz.

Se prepara un número determinado de muestras de agregado, por contenido de asfalto, para elaborar un punto en la curva de dosificación Marshall, y se separa cada uno en bolsas o platos correctamente identificados.

Es importante mencionar que, para la elaboración del método tradicional de mezcla asfáltica en caliente, el agregado tiene que estar seco, para tal fin, antes de efectuar el pesado se deja el material en horno a 110 0 C durante 24 horas.

- **Preparación de las muestras (briquetas) de ensayo.**

Las briquetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentos son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, como se mencionó anteriormente. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados de análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan y se mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas- Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados

Marshall como preparación para la comparación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 y 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así una probeta Marshall de 35 golpes, realmente, recibe un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación, las briquetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

De forma más concreta se explica los siguientes pasos:

Paso 1.- Para realizar nuestra mezcla asfáltica lo que debemos hacer primero es pesar el agregado de acuerdo a nuestra dosificación por cada tamiz y porcentaje de cemento asfáltico que se empleará e introducir la muestra al horno para que al momento de dosificar tenga la misma temperatura que el cemento asfáltico.

Paso 2.- Una vez listo la muestra se debe preparar los instrumentos y equipo que se utilizara:

En este caso se necesita que los anillos base y cuellerin estén limpios y calientes, se lo hace calentar en la plancha.

El martillo también tiene que estar caliente en su base para la compactación de las briquetas.

Los anillos deben ser aceitados y tener 2 filtros uno en la base y el otro en la parte superior.

Paso 3.-Teniendo el material y el equipo listo se procede a la dosificación de la mezcla.

Se coloca un recipiente a fuego lento y se introduce la muestra con el peso correspondiente de Agregado + Cemento Asfáltico, se lo remueve con una cuchara hasta que se adhiere por completo la mezcla llegando a una temperatura de 150 °c.

Paso 4.- Se utiliza un cartón como base, vaciando la mezcla hasta que llegue una temperatura de 135 °c.

Se lleva la mezcla a los anillos para realizar la compactación colocando los filtros y realizando la compactación a 75 golpes por cara.

Una vez realizado se lleva la briqueta sacando los filtros, dejando reposar durante 24 horas y así sucesivamente para las demás dosificaciones.

Paso 5.-Para desmoldar las briquetas utilizamos una Gata hidráulica y se deja reposar por 2 horas.

Paso 6.-Se enumeran las briquetas y se raspan las impurezas de la mezcla, se las pesa, se mide la altura, se realiza peso saturado en un recipiente con agua a 25 °c. durante un lapso de 10 minutos.

Paso 7.-Se las sumerge en un recipiente conectado con un hilo a la balanza para encontrar e Peso Sumergido, se las seca para encontrar el peso seco, se las lleva al equipo baño maría haciendo que llegue a una temperatura de 60 °c.

Paso 8.-Una vez realizado el Baño María se las lleva a la Prensa Marshall para determinar sus propiedades como ser: Estabilidad: Deformación de Flujo, etc.

Con la dosificación patrón que se realizó, se encuentra el óptimo remanente de lo cual se sigue el siguiente Procedimiento:

Paso 1.- Se realiza el mismo procedimiento para 2 briquetas, y 2 briquetas a 24 horas.

Realizado las briquetas se las lleva a la prensa Marshall para determinar:

Peso específico total, análisis de la densidad, contenido de vacíos de las briquetas, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall.

2.5.6. EQUIPO

Entre los elementos más importantes del equipo necesario para la elaboración de los núcleos de prueba, se pueden citar los siguientes:

- a. Horno y placa calentadora eléctrica, para calentar los materiales, horno aireador para el curado de la mezcla.
- b. Termómetro blindado de vidrio o dial con varilla para lecturas entre 50 °F (10°C) y 450 °F (232 °C).
- c. Balanza de 2 Kg de capacidad, con aproximación a 0.1g. Balanza de 5 Kg con aproximación a 1 g.
- d. Pedestal para compactación, que consta de un soporte de madera, sobre el cual descansa una placa de acero de 12" x 12" x 1" (305 x 305 x 25 mm).
- e. Molde de compactación que consta de una base, molde encontrado y collar de extensión. Molde tiene un diámetro inferior de 4" (101,6 mm) y una altura aproximadamente 3" (76 mm). La base y el collar están diseñadas para intercambiarse ya sea a uno u otro del molde.
- f. Martillo de compactación que consta de una barra achatada que cae deslizándose sobre una guía y un pison de cara circular de 3 7/8" (98,4 mm). La barra pesa 10 libras (4.5 Kg) y tiene una caída (guía) de 18" de altura.
- g. Soporte del molde, que consta de un dispositivo de tensión elástica, diseñado para acoplar el molde sobre el pedestal de compactación.
- h. Extracto de muestra o prensa para extraer la muestra (briqueta) ya compactada.
- i. Accesorios como cucharas, espátulas, mezclador mecánico, baño d agua, hirviendo, etc.
- j. Máquina de ensayo Marshall, con dispositivo eléctrico, diseñada para aplicar las cargas a las muestras por medio de pesas de ensayo semicirculares, está equipada con un calibrador provisto de anillo para determinar la carga de ensayo, de un marco de carga para el ensayo de estabilidad y un medidor de flujo, para establecer la deformación bajo la carga máxima de ensayo. Baño de agua con una profundidad mínima de 15 cm (6"), provisto de un termostato para mantener una temperatura de 60 °C \pm 1 °C.

2.6. ENSAYO CÁNTABRO (NLT-352/86)

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.

El procedimiento del ensayo es el siguiente:

1. Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota dicho valor, P1.
2. 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.
3. 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.
4. Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la siguiente expresión:

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

Donde

P_c = valor de la pérdida por desgaste, en %.

P₁ = masa inicial de la probeta, en gramos.

P₂ = masa final de la probeta, en gramos.

Según estudios realizados por la Universidad Politécnica de Cataluña, se debe fabricar una mezcla patrón a partir de agregados sanos y limpios, con un desgaste de Los Ángeles inferior al 25%, y de una absorción inferior al 1,5%.

La probeta se fabrica siguiendo el procedimiento Marshall con el porcentaje Óptimo obtenido, pero empleando en la compactación únicamente 50 golpes por cara.

2.7. ADHERENCIA

Para la Adherencia se procede con lo siguiente:

- Se toma una muestra de Agregado (Triturado) y Agregado (Natural) con un peso de 500g.
- Los 500g. Acumulado desde el tamiz **3/4": 3/8": 1/2": 4":10":16"**.
- Se coloca en un Matraz el agregado vaciando Asfalto caliente, de la misma forma se lo llena con agua en condiciones naturales dejándolo reposar durante 24 horas.
- Pasando las 24horas se ve el desprendimiento del asfalto del agregado haciendo un análisis visual observando cuál de los 2 agregados tuvo el desprendimiento más notorio.

2.8. ESPECIFICACIONES TECNICAS SEGUNO ENSAYOS DE LABORATORIO

Tabla N° 2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MATERIALES DE MEZCLA ASFALTICA

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica es esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.

Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C – 127 ASTM C – 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un periodo largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.
Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22 (MS-22)

2.9. ALCANCE

En el Capítulo II se propone dar a conocer la teoría desde su inicio con lo que es el pavimento hasta llegar a los métodos de diseño de mezclas asfálticas, explicando las caracterizaciones y Propiedades de los Agregados Pétreos Naturales y Triturados, Caracterización y Propiedades del Cemento asfáltico, Método Marshall, Procedimiento Marshall, Equipo, etc.

De esa forma comprobamos mediante un análisis de dosificaciones de las mezclas asfálticas en caliente para obtener óptimas propiedades, de esa manera lograremos una solución al problema planteado del proyecto.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO NATURAL, TRITURADO Y CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

3. INTRODUCCIÓN

En los Capítulos anteriores se habló sobre la perspectiva objetivos, hipótesis, sobre el Método Marshall, los aspectos para el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente con dos tipos de agregados pétreos Triturados y Naturales, así como las normas aplicables al diseño de la misma.

En el presente capítulo se desarrollan las pruebas de laboratorio necesarias para llevar a cabo el Diseño de la mezcla propuesta en el estudio.

Se eligió la Chancadora de Garzón ubicado en San Mateo con dirección a la carretera panamericana se desvía a la derecha a 2km encontrándose dicha cantera que es de agregado pétreo (Triturado).

La Cantera del río Guadalquivir se encuentra ubicado pasando el barrio Miraflores a 500m. Cuenta con agregado pétreo (Natural) de esta forma hacer cumplir con la perspectiva del estudio planteado.

El cemento asfáltico seleccionado fue solicitado del Gobierno Autónomo Municipal, ya que trabajan con cemento asfáltico convencional cumpliendo con las especificaciones Técnicas requeridas.

El capítulo está compuesto principalmente en dos partes:

- La primera que constituye la descripción detallada del procedimiento para la caracterización de los materiales pétreos (**Naturales y Triturados**) (Grava 3/4", Arena y Filler).
- La segunda parte constituye al análisis del cemento asfáltico Convencional (85100)

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Suelos y Asfaltos del SEDECA, por tal motivo, se describen dichos ensayos con la norma ASTM y AASHTO. Siendo la más utilizada.

3.1. SELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente estudio utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija – Cercado que se ajustan dentro de las normativas vigentes; además de tener una disponibilidad.

El material pétreo Triturado está situado en San Mateo.

IMAGEN 3.1 Cantera Agregado Pétreo Triturado (Garzón)



Fuente. Elaboración Personal

IMAGEN 3.2. Cantera Agregado Pétreo Triturado (Garzón)



Fuente. Elaboración Personal

El material pétreo Natural es del río Guadalquivir zona MiraFlores del Departamento de Tarija – Cercado.

IMAGEN 3.3. Imagen Satelital Clasificadora Agregado Pétreo Natural



Fuente. Elaboración Personal

IMAGEN 3.4. Clasificadora Agregado Pétreo Natural



Fuente. Elaboración Personal

3.2. UNIDAD DE ESTUDIO

3.2.1. POBLACIÓN

Comportamiento de las Mezclas Asfálticas en Combinación de dosificaciones:

- Agregado río Guadalquivir +Cemento Asfáltico (85100) = DOSIFICACIÓN 1
- Agregado Triturado San Mateo+ Cemento Asfáltico (85100) = DOSIFICACIÓN 2

3.1.-GRAFICO POBLACIÓN DOSIFICACIONES



Fuente Elaboración Personal

3.2.2. TAMAÑO Y MUESTRA

3.2.2.1. Muestra

- Agregado Pétreos (Triturados) y (Naturales)

3.2.2.2. Muestreo

- Para la selección de la muestra se analizará la mezcla asfáltica con la Combinación de Agregados Pétreos (Triturados y Naturales) verificando que cumpla con las Propiedades de acuerdo a la norma para posteriormente realizar una comparación con la mezcla asfáltica convencional.

3.2.3. PROPIEDADES.

Se va a utilizar **3 propiedades**:

- RESISTENCIA
- ESTABILIDAD
- DURABILIDAD

2 COMBINACIONES.

- Cantidad de Cemento Asfáltico = 1
- Cantidad de Agregados Pétreos Natural= 2
- Cantidad de Agregado Pétreo Triturado = 2

3.2.4. SELECCIÓN NIVEL DE CONFIANZA

TABLA SELECCIÓN NIVEL DE CONFIANZA

NÚMERO	POR PROPORCIÓN	VARIANZAS
INFINITO DESCONOCIDO	$n = \frac{z^2 * P * q}{e^2}$	$n = \frac{z^2 * S^2}{e^2}$
INFINITO CONOCIDO	$n = \frac{N * z^2 * P * q}{(N-1)e^2 + z^2 * p * q}$	$n = \frac{N * z^2 * G^2}{(N-1)e^2 + z^2 * G^2}$

Fuente Estadística Chungara

G= Desviación estándar

G²= Varianza

p= Probabilidad de que ocurra el suceso

q=No Probabilidad de que ocurra el suceso

e= Error probabilidad

Z= Valor del nivel de confianza

Z=95%

NC %	Z
50	0.574
80	1.28
85	1.44
90	1.64
95	1.96
99	2.58

3.2.5. PLANILLA DE MUESTRA ESTRATIFICADA

PLANILLA MUESTRA ESTRATIFICADA								
ENSAYOS	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi* qi	wi	ni	Asumido
Granulometría de áridos	4	0.5	0.5	0.25	1	0.0161	2.427	2
Desgaste de los Ángeles	4	0.5	0.5	0.25	1	0.0161	2.427	2
Peso Especifico	4	0.5	0.5	0.25	1	0.0161	2.427	2
Rotura (Marshall)	42	0.5	0.5	0.25	10.5	0.1687	25.483	25
Caracterización del cemento asfáltico								
Viscosidad	3	0.5	0.5	0.25	0.75	0.0120	1.8	2
Penetración	3	0.5	0.5	0.25	0.75	0.0120	1.8	2
Ductilidad	3	0.5	0.5	0.25	0.75	0.0120	1.8	2
Punto de ablandamiento	3	0.5	0.5	0.25	0.75	0.0120	1.8	2
Punto de inflamación	3	0.5	0.5	0.25	0.75	0.0120	1.8	2
Propiedades mecánicas								
Estabilidad	36	0.5	0.5	0.25	9	0.1446	21.84	36
Fluencia	36	0.5	0.5	0.25	9	0.1446	21.84	36
% de Vacíos de aire	36	0.5	0.5	0.25	9	0.1446	21.84	36
% de VAM (Vacíos de agregado mineral)	36	0.5	0.5	0.25	9	0.1446	21.84	36
Peso unitario	36	0.5	0.5	0.25	9	0.1446	21.84	36
TOTAL	249				62.25	1		221

Fuente Elaboración Propia

$$N = \frac{\sum Ni * Pi * qi}{N \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} * \sum Ni * Pi * qi} \quad n=60$$

N optimo =151 Ensayos

DATOS NIVEL	
CONFIANZA 95%	
z=	1.96
p=	0.5
q=	0.5
e=	0.05

Tabla 3.2.5 ENSAYOS CARACTERIZACIÓN DE LOS 2 AGREGADOS

Agregados Triturados	Granulometría	Porcentaje De Caras	Equivalente De	Desgaste de los Ángeles	Peso Específico	Límites de Atterberg	Pesos Unitarios
Ensayos	3	4	3	3	3	3	3
Agregados Naturales	Granulometría	Porcentaje De Caras	Equivalente De	Desgaste de los Ángeles	Peso Específico	Límites de Atterberg	Pesos Unitarios
Ensayos	3	4	3	3	3	3	3

Cántabro	Adherencia
4	1

4	1
----------	----------

Cántabro	Adherencia
4	1
4	1

Fuente Elaboración Propia

TABLA ENSAYO CEMENTO ASFÁLTICO

Asfalto Convencional	Penetración	Dúctilidad	Viscosidad	Punto de Ablandamiento	Punto de Inflamación	Peso Específico
Ensayos	3	3	3	3	3	3

Fuente. Elaboración personal

Diseño Marshall Agregado Pétreo Triturado	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Briquetas	3	3	3	3	3	3
Diseño						

Marshall						
Agregado	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Pétreo						
Natural						
Briquetas	3	3	3	3	3	3

TABLA POCENTAJES DE DOSIFICACION MARSHALL

Fuente. Elaboración personal

3.2.6. ALCANCE

Para construir, mantener y supervisar eficientemente las calles y carreteras que el Departamento de Tarija – Cercado requiere para su desarrollo, es necesario conocer las especificaciones técnicas correspondientes, pero además es preciso tener conceptos claros sobre el comportamiento de los materiales utilizados, así poder aprovechar sus ventajas y prever sus desventajas del pavimento flexible.

En las características de los agregados se realizara un estudio de caracterización mecánicas su relación con las mezclas, teniendo en cuenta los criterios de la ABC, de esa manera se realiza el “ANÁLIS DE DOSIFICACIONES DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE OBTENIENDO OPTIMIZACIÓN DE PROPIEDADES”, determinando el contenido Optimo de Cemento asfaltico, Resistencia, Estabilidad, Durabilidad,etc. Para este se empleara el método Marshall que es el que se utiliza con frecuencia para estudiar estas propiedades.

3.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.

Para realizar la caracterización de los agregados Triturados y Naturales que se va a utilizar en la elaboración del diseño de las mezclas asfálticas, se va realizar cada ensayo para diferentes agregados.

A continuación se procede a mencionar los siguientes ensayos realizados:

- Peso Unitario
- Granulometría
- Límites
- Peso Específico
- Desgaste de los Ángeles
- Durabilidad Sulfato de Sodio
- Equivalente de Arena.
- Caras Fracturadas
- Laminaridad
- Chatas y Alargadas

3.3.1. DETERMINACIÓN DE PESO UNITARIO DEL RIO SAN MATEO AGREGADO PÉTREO TRITURADO

Se utiliza para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico.

3.3.1.1. PESO UNITARIO SUELTO

TABLA 3.3.1.1 RESULTADOS PESO UNITARIO SUELTO

ENSAYOS (grs.c/m)		Promedio	Especificación Técnica
Ensayo 1	1.372	1.566	-----
Ensayo 2	1.662		
Ensayo 3	1.663		
PROMEDIO	1.566		

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 3.3.1.2. RESULTADOS PESO UNITARIO VARILLADO

ENSAYOS		Promedio	Especificación Técnica
Ensayo 1	1.381	1.471	-----
Ensayo 2	1.372		--
Ensayo 3	1.662		
PROMEDIO	1.471		

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

3.3.2. GRANULOMETRÍA (AASHTO T – 27)

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los agregados hasta el tamiz #200, mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

3.3.2.1. DATOS Y RESULTADOS

Tabla3.3.2.1 Granulometría

Peso Total	5822.0 gr		3722.0 gr		500.0 gr		Abertura
Seco	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón		Tamiz
Tamiz	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.
N°							
1"	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	25.40

3/4"	396.0	93.2	0.0	100.0	0.0	100.0	19.10
1/2"	5473.0	6.0	119.0	96.8	0.0	100.0	12.70
3/8"	5775.0	0.8	216.0	94.2	0.0	100.0	9.50
N° 4	5781.0	0.7	3443.0	7.5	12.5	97.5	4.75
N° 8	5793.0	0.5	3707.0	0.4	102.5	79.5	2.36
N° 16	5805.0	0.3	3711.0	0.3	205.0	59.0	1.18
N° 40	5810.0	0.2	3713.0	0.2	350.5	29.9	0.43
N° 80	5816.0	0.1	3715.0	0.2	399.0	20.2	0.18
N° 200	5819.0	0.1	3718.0	0.1	442.5	11.5	0.075

Fuente Elaboración Personal

3.3.2.2. AGREGADOS PETREO TRITURADOS RÍO SAN MATEO (Garzón)

3.3.2.3. RESUMEN ESTADÍSTICO

TABLA 3.3.2.3.1. RESUMEN ESTADÍSTICO GRAVA TAMAÑO MÁXIMO 3/4" (GARZÓN)

Numero de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100.0	93.5	7.3	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
Valor Mínimo	100.0	92.5	6.0	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Valor Promedio	100.0	93.1	6.5	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
Desviación Estándar	0.00	0.51	0.67	0.18	0.30	0.20	0.11	0.06	0.03	0.03

FUENTE ELABORACIÓN PERSONAL

TABLA 3.3.2.3.2 ESTADÍSTICO TAMAÑO MÁXIMO 3/8" (GARZÓN)

Numero de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100.0	100.0	98.4	94.2	7.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2
Valor Mínimo	100.0	100.0	96.8	90.5	6.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
Valor Promedio	100.0	100.0	97.5	92.2	7.0	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
Desviación Estándar	0.00	0.00	0.82	1.86	0.56	0.08	0.08	0.07	0.07	0.05

FUENTE ELABORACION PERSONAL

Tabla 3.3.2.3.3. ARENA TRITURADA (Garzón)

ARENA TRITURADA (Garzón)											
N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz										Observaciones
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200	
1	100	100.0	100.0	100.0	98.4	80.4	61.0	30.7	20.2	12.5	

2	100	100.0	100.0	100.0	99.2	82.1	62.3	33.5	19.6	13.5	Material Chancadora Garzón - Rio San Mateo
3	100	100.0	100.0	100.0	97.5	79.5	59.0	29.9	20.2	11.5	

FUENTE ELABORACION PERSONAL

3.3.2.4. RESUMEN ESTADÍSTICO ARENA TRITURADA (GARZÓN)

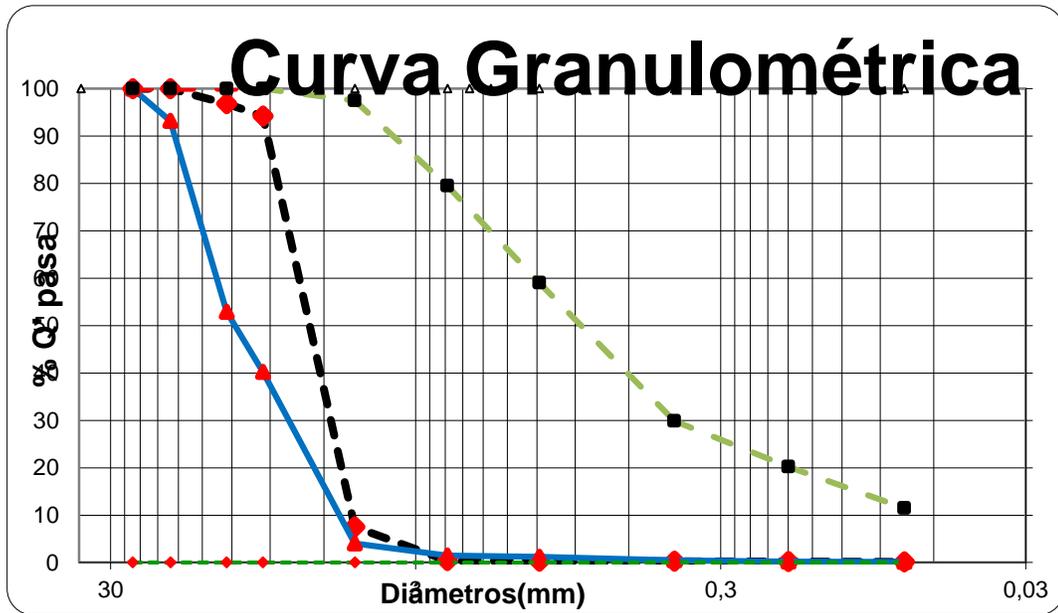
Tabla 3.3.2.3.4. ESTADÍSTICO ARENA TRITURADA (GARZÓN)

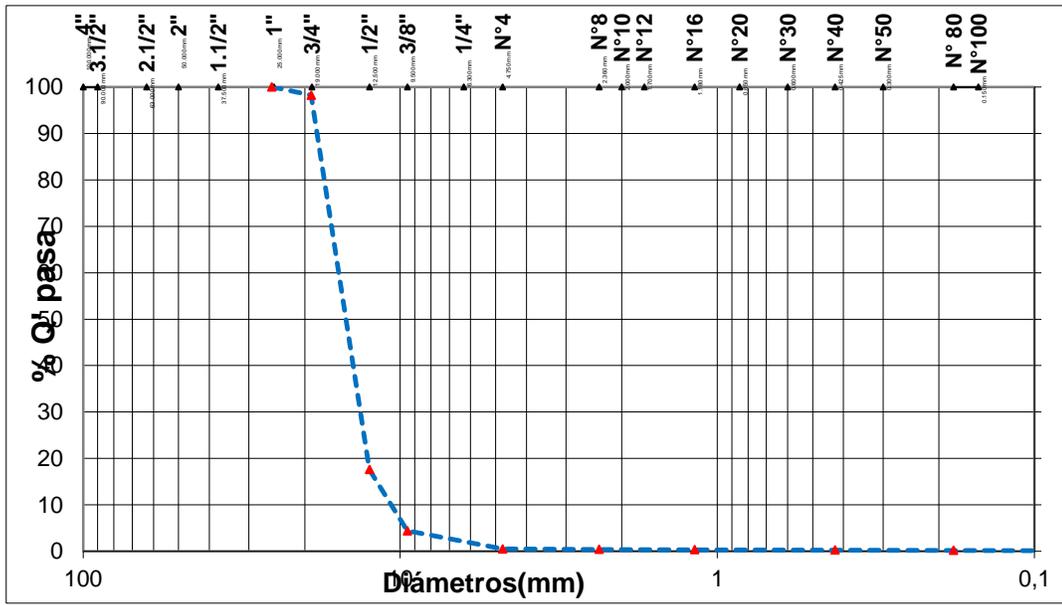
Numero de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	82.1	62.3	33.5	20.2	13.5
Valor Mínimo	100.0	100.0	100.0	100.0	97.5	79.5	59.0	29.9	19.6	11.5
Valor Promedio	100.0	100.0	100.0	100.0	98.4	80.7	60.8	31.4	20.0	12.5
Desviación Estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	1.32	1.67	1.89	0.35	1.00

FUENTE ELABORACION PERSONAL

3.3.2.5. CURVA GRANULOMÉTRICA

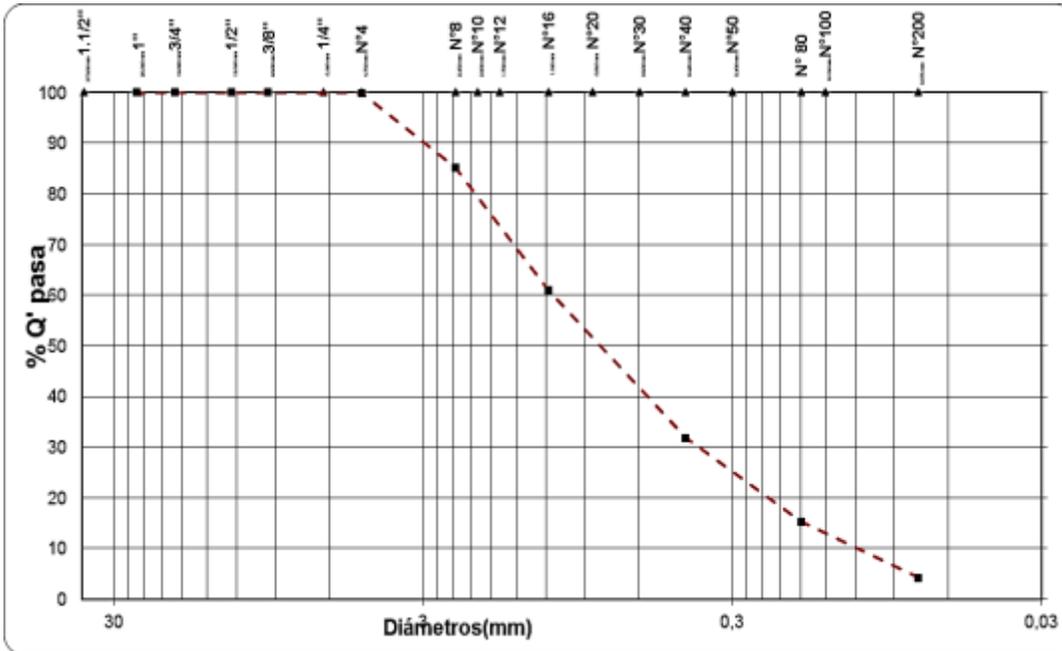
Grafica 3.3.2.5. Curva Granulométrica





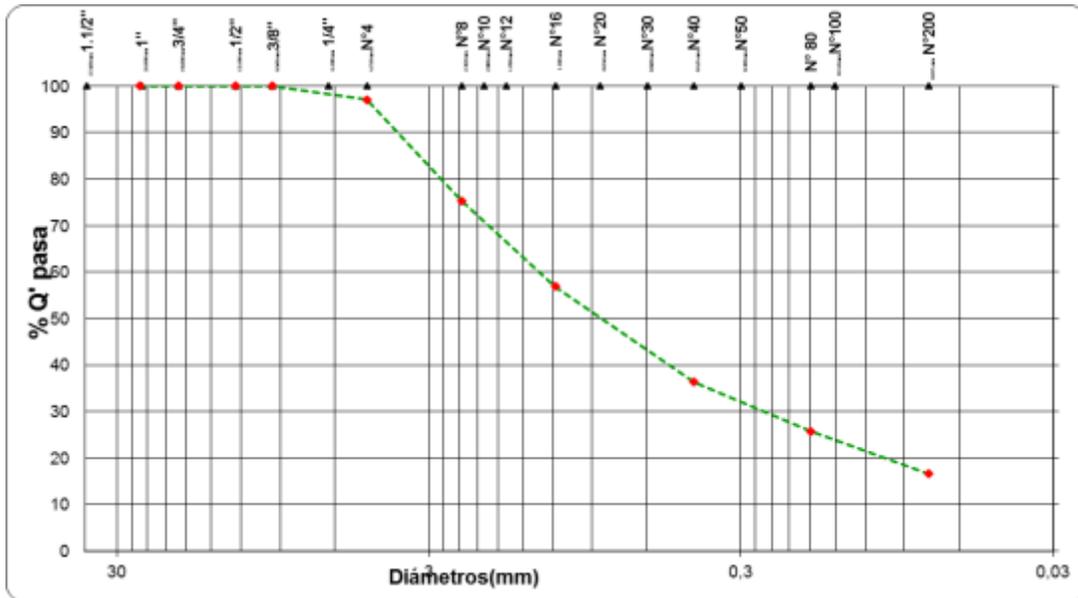
Fuente Elaboración Personal

Curva 3.3.2.7 Granulometría – Material Fino (Arena)



Fuente Elaboración Personal

Curva 3.3.2.8 Granulométrica – Material Fino (Arena Filler)



Fuente Elaboración Personal

3.3.2.6. OBSERVACIONES:

Tabla 3.3.2.6.Observaciones

Grava ¾ - Garzón	Material Chancadora Garzón - Rio San Mateo
Gravilla 3/8 - Garzón	Material Chancadora Garzón - Rio San Mateo
Arena Triturada - Garzón	Material Chancadora Garzón - Rio San Mateo

Fuente Elaboración Personal

3.3.3. LÍMITES DE ATTERBERG (AASHTO T – 89)

3.3.3.1. Límite líquido

**TABLA.3.3.9.1 LIMITES DE ATTERBERG
(Límite Líquido) AASHTO T- 89**

N° Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes
15	42.69	38.88	3.81	15.22	23.66	16.10	5
10	41.6	39.2	3.65	15.19	23.53	16.5	4
12	42.5	38.92	3.58	15.25	23.67	15.12	5

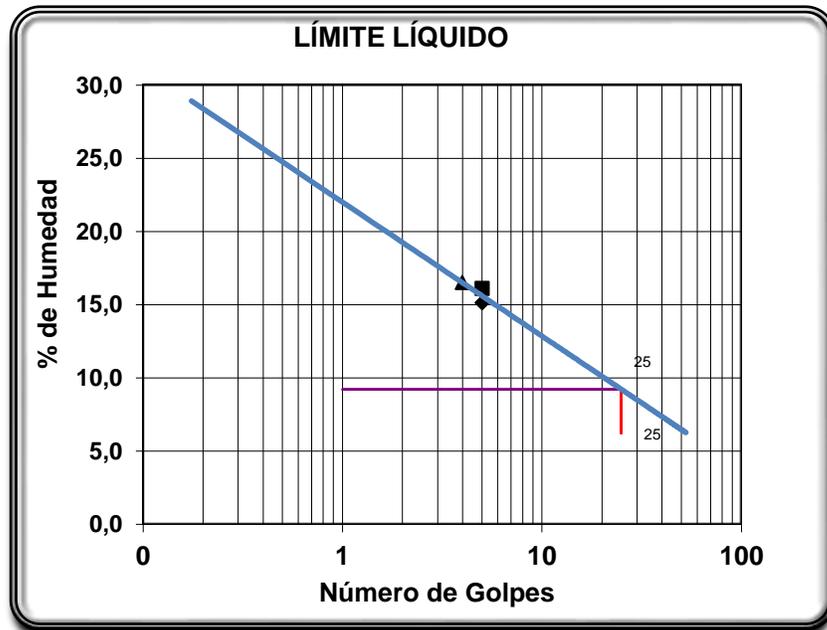
Fuente Elaboración Personal

3.3.3.2. LIMITE PLÁSTICO

- NO PLASTICO

GRAFICA 3.3.3.2. LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-

90



Fuente Elaboración Personal

3.3.3.3 OBSERVACIONES

TABLA 3.3.3.3.OBSERVACIONES

Limite Liquido	13.3		Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
							AASHTO	A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	47.50	D60=	D30=	8.47	D10=	0.58	Unificada	NO SE CLASIFICA SE ALTERA EL SUELO

Fuente Elaboración Personal

3.3.4. PESO ESPECÍFICO (AASHTO T – 84)

3.3.4.1. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Este método de ensayo cubre la determinación de la medida la densidad de una cantidad de partículas de agregado fino, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino.

3.3.4.1.1. DATOS Y RESULTADOS

Tabla 3.3.4.1.1 Peso Específico Agregado Fino (AASHTO T – 84)

Fuente Elaboración Personal

DESCRIPCIÓN	Unidad	PROMEDIO	Especificación Técnica
Peso Espec. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$)	g./cm ³	2.613	2.583
P. E. A. Saturado Sup. Seco ($x/((x+t)-b)$)	g/cm ³	2.660	
Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-b$)	g/cm ³	2.743	
% de Absorción ($(x-a)/a$)*100	%	1.821	1.821

3.3.4.1.2. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (AASHTO T-85)

El peso específico del agregado es necesario para determinar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas. Por definición, el peso específico de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4°F).

Tabla 3.3.4.1.2 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCION	Unidad	PROMEDIO	Especificación Técnica
Peso Específico del Agregado Seco (f / (e-g))	g./cm ³	2.601	2.583
P.E.A. Saturado de Superficie Seca (e/(e-g))	g./cm ³	2.659	2.702
Peso Específico Aparente (f/ (f-g))	g./cm ³	2.6855	2.702
% de Absorción ((e-f)/f)*100	%	1.203	1.821

Fuente Elaboración Personal

3.3.5. DESGASTE DE LOS ÁNGELES (AASHTO T – 96)

Este método abarca y el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de desgaste de piedras y grava trituradas y agregado grueso natural por medio de la máquina de los Ángeles.

3.3.5.1. DATOS Y RESULTADOS

Tabla 3.3.5.1. Desgaste de Los Ángeles, Material de 3/4”

ENSAYO DE LOS DESGASTE DE LOS ANGELES						
Retenido	Retenido	Total	Retenido	Diferencia	DESGASTE	Especificaciones
1/2(gr)	1/2(gr)	(gr)	# 12 (gr)	(gr)	(%)	Máximo
2500	2500	5000	3.626	1.374	27.48	40

Fuente Elaboración Personal

Para el material de 3/8”:

Tabla 3.3.5.2 Desgaste de Los Ángeles, Material De 3/8”

ENSAYO DE LOS DESGASTE DE LOS ANGELES						
Retenido	Retenido	Total	Retenido	Diferencia	DESGASTE	Especificaciones
3/8(gr)	1/4(gr)	(gr)	# 12 (gr)	(gr)	(%)	Máximo
2500	2500	5000	3.885	1.115	25.48	40

Fuente Elaboración Personal

3.3.6. DURABILIDAD MÉTODO DE LOS SULFATOS (AASHTO T – 104)

Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolverse cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y en otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfatos de Sodio o Magnesio, seguidas por el secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables.

La fuerza de expansión interna, derivada de la rehidratación de la sal en la re-inmersión, simula la expansión del agua en el enfriamiento.

Los valores para el proyecto de pérdida permitido por este método son usualmente diferentes para agregado grueso y fino.

3.3.6.1. CÁLCULO Y RESULTADO

TABLA 3.3.6.1. DURABILIDAD AGREGADO – GRUESO

DURABILIDAD DEL AGREGADO – GRUESO			
TOTAL % PERDIDA DE PESO	1.65	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA MÁXIMA %	12.00

Fuente Elaboración Personal

3.3.6.2. DURABILIDAD AGREGADO – FINO

3.3.6.2 Durabilidad Método de los sulfatos (Agregado Fino)

DURABILIDAD DEL AGREGADO – FINO			
TOTAL %		ESPECIFICACIÓN	
PERDIDA	1.65	TÉCNICA	12.00
DE PESO		MÁXIMA %	

Fuente Elaboración Personal

3.3.6.3. PROPIEDAD DE ANÁLISIS DE ESTUDIO.

- La durabilidad cumple con las especificaciones de Norma AASHTO.

3.3.7. EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T – 176)

Este método intenta como un método rápido de correlación con el campo. El propósito de este ensayo es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcilla pura o finos plásticos y el polvo de los suelos granulares y agregado fino que pasa por el tamiz N° 4.

Tabla 3.3.7 Equivalente De Arena

ENSAYO	LECTURAS			MEDIA (%)	ESPECIFICACIÓN
	1	2	3		
Lectura del nivel superior	5.2	5.3	5.2	66.81	> 45
Lectura del nivel inferior	3.5	3.7	3.5		
% de arena	67.31	69.81	67.31		

FUENTE ELABORACION PERSONAL

3.3.8. CARAS FRACTURADAS

Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo

3.3.8.1. Caras Fracturadas Material 3/4"

3.3.8.1.1. DATOS Y RESULTADOS

TABLA 3.3.8.1.1 AGREGADO 3/4''

PESO	LECTURAS	PROMEDIO %	ESPECIFICACIÓN %
PESO TOTAL (g.) (a)	1000	78.8	>75

Fuente Elaboración Personal

3.3.8.2. Caras Fracturadas Material 3/8"

TABLA 3.3.8.2.1. AGREGADO 3/8''

PESO	LECTURAS	PROMEDIO %	ESPECIFICACIÓN %
PESO TOTAL (g.) (a)	1000	75.5	>75

Fuente Elaboración Personal

3.3.9. LAMINARIDAD

Son agregados que se determinan para ver el % de tamaño de láminas que presenta el agregado.

3.3.9.1. CÁLCULOS Y RESULTADOS

TABLA 3.3.9.1. Material 3/4

TABLA.3.3.9.1 Material 3/4

Material	PROMEDIO	ESPECIFICACION % MAX
Peso Total de la Muestra	2.20	15

Fuente Elaboración Personal

TABLA. 3.3.9.2 Material 3/8

Material	PROMEDIO	ESPECIFICACION % MAX
Peso Total de la Muestra	6.22	15

Fuente Elaboración Personal

Observaciones: Para el porcentaje de las piezas planas alargadas, se consideran las partículas cuya longitud es mayor que cinco veces su peso máximo.

3.3.10. CHATAS Y ALARGADAS.

Son los agregado pequeños de forma alargadas y chatas también se determina el peso para ver si cumple con las Especificaciones Tecnicas Requeridas.

3.3.10.1. CALCULOS Y RESULTADOS

TABLA 3.3.10.1 CHATAS Y ALARGADAS 3/4

Material	PROMEDIO	ESPECIFICACION % MAX
Peso Total de la Muestra	4.22	10

Fuente Elaboración Personal

TABLA. 3.3.10.2 CHATAS Y ALARGADAS 3/8

Material	PROMEDIO	ESPECIFICACION % MAX
----------	----------	-------------------------

Peso Total de la Muestra	2.20	10

Fuente Elaboración Personal

Observaciones: El agregado 3/4: 3/8 cumplen con la Norma AASHTO.

3.4. ENSAYO DE AGREGADOS PÉTREO NATURAL

3.4.1. DETERMINACIÓN DE PESO UNITARIO DEL RÍO GUADALQUIVIR AGREGADO PETREO NATURAL

3.4.1.1. PESO UNITARIO SUELTO

TABLA 3.4.1.1 RESULTADOS PESO UNITARIO SUELTO

ENSAYOS (grs.c/m)		Promedio	Especificación Técnica
Ensayo 1	1.619	1.648	-----
Ensayo 2	1.677		
PROMEDIO	1.648		

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 3.4.1.2. RESULTADOS PESO UNITARIO VARILLADO

ENSAYOS		Promedio	Especificación Técnica
Ensayo 1	1.619	1.648	-----
Ensayo 2	1.677		
PROMEDIO	1.648		

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

3.4.2. GRANULOMETRÍA (AASHTO T – 27)

TABLA 3.4.2. GRANULOMETRÍA

Peso Total	4522.0 gr	3722.0 gr	500.0 gr	Abertura
------------	-----------	-----------	----------	----------

Seco							
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzon		Tamiz
Nº	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.
1"	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	25.40
3/4"	199.0	95.6	0.0	100.0	0.0	100.0	19.10
1/2"	1908.0	57.8	119.0	96.8	0.0	100.0	12.70
3/8"	2596.0	42.6	216.0	94.2	0.0	100.0	9.50
Nº 4	4332.0	4.2	3443.0	7.5	12.5	97.5	4.75
Nº 8	4468.0	1.2	3707.0	0.4	102.5	79.5	2.36
Nº 16	4486.0	0.8	3711.0	0.3	205.0	59.0	1.18
Nº 40	4508.0	0.3	3713.0	0.2	350.5	29.9	0.43
Nº 80	4517.0	0.1	3715.0	0.2	399.0	20.2	0.18
Nº 200	4519.0	0.1	3718.0	0.1	442.5	11.5	0.075

Fuente Elaboración Personal

3.4.2.1.1. GRAVA TAMAÑO MÁXIMO 3/4

Tabla 3.4.2.1.1 GRAVA TAMAÑO MÁXIMO 3/4" (GUADALQUIVIR)

Tabla 3.4.2.1.1.1. RESUMEN ESTADÍSTICO

Numero de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100.0	95.6	57.8	42.6	4.2	1.5	1.2	0.5	0.2	0.1
Valor Mínimo	100.0	93.2	52.9	40.2	3.9	0.7	0.7	0.3	0.1	0.0
Valor Promedio	100.0	94.5	55.4	41.2	4.0	1.1	0.9	0.4	0.1	0.1
Desviación Estándar	0.00	1.21	2.45	1.22	0.16	0.38	0.28	0.12	0.05	0.03

FUENTE ELABORACIÓN PERSONAL

3.4.2.1.2. ARENA TRITURA (Guadalquivir)

Tabla 3.4.2.1.2 ARENA TRITURA (Guadalquivir)

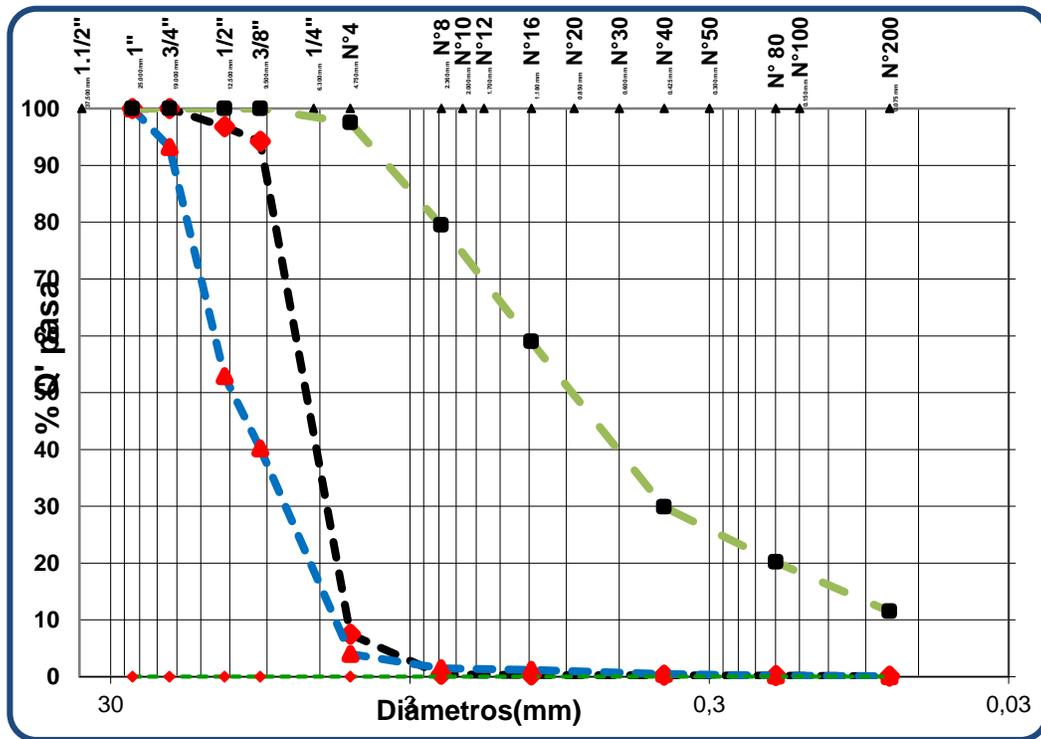
Numero de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Valor Máximo	100.0	100.0	100.0	100.0	93.3	79.9	56.5	30.5	13.9	8.2
Valor Mínimo	100.0	100.0	100.0	100.0	91.2	78.0	55.0	29.2	13.0	7.5
Valor Promedio	100.0	100.0	100.0	100.0	92.3	78.9	55.7	29.8	13.4	7.9
Desviación Estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.97	0.75	0.66	0.44	0.38

FUENTE ELABORACIÓN PERSONAL

3.4.3. CURVA GRANULOMÉTRICA

GRAFICA.3.4.3 CURVA GRANULOMÉTRICA

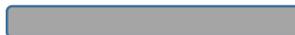


Fuente Elaboración Personal

GRAVA



GRAVILLA



ARENA

3.4.3.1. Observaciones:

Tabla3.4.3.1 Observaciones

Grava	Material Natural - Río Guadalquivir
Gravilla	Material Natural – Río Guadalquivir
Arena	Material Natural - Río Guadalquivir

Fuente Elaboración Personal

3.4.4. LÍMITES DE ATTERBERG (AASHTO T – 89)

3.4.4.1. LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 3.4.4.1 LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89

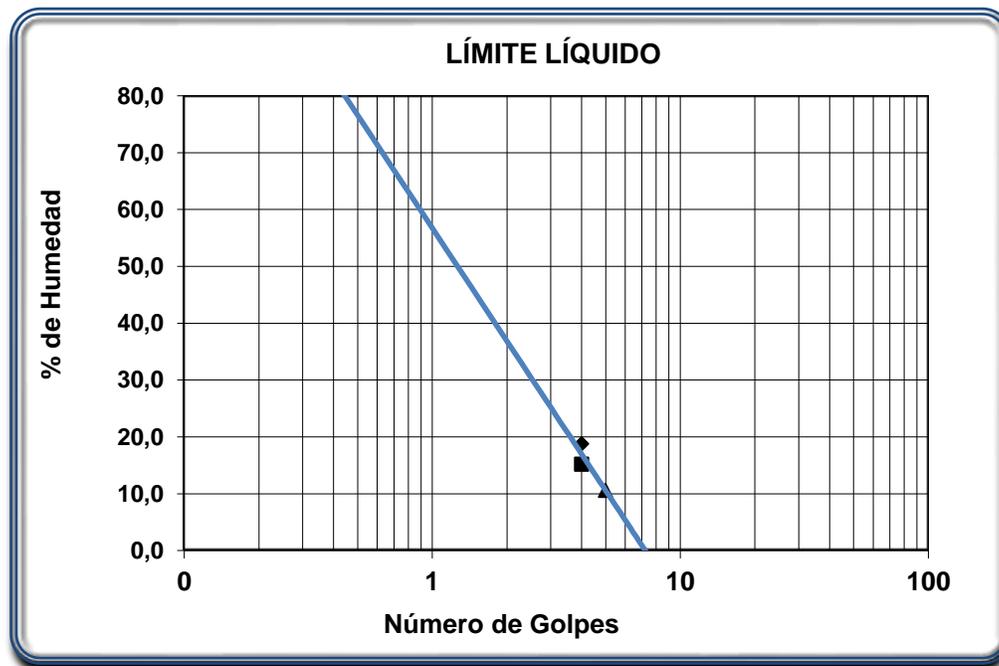
N de taras	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
5	39.47	37.18	2.29	22.09	15.09	15.18	4
6	41.35	39.5	1.85	22.00	17.50	10.57	5
7	38.85	36.2	2.65	22.08	14.12	18.77	4

Fuente Elaboración Personal

3.4.4.2. Límite Plástico AASHTO T-90

➤ NO PLASTICO

Gráfica3.4.4.1 Limite Líquido



Fuente Elaboración Personal

3.4.4.3. OBSERVACIONES

TABLA 3.4.4.3 OBSERVACIONES

	-35.6	Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145
--	-------	-----------------	------	-----------------------	-----	----------------------------

Limite Liquido							AASHTO	A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	47.50	D60=	D30=	8.47	D10=	0.58	Unificada	NO SE CLASIFICA

Fuente Elaboración Personal.

3.4.5. Peso Específico (AASHTO T-84)

3.4.5.1 Datos y Resultados.

TABLA 3.4.5.1 PESO ESPECÍFICO AGREGADO – FINO

DESCRIPCION	Unidad	PROMEDIO	Especificación Técnica
Peso Específico. del Agreg. Seco ($a/((x+t)-b)$)	g./cm ³	2.605	2.583
P. E. A. Saturado Sup. Seco($x/((x+t)-b)$)	g/cm ³	2.660	2.709
Peso Específico Aparente ($a/(a+t)-$ b))	g/cm ³	2.755	
% de Absorción ($(x-a)/a$)*100	%	2.082	2.145

Fuente Elaboración Personal

**TABLA 3.4.5.2 PESO ESPECÍFICO AGREGADO – GRUESO
(AASHTO T-85)**

DESCRIPCION	Unidad	PROMEDIO	Especificación Técnica
-------------	--------	----------	---------------------------

Peso Específico del Agregado Seco (f / (e-g))	g./cm ³	2.579	2.583
P.E.A. Saturado de Superficie Seca (e/(e-g))	g./cm ³	2.612	2.702
Peso Específico Aparente (f/ (f-g))	g./cm ³	2.668	2.640
% de Absorción ((e-f)/f)*100	%	1.288	1.313

Fuente Elaboración Personal

3.4.6. DESGASTE DE LOS ÁNGELES (AASHTO T – 96)

3.4.6.1. Desgaste de los Ángeles Grava

Tabla 3.4.6.1 Desgaste de los Ángeles Grava

ENSAYO DE LOS DESGASTE DE LOS ANGELES						
Retenido	Retenido	Total	Retenido	Diferencia	DESGASTE	Especificaciones
1/2(gr)	1/2(gr)	(gr)	# 12 (gr)	(gr)	(%)	Máximo
2500	2500	5000	3.901	1.099	21.98	40

Fuente Elaboración Personal

Tabla3.4.6.2 Desgaste de Los Ángeles, Gravilla

ENSAYO DE LOS DESGASTE DE LOS ÁNGELES						
Retenido	Retenido	Total	Retenido	Diferencia	DESGASTE	Especificaciones
3/8(gr)	1/4(gr)	(gr)	# 12 (gr)	(gr)	(%)	Máximo
2500	2500	5000	3.960	1.040	20.8	40

Fuente Elaboración Personal

3.4.7. DURABILIDAD MÉTODO DE LOS SULFATOS (AASHTO T – 104)

3.4.7.1. Método Sulfato de Sodio Agregado – Grueso

Tabla 3.4.7.1. Metodo Sulfato de Sodio Agregado – Grueso

DURABILIDAD DEL AGREGADO – GRUESO			
TOTAL % PERDIDA DE PESO	1.96	ESPECIFICACION TECNICA MAXIMA %	12.00

Fuente Elaboración Personal

3.4.7.2. MÉTODO SULFATO DE SODIO AGREGADO – FINO

DURABILIDAD DEL AGREGADO – FINO			
TOTAL % PERDIDA DE PESO	1.92	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA MÁXIMA %	12.00

Fuente Elaboración Personal

3.4.7.3. PROPIEDAD DE ANÁLISIS DE ESTUDIO.

➤ La durabilidad cumple con las especificaciones de Norma AASHTO.

3.4.8. EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T – 176)

Tabla 3.4.8 Equivalente de Arena (AASHTO T – 176)

ENSAYO	Lecturas		Promedio	ESPECIFICACIONES
ENSAYO N°	1	2	52.9	> 45
LECTURA NIVEL SUPERIOR	6.5	7.1		
LECTURA NIVEL INFERIOR	3.4	3.8		
% DE ARENA	52.31	53.52		

Fuente Elaboración Personal

3.4.9. CARAS FRACTURADAS

Al ser material de canto rodado Natural no se realiza el ensayo de caras fracturadas.

3.4.10. LAMINARIDAD.

Al ser material de canto rodado Natural no se realiza el ensayo de Laminaridad.

3.4.11. CHATAS Y ALARGADAS.

Al ser material de canto rodado Natural no se realiza el ensayo de Chatas y Alargadas

3.5. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Tabla N° 2.3. VALORES ACEPTABLES PARA ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Rango de Valores Aceptables en calidad
Granulometria	AASHTO T 27 ASTM C 136	Según Proyectos
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	40% máximo
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	12% máximo
Equivalente de Arena (finos)	AASHTO T 176 ASTM D 2419	0.45 mínimo - 1.0% máximo
Caras fracturadas, Cubicidad de Particulas	ASTM D 692	75% mínimo
Índice de durabilidad, Peso Unitario y Vacío	AASHTO T210 T 19 ASTM C 29M	35% mínimo (gruesos) 45% mínimo (finos)

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N°. 22 (MS-22)

3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.6.1. Tabla Analítica de Resultados.

Tabla 3.5.1. Analítica de Resultados.

N	ENSAYOS	Agregados Pétreo Triturados			Agregados Pétreo Naturales				
		MAX	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM		
1	Peso Unitario	1.471			1.648				AT
2	Granulometría Grava ¾	93.5	92.5	93.1	95.6	93.2	94.5	AN	
	Gravilla 3/8	98.4	90.5	97.5	-----	-----	-----	AT	
	Arena	99.2	97.5	98.4	93.3	91.2	92.3	AT	
3	Límites	C.H NO PLASTICO 15.90%			C.H NO PLASTICO 14.84%				AT
4	Peso Específico	Agregado – Fino 1.705 < 1.821% Max			Agregado – Fino 2.082 < 2.145				AT
		Agregado – Grueso 1.203 < 1.267 %Max			Agregado – Grueso 1.288 < 1.313				AT
5	Desgaste de los Ángeles Gravilla	Grava ¾ (Max 40) 27.48% < 40% Max			Grava ¾ (Max 40) 21.98% < 40%				AP
		Gravilla 3/8 25.48% < 40% Max			Gravilla 3/8 20.8% < 40%				AP

6	Durabilidad de Sulfato de Sodio	Agregado – Fino 1.39 < 12 Max	Agregado – Fino 1.92 % < 12 Max	AT
		Agregado – Grueso 1.65 < 12 Max	Agregado Grueso 1.91% < 12 Max	AT
7	Equivalente Arena	66.81 > 45 Max	52.9 % > 45 Max	AT
8	Caras Fracturadas	Grava 3/4 78.8% > 75% Max	-----	AT
		Gravilla 3/8 75.5% > 75% Max		AT
9	Laminaridad	4.21 < 15% Max	-----	AT
10	Chatas y Alargadas	3.21 < 10% Max	-----	AT

3.6.2. ANALISIS DE PROPIEDAD DE ESTUDIO (VARIABLE DEPENDIENTE)

3.6.2.1. DURABILIDAD DE SULFATO DE SODIO

Se puede observar que cumplen los 2 agregados sin embargo utilizamos el Óptimo que en este caso sería el agregado Triturado, siendo el q menos desgaste obtuvo en los ensayos.

3.7. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

3.7.1. VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL (AASHTO T – 72)

Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 6cm^3 de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135°C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.

3.7.1. DATOS Y RESULTADOS

Tabla 3.6.1.2. Viscosidad Saybolt Furol

ENSAYO	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
		Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt 135°C	142.0	85	-----

Fuente Elaboración Personal

- El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.7.2. PUNTO DE INFLAMACIÓN (AASHTO T – 48)

Este método cubre la determinación del punto de inflamación, por el Ensayo del Vaso Abierto de Cleveland, de productos de petróleo y otros líquidos, excepto los aceites de combustible y esos materiales que tienen un punto de inflamación de vaso abierto debajo de 79°C (175°F).

Tabla 3.6.2. Punto de Inflamación

ENSAYO	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
		Mínimo	Máximo
Punto de inflamación	279.0	> 232	-----

Fuente Elaboración Personal

- El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.7.3. Penetración (AASHTO T – 49)

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semi-sólido y sólidos. Los materiales que tienen penetraciones debajo de 350 pueden ser probados por el aparato normal y con el siguiente procedimiento. Para materiales que tienen penetraciones entre 350 y 500, se debe usar un aparato especial.

Se anotaron los siguientes resultados:

Tabla 3.6.3. Ensayo de Penetración

ENSAYO	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
		Mínimo	Máximo

Penetración a 25°C,	93.3	85	100
---------------------	------	----	-----

Fuente Elaboración Personal

- El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.7.4. Ductilidad (AASHTO T – 51)

Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm., este ensayo además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y 33 que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico crackeado" (viejo.)

Tabla 3.6.4. Ensayo De Ductilidad

ENSAYO	PROMEDIO	MINIMO
Ductilidad a 25° C AASHTO T-51	129	≥ 100

Fuente Elaboración Personal

3.7.5. Peso Específico (AASHTO T – 228)

Este ensayo se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.

Tabla 3.6.5 Ensayo de Peso Específico

ENSAYO	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES
Peso Especifico	1,008	-----

Fuente Elaboración Personal

3.8. Tabla Resumen de Ensayos Cemento Asfaltico (85100)

Tabla 3.8 Resumen de Ensayos Cemento Asfaltico (85100)

ENSAYO	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
		Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt 135°C	142.0	85	-----
Punto de inflamación	279.0	> 232	-----
Penetración a 25°C,	93.3	85	100
Ductilidad a 25° C AASHTO T-51	129	≥ 100	-----

Fuente Elaboración Personal

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para analizar la Optimización de Propiedades de mezclas asfálticas se realiza dosificaciones con diferentes tipos de Agregado (Natural y Triturado), en ellas se utilizó el siguiente procedimiento:

Al analizar diferentes agregado se comienza con el Agregado Pétreo (Triturado) ya que es el más utilizado en mezclas Asfálticas, de esa manera se procede a mencionar el procedimiento correspondiente:

Se realiza 2 diferentes diseños de mezclas asfálticas:

- Uno con el Agregado Pétreo Triturado.
- Uno con el Agregado Pétreo Natural.

Los Dos se realizan con el ensayo Marshall.

Con el ensayo se obtiene porcentajes de los cuales se encuentra un porcentaje patrón, de esa manera se vuelve hacer el ensayo encontrando el óptimo del agregado mencionado.

De la misma forma se realiza para el agregado Natural.

4.1. PROCEDIMIENTO MARSHALL.

Para realizar la mezcla asfáltica se utiliza una dosificación comenzando de un 4.5%:5%:5.5%; 6%; 6.5%; 7%. De Agregado Pétreo Triturado + Cemento Asfáltico.

El agregado tiene q haber pasado por el Tamiz 1’’; 3/4’’; 1/2’’; 3/8’’; N°4; N°8; N°16; FILLER.

El procedimiento esta adjuntado en el Capítulo II, Marco Normativo.

4.2. DOSIFICACION MARSHALL POR TANTEO AGREGADO TRÍTURADO.

TABLA 4.1 DOSIFICACIÓN POR TANTEO AGREGADO TRÍTURADO

TAMIZ	%PASA	%RET.Tamiz	%Ret. Tamiz	4.50%		5.00%		5.50%		6%		6.50%		7.00%	
				P.Parcial	P.Acumu										
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	98.7	1.3	1.3	15.5	15.5	15.4	15.4	15.3	15.3	15.2	15.2	15.1	15.1	15.1	15.1
1/2"	82.7	17.3	16.0	183.5	199.0	182.3	197.7	181.4	197	180.4	195.6	179.5	194.6	178.5	193.60
3/8"	79.7	20.3	3.0	34.0	233.0	33.8	231.5	33.7	230	33.5	229.1	33.3	227.9	33.1	226.70
N 4	53.1	46.9	26.6	304.6	537.6	303.0	534.5	301.4	532	299.8	528.9	298.2	526.1	296.6	523.30
N 8	41.9	58.1	11.2	128.3	665.9	127.6	662.1	128.9	661	126.3	655.2	125.6	651.7	124.9	648.20
N 16	31.6	68.2	10.1	115.6	781.5	115.0	777.1	114.3	775	113.7	768.9	113.1	764.8	112.5	760.70
N 40	16.1	83.9	15.8	180.9	962.4	179.9	957.0	179.0	954	178.0	946.9	177.1	941.9	176.1	936.80
N 80	10.6	89.4	5.5	60.6	1,023.0	62.3	1019.3	60.0	1,014	61.7	1,008.6	61.4	1,003.3	61.0	997.80
N 200	6.5	93.5	4.0	48.0	1,071.0	46.3	1065.6	45.8	1,060	45.6	1,054.2	45.3	1,048.6	45.2	1,043.00
Filler	0.0	100.0	6.5	75.0	1,146.0	74.6	1140.2	74.2	1,134	73.8	1,128.0	73.4	1,122.0	73.0	1,116.00
			Peso Total	1146.00		1140.20		1134.00		1,128.0		1122.00		1116.00	

Fuente: Elaboración Personal

- Se realizó la Dosificación Marshall del Agregado Pétreo Triturado (Garzón) por tanteo.

TABLA 4.2.DOSIFICACIÓN PESO + MUESTRA AGREGADO TRITURADO

Peso Muestra =	1146	1,140.0	1134	1,128.0	1122	1,116.0
Peso Asfalto =	54	60.0	66	72.0	78	84.0
Peso Total Material +C.ASF.=	1200	1,200.0	1200	1,200.0	1200	1,200.0

Fuente: Elaboración Personal

- Se hizo la combinación del Peso de la Muestra + Peso del Asfalto obteniendo un total de 1200 gramos.

Imagen.4.2. Peso de muestras para dosificación dé % por tanteo agregado triturado



Fuente: Elaboración Personal

4.2.1. OBSERVACIONES AGREGADO TRITURADO

Mezcla: 18% Grava 3/4" – Garzón 30% Gravilla 3/8" – Garzón 52% Arena Triturada – Garzón

TABLA 4.2. PESO TOTAL DE LA MEZCLA

MATERIAL	%	PESO
GRAVA GARZON	18%	3600
GRAVILLA GARZON	30%	6000
ARENA GARZON	52%	10400
Peso Total de la Mezcla	= 20000	

Fuente: Elaboración Personal

Una vez obtenido el peso total se realiza las briquetas explicando a continuación la cantidad de briquetas a realizar.



Se pesa 12 muestra con él % de Cemento Asfáltico de Arriba mencionado

- 3 Briquetas por cada porcentaje (total 15)
- 3 Briquetas con el porcentaje óptimo (Estabilidad)

Para la elaboración de las briquetas tener en cuenta los pasos que se debe realizar de acuerdo a la norma.

Imagen 4.2. Mezcla de Agregado+ C.A. a Fuego Lento



Fuente: Elaboración Personal

Imagen4.3. Baja de Temperatura a la mezcla a 135°C



Fuente: Elaboración Personal

Imagen 4.4. Compactación a 75 golpes por Cara



Fuente: Elaboración Personal

Imagen 4.5. Briqueta



Fuente: Elaboración Personal
Imagen 4.6. Briquetas realizadas



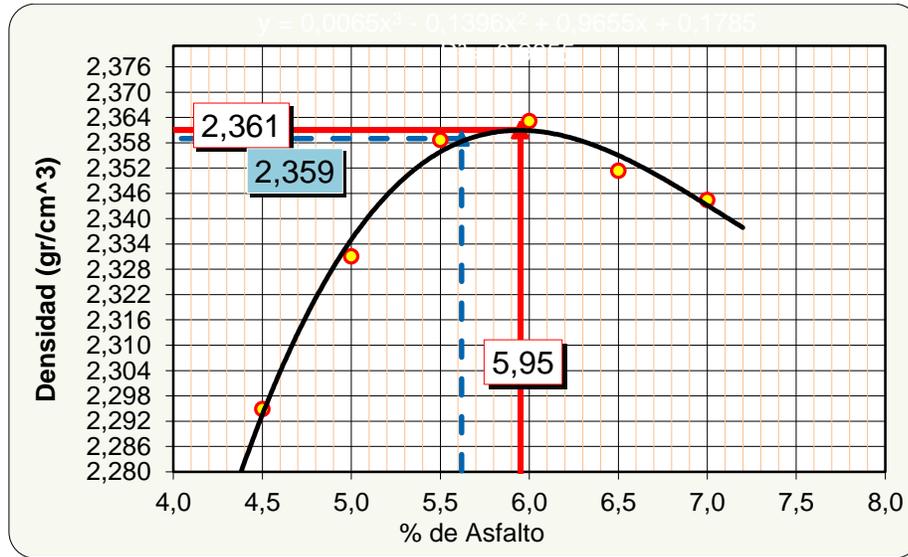
Fuente: Elaboración Personal
Tabla Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Metodo Marshall por Tanteo

4.3. RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONA

IDENTIFICACION		% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					FLUENCIA (PULG)																		
ALTIMETRO (CM)	BASE AGREGADO	BASE MEZCLA	(gr)	(gr)	(gr)	(cm ³)	REAL (Dr.)	PROMEDIO (Drm.)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTIMETRO) mm	MEDIA f.c.	CORREGIDA	LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA																
																						a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
																						1	6.59	4.71	4.50	1188.3	1194.1	675.0	519.1	2.289					980	2160.5	
2	6.57	4.71	4.50	1189.9	1190.2	670.1	520.1	2.288					998	2200.2		0.949			220	8.7																	
3	6.58	4.71	4.50	1188.6	1191.3	676.2	515.1	2.308	2.295	2.495	8.01	18.25	56.12	1025	2259.7	2206.8	0.947	0.947	2089.8	215	8.5	8.33															
4	6.44	5.26	5.00	1195.5	1200.0	685.5	514.5	2.324					1132	2495.6		0.978			280	11.0																	
5	6.42	5.26	5.00	1194.4	1197.1	688.2	508.9	2.347					1044	2301.6		0.983			245	9.6																	
6	6.34	5.26	5.00	1190.1	1192.6	680.2	512.4	2.323	2.331	2.476	5.84	17.40	66.46	1171	2581.6	2459.6	1.003	0.988	2430.1	275	10.8	10.50															
7	6.47	5.82	5.50	1183.1	1184.1	684.2	499.9	2.367					1271	2802.0		0.970			320	12.6																	
8	6.48	5.82	5.50	1191.1	1193.0	686.6	506.4	2.352					1320	2910.1		0.968			290	11.4																	
9	6.49	5.82	5.50	1173.7	1178.0	680.1	497.9	2.357	2.359	2.457	3.99	16.86	76.33	1322	2914.5	2875.5	0.965	0.968	2783.5	275	10.8	11.61															
10	6.48	6.38	6.00	1190.1	1191.4	685.5	505.9	2.352					1255	2766.8		0.968			350	13.8																	
11	6.22	6.38	6.00	1172.2	1171.9	679.5	492.4	2.381					1281	2824.1		1.035			380	15.0																	
12	6.27	6.38	6.00	1184.8	1185.1	682.3	502.8	2.356	2.363	2.438	3.08	17.14	82.05	1256	2769.0	2786.6	1.021	1.008	2808.9	355	14.0	14.24															
13	6.23	6.95	6.50	1184.4	1179.8	674.5	505.3	2.344					1105	2436.1		1.032			360	14.2																	
14	6.45	6.95	6.50	1184.5	1187.8	685.5	502.3	2.358					1115	2458.1		0.975			390	15.4																	
15	6.44	6.95	6.50	1190.3	1189.6	683.5	506.1	2.352	2.351	2.420	2.83	18.00	84.25	1205	2656.5	2516.9	0.978	0.995	2504.3	375	14.8	14.76															
16	6.36	7.53	7.00	1173.9	1174.5	674.4	500.1	2.347					1019	2246.5		0.998			395	15.6																	
17	6.40	7.53	7.00	1185.3	1186.8	680.2	506.6	2.340					1045	2303.8		0.988			410	16.1																	
18	6.38	7.53	7.00	1187.9	1188.5	682.2	506.3	2.346	2.344	2.402	2.39	18.67	87.18	985	2171.5	2240.6	0.993	0.993	2224.9	422	16.6	16.10															
OBSERVACIONES		ESPECIFICACIONES		3-5 ≥ 15 5-82										≥ 1500 Lb.					8-14																		

4.3.1. GRÁFICOS DE ENSAYOS MARSHALL - CEMENTO ASFÁLTICO

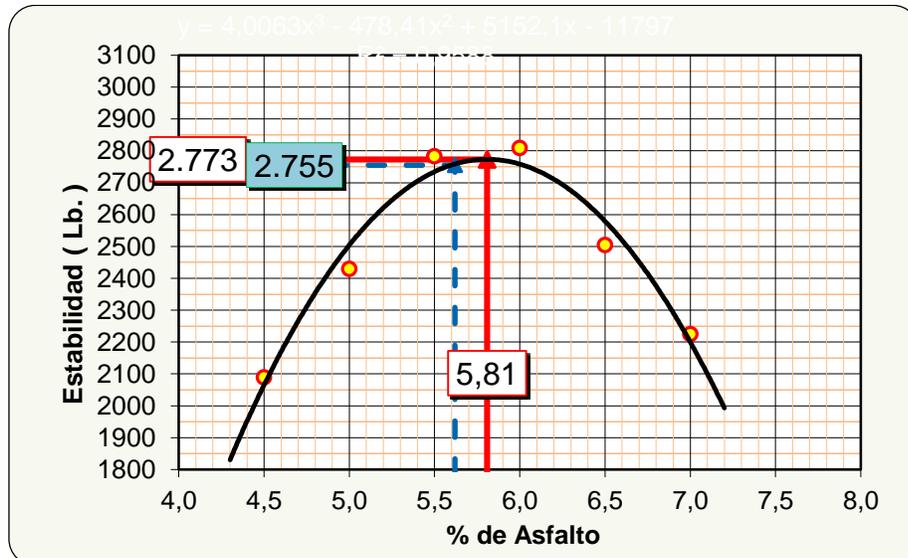
Figura 4.3.1 Curva de Densidad vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura la densidad es directamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será la Densidad.

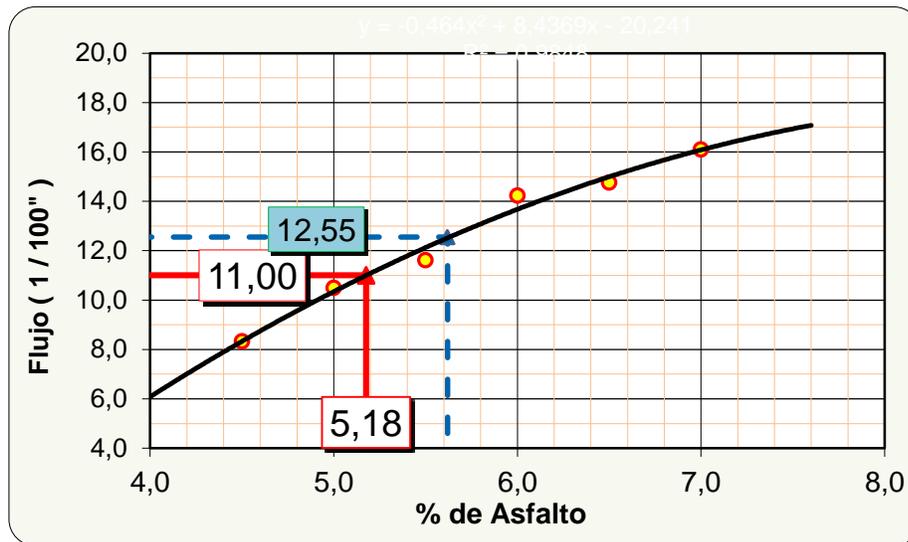
Figura 4.3.2 Curva de Estabilidad vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura la estabilidad crece a medida que el % de Asfalto aumenta, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será la Estabilidad hasta llegar al valor Óptimo % de Asfalto donde vuelve a decrecer la Estabilidad.

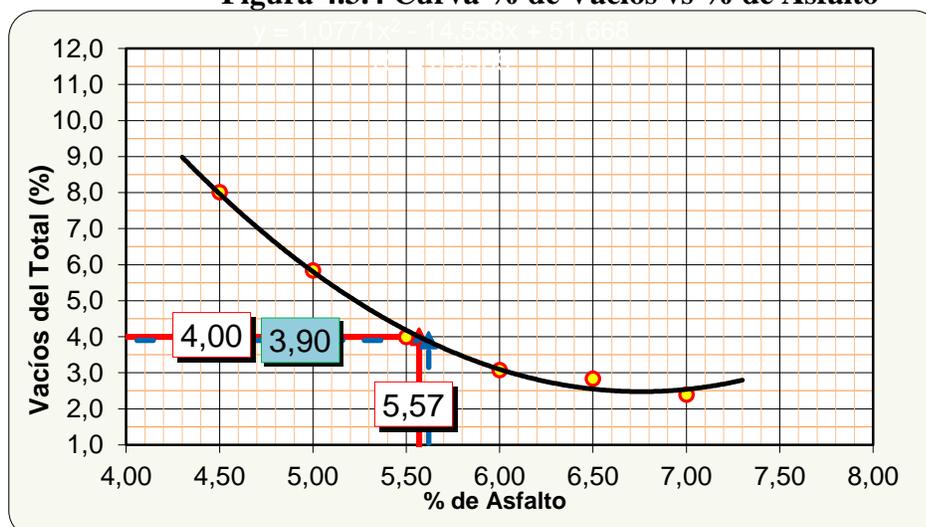
Figura 4.3.3. Curva de Flujo vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura el Flujo (fluencia) es proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será el Flujo.

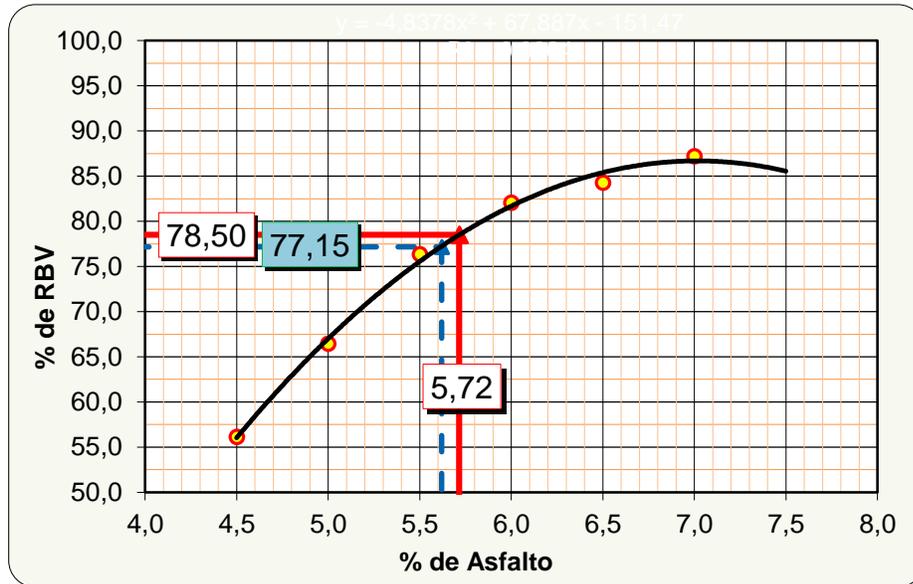
Figura 4.3.4 Curva % de Vacíos vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura se observa que el % de Vacíos es inversamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, existiría menos Vacíos en la carpeta Asfáltica.

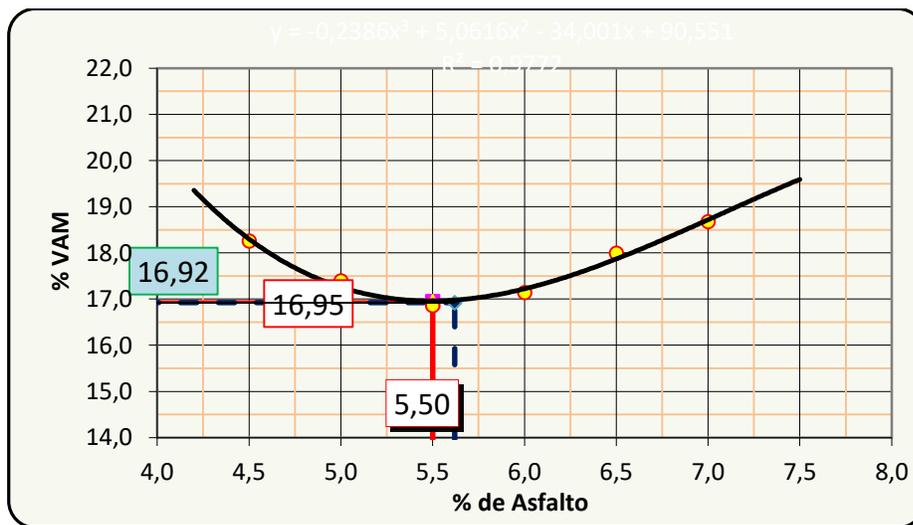
Figura 4.3.5. Curva % de RBV vs % de Asfalto



Fuente: Elaboración Personal

De la figura el % RBV es directamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será el % de RBV.

Figura 4.3.6 Curva % de Agregado Mineral vs % de Asfalto



Fuente: Elaboración Personal

De la figura los Vacíos del Agregado Mineral generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con los incrementos de % de Asfalto. En este caso el Porcentaje Optimo de Asfalto expresa un valor intermedio de Vacíos de Agregado Mineral.

4.3.2. Resumen de Valores agregado triturado

Tabla 4.3.2. Resumen de Valores agregado triturado

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.95	2.361	-----	-----
% VACÍOS	5.57	4.0	3	5
R.B.V.	5.72	78.5	75	82
V.A.M	5.50	22.3	>15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.81	2773.2	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5.18	11.0	8	14
PROMEDIO (%)	5.62	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración Personal

4.3.3. Valores Obtenidos Diseño Marshall agregado triturado

Tabla 4.3.3. Valores Obtenidos del Marshall agregado triturado

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.62	2.359	-----	-----
% VACIOS	5.62	3.90	3	5

R.B.V.	5.62	77.15	75	82
V.A.M	5.62	16.92	>15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.62	2755	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5.62	12.55	8	14
J% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.62	

Fuente: Elaboración Personal

4.3.4. Observaciones agregado triturado

Tabla 4.3.4. Observaciones

OBSERVACIONES		
MEZCLA BITUMINOSA TOTAL	GRAVA – GARZON 3/4"	17.0
	GRAVILLA – GARZON 3/8"	28.3
	ARENA – GARZON	49.1
	ARENA (filler)	0.0
	% ASF. OTP.	5.6
	TOTAL	100%

Fuente: Elaboración Personal

4.3.5. Porcentaje del Óptimo de la mezcla

Tabla 4.3.5. Porcentaje del Óptimo de la mezcla

	Min.	Max.
--	------	------

Asfalto \pm 3 % del Óptimo de la Mezcla	5.4	5.8
---	-----	-----

Fuente: Elaboración Personal

- Se encuentra el % Óptimo para realizar el remanente de la Dosificación

4.4. Ensayo Remanente.

Se realiza 6 briquetas con el % Óptimo encontrado, cuales 3 briquetas es de forma normal ya explicado y 3 briquetas a 24 horas

TABLA ENSAYO ESTABILIDAD REMANENTE AGREGADO TRITURADO

	SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS				
	DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL				
	PROYECTO : Analisis de Dosificacion de Mezclas Aasfálticas				
	Agregado	PROYECTO DE GRADO 2	Destino (Km.)	Diseño	N° Ensayo
Muestra N°	DISEÑO - MRSH - 01	Estructura	Carpeta Asfáltica	Fecha	20-Feb-17
Origen (Km.)	MATERIAL TRITURADO CHANCADORA GARZON	Pozo (Km.)		Realizado	Luis Miguel Castillo Carrasco

Pesos Especificos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		Cemento Asfáltico AASHTO M 20																	
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.659	48.5		85-100																	
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.702	51.5		Peso Especifico Total AASHTO T-228		1.008															
Peso Especifico Total	2.681	100				No.de Golpes/Capa 75															
Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)				Peso Esp. Max. de Mezclas Compact.(AASHTO T-209)																	
N° Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta		Vol. Probeta	Densidad Probeta		% de Vacios				Estabilidad Marshall			Flujo					
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca		Sumergida en Agua	Densidad Real	Densidad Promedi	Densidad Máxima	Teórica	% de Vacios	Mezcla Total	V.A.M. (Vacios Agregados Mineral)	R.B.V. (Relación Betumen Vacios)	LEC. DIAL	Carga	Factor corrección	Carga Real Correg	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs./cm ³	Grs./cm ³	Grs./cm ³	%	%	%		Libras			Libras	Libras		
1	6.30	5.62	6.0	1185.8	1186.0	685.0	501.0	2.367						1275	2810.9	1.01	2847.4			0.13	
2	6.21	5.62	6.0	1181.9	1182.6	682.5	500.1	2.363						1232	2716.1	1.04	2816.6			0.13	
3	6.26	5.62	6.0	1190.0	1191.5	688.0	503.5	2.363	2.365	2.45	3.58	16.76	78.66	1207	2661.0	1.02	2724.8	2796.3	0.13	12.99	
Ensayo Realizado a 24 Hrs. ESTABILIDAD REMANENTE																					
4	6.35	5.62	6.0	1188.8	1189.5	688.9	500.6	2.375						1097	2418.4	1.00	2418.4			0.13	
5	6.29	5.62	6.0	1182.8	1184.0	680.2	503.8	2.348						1257	2771.2	1.02	2815.5			0.13	
6	6.37	5.62	6.0	1188.9	1191.5	688.5	503.0	2.364	2.362	2.45	3.68	16.85	78.17	1136	2504.4	1.00	2491.9	2575.3	0.12	12.66	
OBSERVACIÓN:														Resistencia Remanente (%)				92.10 > 85.00			
Especificación		Mínimo		3		15		75				1800		8							
		Máximo		5		82						14									

Fuente: Elaboración Personal

4.4.1. Observaciones agregado triturado

Se realizó 3 ensayos para la estabilidad remanente obteniendo resultados que cumple con la Norma (Resistencia Remanente % = 92.10 > 85.00), Fluencia 12.82 cumple con el rango 8 – 14.

4.5. DOSIFICACIÓN MARSHALL AGREGADO NATURAL

**4.5.1. POR TANTEO AGREGADO NATURAL DOSIFICACIÓN DISEÑO
MARSHALL RÍO GUADALQUIVIR**

TABLA 4.5.1. DOSIFICACIÓN POR TANTEO AGREGADO NATURAL

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	Ret. Tam	4.50%		5.00%		5.50%		6%		6.50%		7.00%	
				P. Parcial	P. Acumu										
1 1/2"	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	97.5	2.5	2.5	20.1	20.1	20.0	20.0	19.8	19.8	19.7	19.7	19.6	19.6	19.5	19.5
1/2"	79.9	20.1	17.6	173.0	193.1	174.0	194.0	172.0	191.8	172.0	191.7	171.0	190.6	170.0	189.5
3/8"	73.6	26.4	6.4	141.2	334.3	140.5	334.5	139.8	331.6	139.0	330.7	138.3	328.9	137.5	327.0
Nº4	52.6	47.4	21.0	212.5	546.8	213.3	547.8	214.0	545.6	211.0	541.7	211.0	539.9	211.1	538.1
Nº8	43.9	56.1	8.6	139.7	686.5	139.0	686.8	138.2	683.8	137.5	679.2	136.8	676.7	136.0	674.1
Nº16	31.0	69.0	12.9	128.5	815.0	127.8	814.6	127.0	810.8	126.5	805.7	125.8	802.5	125.1	799.2
Nº40	16.5	83.5	14.5	121.3	936.3	120.7	935.3	120.1	930.9	119.4	925.1	118.8	921.3	118.1	917.3
Nº80	7.4	92.6	9.1	123.0	1059.3	122.4	1057.7	121.7	1052.6	121.0	1046.1	120.4	1041.7	119.8	1037.1
Nº200	4.4	95.6	3.0	32.6	1091.9	32.4	1090.1	32.2	1084.8	32.1	1078.2	31.9	1073.6	31.7	1068.8
Filler	0.0	100.0	4.4	45.8	1137.7	45.5	1135.6	45.3	1130.1	45.0	1123.2	44.8	1118.4	44.6	1113.4
		Peso Total=			1137.7		1135.6		1130.1		1123.2		1118.4		1113.4

Fuente: Elaboración Personal

- Se realizó la Dosificación Marshall del Agregado Pétreo Natural (Rio Guadalquivir) por tanteo.

TABLA 4.5.2 DOSIFICACIÓN PESO + MUESTRA

Peso Muestra =	1137.7	1135.6	1130.1	1123.2	1118.4	1113.4
-----------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Peso Asfalto =	62.3	64.4	69.9	76.8	81.6	86.6
Peso Total Material +C.ASF. =	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Fuente Elaboración Personal

- Se hizo la combinación del Peso de la Muestra + Peso del Asfalto obteniendo un total de 1200 gramos.

4.5.2. OBSERVACIONES:

Mezcla: 45% Grava 3/4" Natural y 55% Arena Natural - Rio Guadalquivir

TABLA 4.5.3. PESO TOTAL DE LA MEZCLA

MATERIAL	%	PESO
GRAVA - GUADALQUIVIR	45%	6750
ARENA - GUADALQUIVIR	55%	8250
Peso Total de la Mezcla	15000	

Fuente Elaboración Personal

P. Total:	15000
-----------	--------------

Fuente Elaboración Personal

Una vez obtenido los Porcentajes por tanteo, se realizar el diseño Marshall siguiendo el mismo procedimiento ya mencionado en el Capítulo II, Marco Normativo.

Tabla Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Método Marshall por Tanteo



LABORATORIO DE SUELOS, ASFALTOS Y HORMIGONES

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO 2

Fecha: 22 de febrero de 2017

DISEÑO - MRSH - 02

Pesos Especificos (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION	Grava - Rio Guadalquivir	Arena - Rio Guadalquivir
Mat. Retenido Tamiz Nº 4	2.640	gr/cm ³	47.4	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100		3/4"	Nº4
Mat. Pasa Tamiz Nº 4	2.709	gr/cm ³	52.6	P. Especifico Total AASHTO T-2	1.008	% DE AGREGADOS :	45%	55%
P. Esp. Agregado Total (Gag)	2.676	gr/cm ³	100			ORIGEN AGREGADOS :	Rio Guadalquivir - Mira flores Cemento Asfáltico 85100 Origen Brazil	
Nº GOLPES: 75			135 °C Compactación					

IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA	
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dr.)	PROMEDIO (Drm.)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALT	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)					CORREGIDA
																	mm	MEDIA f.c.				
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p							

1	6.42	4.71	4.50	1185.5	1189.8	678.5	511.3	2.319						922	2032.6		0.983			285	11.2	
2	6.45	4.71	4.50	1190.0	1192.2	675.2	517.0	2.302						876	1931.2		0.975			310	12.2	
3	6.48	4.71	4.50	1186.2	1190.0	675.5	514.5	2.306	2.309	2.490	7.30	17.61	58.54	850	1873.9	1945.9	0.968	0.975	1897.3	300	11.8	11.75

4	6.22	5.26	5.00	1176.6	1178.5	676.0	502.5	2.341						945	2083.3		1.035			315	12.4	
5	6.16	5.26	5.00	1158.5	1159.8	664.0	495.8	2.337						978	2156.1		1.053			280	11.0	
6	6.70	5.26	5.00	1193.6	1195.0	682.0	513.0	2.327	2.335	2.471	5.52	17.10	67.72	902	1988.5	2076.0	0.923	1.004	2084.3	340	13.4	12.27

7	6.26	5.82	5.50	1173.5	1174.6	672.2	502.4	2.336						877	1933.4		1.024			335	13.2	
8	6.23	5.82	5.50	1173.1	1178.5	673.3	505.2	2.322						855	1884.9		1.032			345	13.6	
9	6.35	5.82	5.50	1190.2	1192.7	684.0	508.7	2.340	2.333	2.453	4.90	17.63	72.21	802	1768.1	1862.2	1.000	1.019	1897.5	385	15.2	13.98

10	6.37	6.38	6.00	1195.0	1194.3	681.5	512.8	2.330						832	1834.2		0.995			370	14.6	
11	6.24	6.38	6.00	1180.3	1181.4	673.5	507.9	2.324						786	1732.8		1.029			420	16.5	
12	6.35	6.38	6.00	1196.2	1198.0	682.0	516.0	2.318	2.324	2.434	4.52	18.35	75.37	835	1840.8	1802.6	1.000	1.008	1817.0	360	14.2	15.09

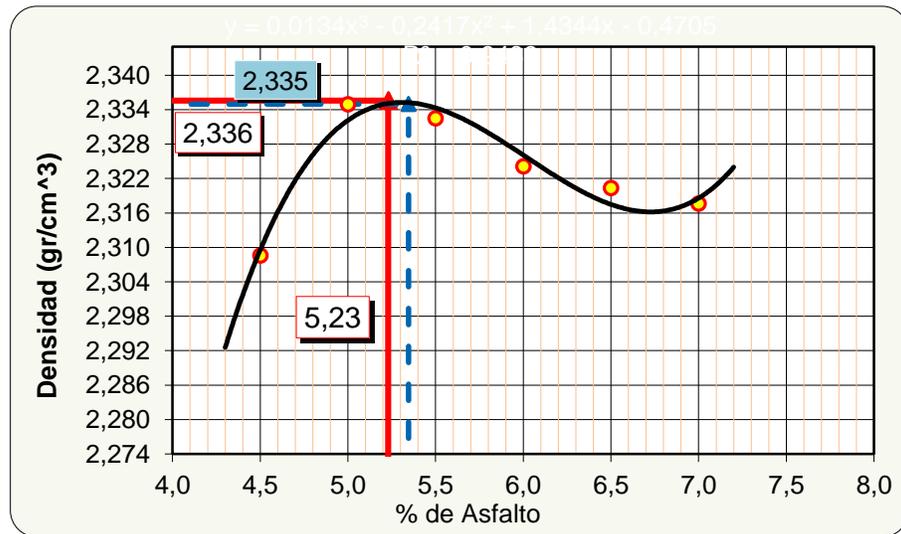
13	6.14	6.95	6.50	1169.1	1170.0	668.6	501.4	2.332						680	1499.1		1.059			365	14.4	
14	6.18	6.95	6.50	1164.5	1164.6	661.2	503.4	2.313						722	1591.7		1.046			435	17.1	
15	6.35	6.95	6.50	1190.0	1192.0	678.2	513.8	2.316	2.320	2.416	3.96	18.92	79.07	700	1543.2	1544.7	1.000	1.035	1598.8	420	16.5	16.01

16	6.44	7.53	7.00	1190.5	1191.5	678.0	513.5	2.318						622	1371.3		0.978			440	17.3	
17	6.56	7.53	7.00	1185.3	1186.8	672.1	514.7	2.303						692	1525.6		0.951			390	15.4	
18	6.38	7.53	7.00	1188.2	1189.6	680.0	509.6	2.332	2.318	2.398	3.35	19.45	82.75	675	1488.1	1461.6	0.993	0.974	1423.6	400	15.7	16.14

OBSERVACIONES **ESPECIFICACIONES** 3-5 ≥15 75-82 ≥1500 lb. 8-14

4.6. RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL
4.6.1. GRÁFICOS DE ENSAYOS MARSHALL - CEMENTO
ASFÁLTICO

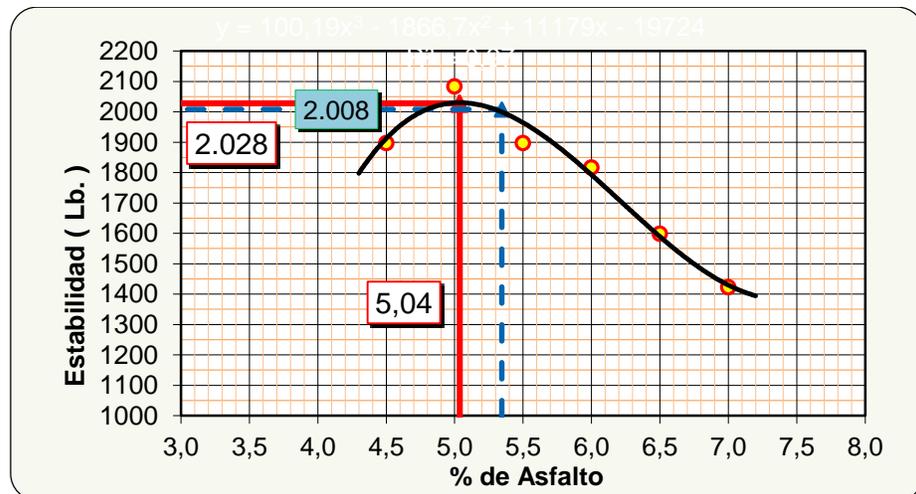
Figura 4.6.1 Curva de Densidad vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura la densidad es directamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será la Densidad.

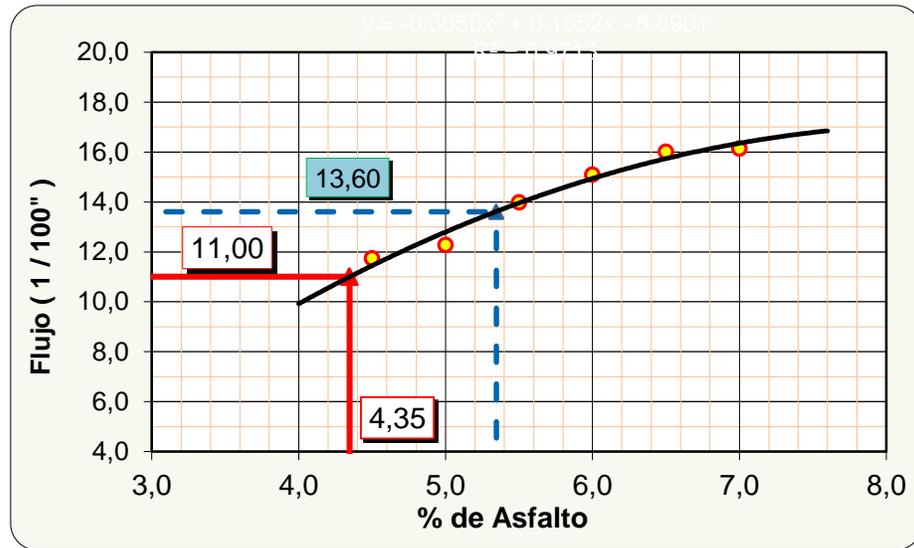
Figura 4.6.2. Curva de Estabilidad vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura la estabilidad crece a medida que el % de Asfalto aumenta, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será la Estabilidad hasta llegar al valor Óptimo % de Asfalto donde vuelve a decrecer la Estabilidad.

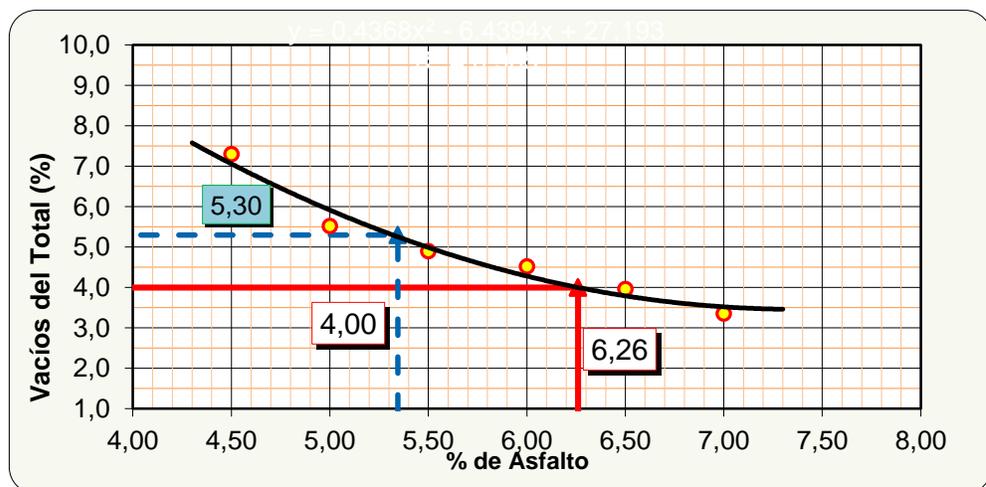
Figura 4.6.3. Curva de Flujo vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura el Flujo (fluencia) es proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será el Flujo.

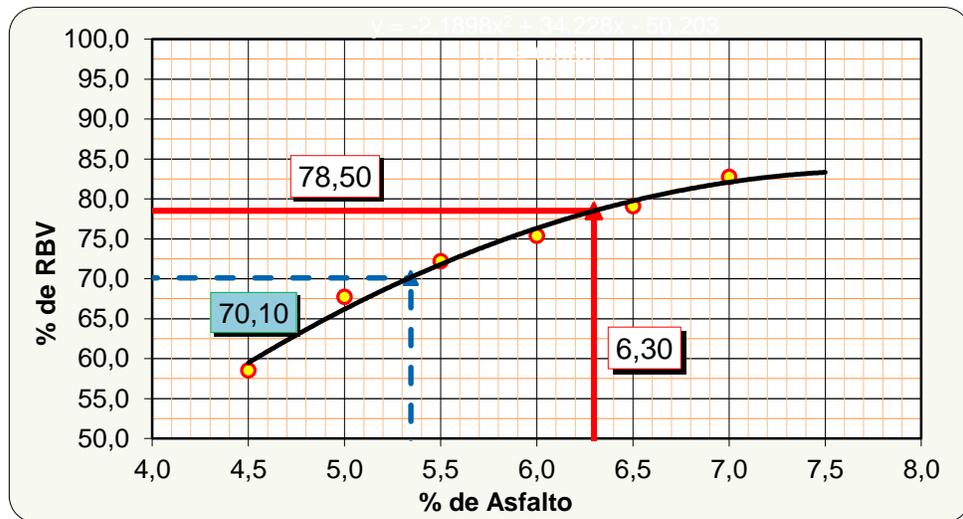
Figura 4.6.4. Curva % de Vacíos vs % de Asfalto



Fuente Elaboración Personal

De la figura se observa que el % de Vacíos es inversamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, existiría menos Vacíos en la carpeta Asfáltica.

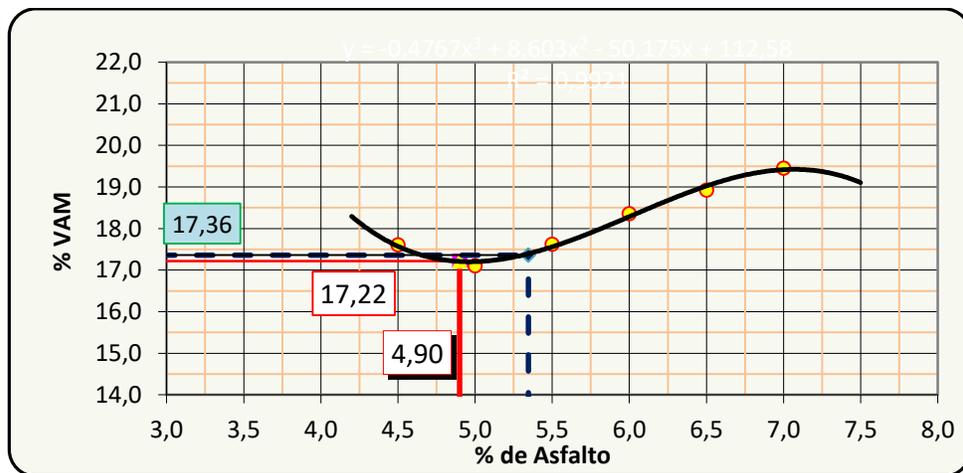
Figura 4.6.5. Curva % de RBV vs % de Asfalto



Fuente: Elaboración Personal

De la figura el % RBV es directamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será el % de RBV.

Figura 4.6.6. Curva % de Agregado Mineral vs % de Asfalto



Fuente: Elaboración Personal

De la figura los Vacíos del Agregado Mineral generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con los incrementos de % de Asfalto. En este caso el Porcentaje Óptimo de Asfalto expresa un valor intermedio de Vacíos de Agregado Mineral.

4.7. RESUMEN DE VALORES AGREGADO NATURAL

Tabla 4.7 Resumen de valores Agregado Natural

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.23	2.336	-----	-----
% VACIOS	6.26	4.0	3	5
R.B.V.	6.30	78.5	75	82
V.A.M	4.90	17.2	15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.04	2027.7	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	4.35	11.0	8	14
PROMEDIO (%)	5.34	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Gráficas		

Fuente Elaboración Personal

4.7.1 VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL AGREGADO NATURAL

Tabla. 4.7.1. Valores Obtenidos Diseño Marshall Agregado Natural

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.34	2.335	-----	-----
% VACIOS	5.34	5.30	3	5

R.B.V.	5.34	70.10	75	82
V.A.M	5.34	17.36	>15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.34	2008	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5.34	13.60	8	14
% ;ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.3	

Fuente Elaboración Personal

4.7.2. Observaciones Agregado Natural

Tabla.4.7.2. Observaciones Agregado Natural

OBSERVACIONES AGREGADO NATURAL		
MEZCLA BITUMINOSA TOTAL	Grava - Río Guadalquivir 3/4"	42.6
	Arena - Río Guadalquivir N°4	52.1
	% ASF. OTP.	5.3
	TOTAL	100.0%

Fuente Elaboración Personal

4.7.3. Porcentaje de Asfalto Óptimo.

Tabla 4.7.3. Porcentaje de Asfalto Óptimo

	Min.	Max.
--	-------------	-------------

Asfalto \pm 3 % del Óptimo de la Mezcla :	5.2	5.5
---	-----	-----

Fuente Elaboración Personal

4.8. ENSAYO REMANENTE AGREGADO NATURAL.

Adjuntada tabla en la siguiente hoja.

TABLA 4.8. ENSAYO REMANENTE AGREGADO NATURAL

	SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS			
	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE METODO MARSHALL			
		DISTRITO 3 - TARAJA		
PROYECTO :		PROYECTO DE GRADO 2		
Agregado	NATURAL	Destino (Km.)	Diseño	Nº Ensayo
Muestra Nº	DISEÑO - MRSH - 02	Estructura	Carpeta Asfáltica	Fecha
Origen (Km.)	Rio Guadalupe - Miraflores	Pozo (Km.)		Realizado
				DISEÑO - MRSH - 02
				22-Feb-17
				Luis Miguel Castillo Carrasco

Pesos Específicos (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregados		Cemento Asfáltico AASHTO M 20		No. de Golpes/Ca pa														
Mat.Retenido Tamiz N°4	2.640	47.4		85-100			75													
Mat.Pasa Tamiz N°4	2.709	52.6																		
Peso Específico Total	2.676	100		Peso Específico Total AASHTO T-228	1.008															
Peso Específico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)				Peso Esp. Max. de Mezclas Compact (AASHTO T-209)																
Nº Probeta	Altura de Probeta		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta		% de Vacíos				Estabilidad Marshall			Flujo				
	Base Mezcla	Base Agregado	Seco	Sub. Sup. Seco	Sumergida en Agua		Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máxima	Técnicas	Total	V.V.M. (Vacíos Agregados Muestra)	P.B.V. (Relación Bitumen/Vacuos)	LEC. DIAL	Carga	Factor corrección	Carga Real Correjada	Carga Promedio	En 1000 pulgadas promedio	
	%	%	gs.	gs.	gs.	CC	Gs./cm ³	Gs./cm ³	Gs./cm ³	%	%	%	Libras	Libras	Libras	Libras	Libras			
1	6.25	5.37	5.7	1177.0	1178.2	673.0	505.2	2.330					918	2021.8	1.03	2078.5		0.14		
2	6.42	5.37	5.7	1190.9	1193.4	679.2	514.2	2.316					935	2061.3	0.98	2025.2		0.12		
3	6.43	5.37	5.7	1190.9	1193.2	682.2	511.0	2.331	2.325	2.46	5.38	17.76	69.73	865	1907.1	0.98	1868.8	1990.8	0.13	12.66
Ensayo Realizado a 24 Hrs. ESTABILIDAD RESIDUAL																				
4	6.35	5.37	5.7	1191.7	1194.7	680.4	514.3	2.317					809	1783.5	1.00	1783.5		0.14		
5	6.30	5.37	5.7	1189.0	1191.7	679.5	512.2	2.321					745	1642.4	1.01	1663.8		0.14		
6	6.44	5.37	5.7	1193.2	1194.9	683.2	511.7	2.332	2.323	2.46	5.46	17.83	69.39	712	1598.7	0.98	1534.4	1660.6	0.13	13.69
OBSERVACIÓN:													Resistencia Remanente (%)			83.41	> 85.00			
Especificación	Mínimo		3		15		75						1800		8					
	Máximo		5		82										14					

4.8.1. Observaciones.

Se realizó 3 ensayos para la estabilidad remanente obteniendo resultados que están por debajo de la Norma (Resistencia Remanente % = 83.4 > 85.00), fluencia 13.17 entra en el rango de 8 – 14.

4.12.2. ENSAYO CANTABRO (VARIABLE DEPENDIENTE)

Datos y Cálculos

Imagen.4.9. Ensayo Cántabro



Fuente. Elaboración Personal

Imagen.4.9.1. Ensayo Cántabro



Fuente. Elaboración Personal

Tabla 4.9 Datos y Resultado Cántabro

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL						
	N° DE BRIQUETA	PESOS		TEMP. DE ENSAYO °C	PORCENTAJE DE PERDIDA (%)	ESPECIFICACIONES
		INICIAL (g)	DESPUES DE ENSAYO (g)			
N	1	1200	1132.4	25°C	5.63	MENOR A 25%
N	2	1200	1155.8	25°C	3.68	MENOR A 25%
T	3	1200	1160	25°C	3.33	MENOR A 25%
T	4	1200	1151	25°C	4.08	MENOR A 25%
N	5	1200	850.24	25°C	29.15	MENOR A 25%
N	6	1200	862.3	25°C	28.14	MENOR A 25%

Fuente Elaboración Personal

Formula Ensayo cántabro

$$P_c = \frac{P_1 - P_2}{P} \cdot 100$$

Tabla 4.9.Resultados Cántabro Garzón

Briqueta 1	5.63 cumple
Briqueta 2	3.68 cumple
Briqueta 3	3.33 cumple
Briqueta 4	4.08 cumple
Briqueta 5	29.15 No cumple
Briqueta 6	28.14 No cumple

Fuente Elaboración Personal

Tabla 4.9 Datos Cántabro Agregados Pétreos

Numero Briqueta	P1 inicial	P2 Final	Temperatura	Especificacion
1 Triturado	1200	1125.5	30 c	< 25 % Absorción inferior 1.5%
2 Natural	1200	1158	30 c	

Fuente Elaboración Personal

Tabla 4.10 Datos Cántabro Agregados Pétreos Remanente

Briqueta 1 Triturado	6.98 cumple
Briqueta 1 Natural	3.90 Cumple

Fuente Elaboración Personal

4.12.3. Propiedad de Análisis Resistencia Cántabro (VARIABLE DEPENDIENTE)

Al analizar las briquetas de Agregado Triturado y Natural se observó que la resistencia Cumple en las 2 dosificaciones, teniendo más relevancia la dosificación con **Agregado Triturado** obteniendo un porcentaje de 6.98% de Resistencia cumpliendo con la Normativa de la Norma Española (NLT-352/86)2, siendo la más recomendable para un diseño de mezclas asfálticas en caliente.

4.9. ADHERENCIA

Tabla Adherencia Agregado Triturados y Naturales

Adherencia de los Agregados Triturados	
Peso	500g

Mantiene el cemento asfáltico	500g
-------------------------------	------

Adherencia de los Agregados Naturales	
Peso	500g
Se desprende con más facilidad el cemento asfáltico	500g

- **La mejor adherencia es de los Agregados Pétreos Triturado porque se desprende con más facilidad el cemento asfáltico.**

4.10. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO BÁSICO

4.11.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMO.

4.11.2 DOSIFICACIÓN CON EL AGREGADO TRITURADO

TABLA. 4.11.1. VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL

PROPIEDADES	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.62	2.359	-----	-----
% VACIOS	5.62	3.90	3	5
R.B.V.	5.62	77.15	75	82
V.A.M	5.62	16.92	>15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.62	2755	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5.62	12.55	8	14
% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.62	

FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

TABLA. 4.11.2 CUMPLE / NO CUMPLE

PROPIEDAD	CUMPLE / NO CUMPLE NORMA
DENSIDAD	CUMPLE
% VACIOS	CUMPLE
R.B.V.	CUMPLE
V.A.M	CUMPLE
ESTABILIDAD (Lb)	CUMPLE
FLUENCIA 1/100"	CUMPLE

FUENTE. ELABORACION PERSONAL

- LAS PROPIEDADES DEL DISEÑO MARSHALL CON AGREGADO TRITURADO CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES DE NORMA

4.11.3 DOSIFICACIÓN CON EL AGREGADO NATURAL

TABLA.4.11.3. VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL

CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.34	2.335	-----	-----
% VACIOS	5.34	5.30	3	5
R.B.V.	5.34	70.10	75	82
V.A.M	5.34	17.36	>15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.34	2008	> 1800 Lb. (75 Golpes)	

FLUENCIA 1/100"	5.34	13.60	8	14
% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.3	

FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

TABLA. 4.11.4. CUMPLE / NO CUMPLE

PROPIEDAD	CUMPLE / NO CUMPLE NORMA
DENSIDAD	CUMPLE
% VACIOS	NO CUMPLE
R.B.V.	NO CUMPLE
V.A.M	CUMPLE
ESTABILIDAD (Lb)	CUMPLE
FLUENCIA 1/100"	CUMPLE

FUENTE. ELABORACION PERSONAL

- LAS PROPIEDADES DEL DISEÑO MARSHALL CON AGREGADO NATURAL CUMPLEN EXEPTO R.V.B. LLEGANDO A 70.10 SIENDO MENOR A LA NORMA: 75 – 82.

4.11.4. PROPIEDAD DE ANÁLISIS (VARIABLE DEPENDIENTE)

➤ ESTABILIDAD

La estabilidad cumple en las 2 dosificaciones, pero en la dosificación optima con Agregado Pétreo Triturado tiene un valor de 2755 libras, y la dosificación optima con Agregado Pétreo Natural tiene 2008 libras es decir que para un buen diseño de mezclas asfálticas optamos por el **Agregado Triturado**.

4.11.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DOSIFICACION ÓPTIMO DE LA RESISTENCIA REMANENTE.

TABLA. 4.11.4. AGREGADO PÉTREO TRITURADO ÓPTIMO

N de probetas	Estabilidad	Fluencia
1	2847.40625	0.13
2	2816.56169	0.13
3	2724.81505	0.13
promedio	2796.26099	12.98333

FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

TABLA. 4.11.4. Ensayo Remanente realiza a 24 hrs

N de probetas	Estabilidad	Fluencia
4	2418.4462	0.125984252
5	2815.52112	0.12992126
6	2491.90347	0.124015748
promedio	2575.29026	0.12664042
Resistencia Remanente (%)	92.1 > 85	
	VERDADERO	

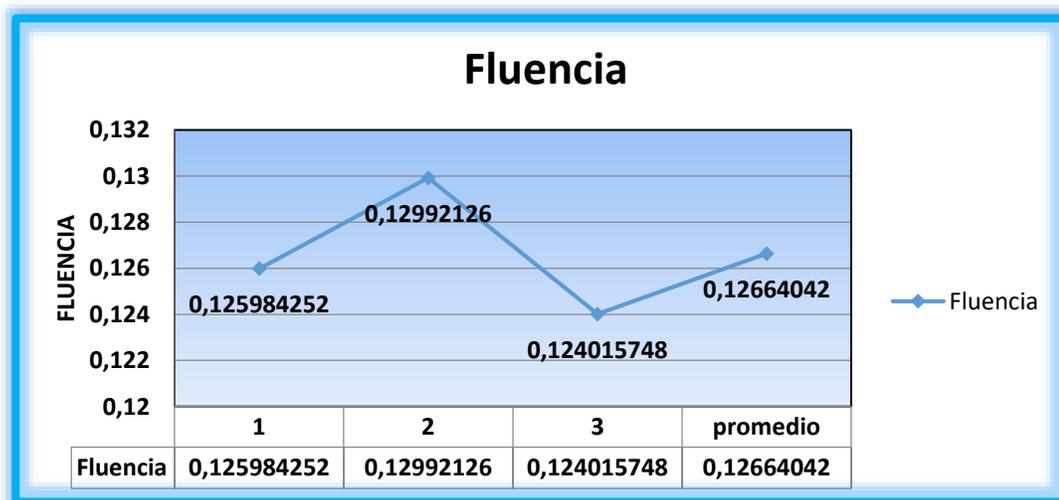
FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

Gráfica 4.11.4 Estabilidad Agregado Pétreo Triturado



ELABORACIÓN PERSONAL

Gráfica 4.11.4 Fluencia Agregado Pétreo Triturado



ELABORACIÓN PERSONAL

- Cumple con la Norma de Resistencia siendo $92.1 > 85$

Tabla.4.11.5 AGREGADO PÉTREO NATURAL ÓPTIMO

N de probetas	Estabilidad	Fluencia
1	2078.46602	0.14
2	2025.22823	0.12
3	1868.83942	0.13
promedio	1990.84456	12.66404

FUENTE. ELABORACION PERSONAL

Tabla. 4.11.6 Ensayo Remanente realiza a 24 horas

N de probetas	Estabilidad	Fluencia
4	1783.5214	0.137795276
5	1663.77855	0.13976378
6	1534.35751	0.133070866
promedio	1660.55249	0.13687664
Resistencia	83.41	< 85
Remanente (%)	NO CUMPLE	

FUENTE. ELABORACION PERSONAL

- No cumple con la Norma de Resistencia siendo **83.45 < 85**, Fluencia **13.17** entra en el rango 8- 14.

4.11.6. OBSERVACIONES.

Al obtener los resultados óptimos de los 2 agregados pétreos, se observa que el agregado Triturado (Garzón) Cumple con las Especificaciones Requeridas de la NORMA ASSHTO en Resistencia Remanente siendo 92.10% de Resistencia, siendo un agregado con mejores propiedades se opta por utilizar el **Agregado Pétreo Triturado**.

En cambio la Resistencia remanente del agregado Natural es de 83.41% no cumple con la Norma.

4.11.7. COMPARACIÓN REMANENTES ESTABILIDAD VS ESTABILIDAD.

Gráfica 4.11.7. Comparación Remanentes Estabilidad vs Estabilidad.



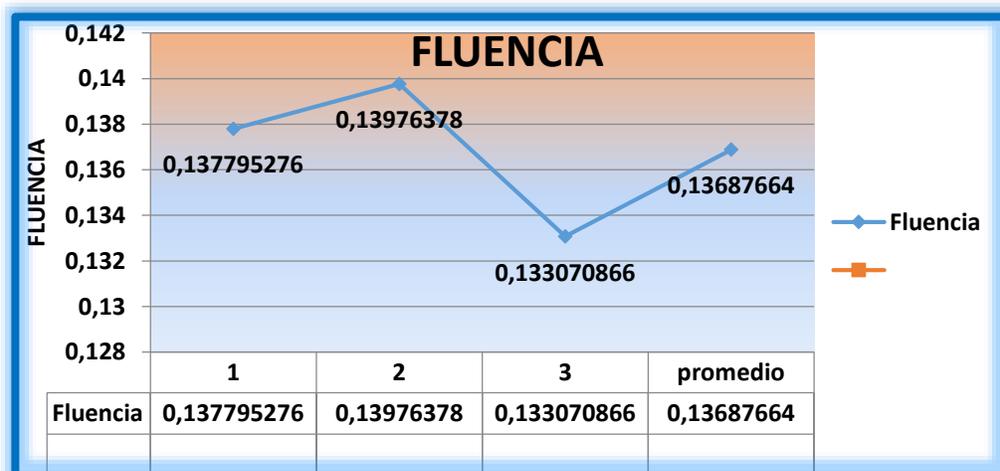
FUENTE. ELABORACION PERSONAL

4.11.7.1. OBSERVACIONES

Se puede notar en la gráfica que el punto más alto de la estabilidad es el Remanente Óptimo Triturado, se recomienda trabajar con el mencionado ya que cumple con las Especificaciones Técnicas.

4.11.8. COMPARACIÓN REMANENTES FLUENCIA VS FLUENCIA.

Gráfica 4.11.8. Comparación Remanentes Fluencia vs Fluencia.



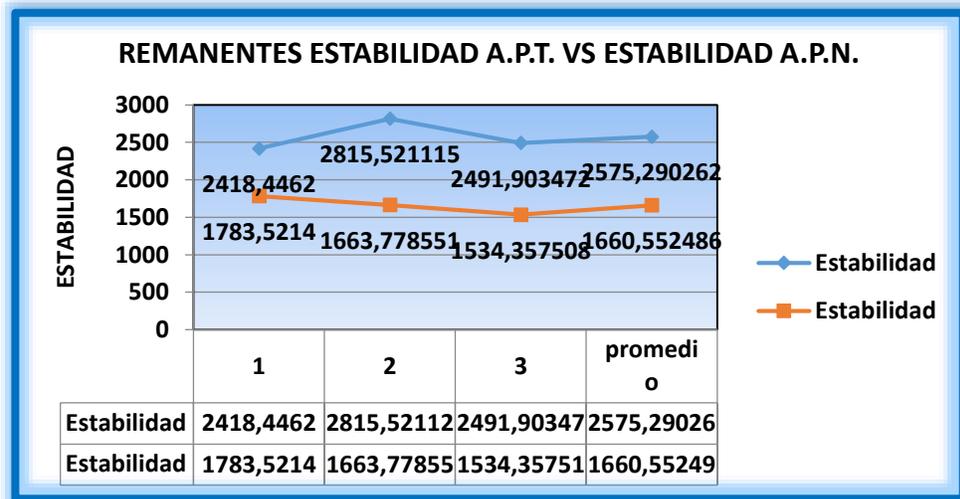
FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

4.11.8.1. OBSERVACIONES

El punto mas alto de la Fluencia es el Remanente Triturado se recomienda trabajar con el mencionado ya que cumple con las Especificaciones Técnicas.

4.11.9. COMPARACIÓN ESTABILIDAD A.P.T VS ESTABILIDAD A.P.N.

Gráfica 4.11.9.Comparación Estabilidad A.P.T vs Estabilidad A.P.N.



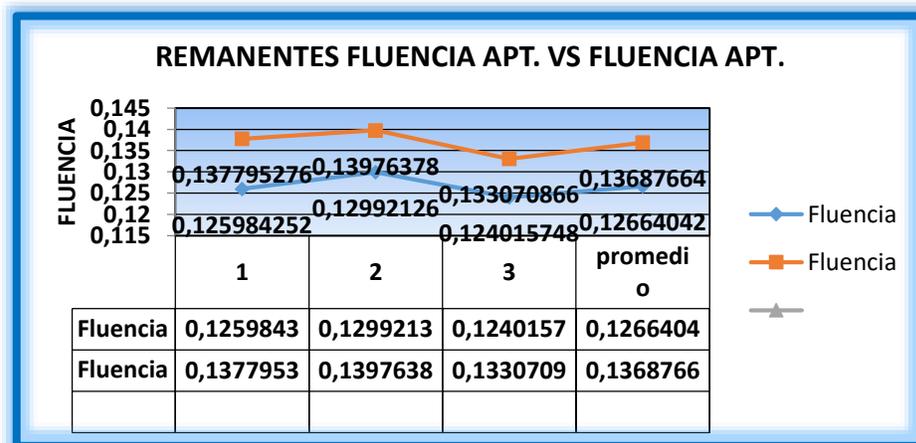
FUENTE. ELABORACION PERSONAL

4.11.9.1. OBSERVACIONES

Se observa la estabilidad del A.P.T. con mayor elevación en la grafica cumpliendo con las especificaciones técnicas requeridas.

4.11.10.COMPARACIÓN REMANTE A.P.T VS A.P.N.

Grafica4.11.10. Comparación Remante A.P.T vs A.P.N.



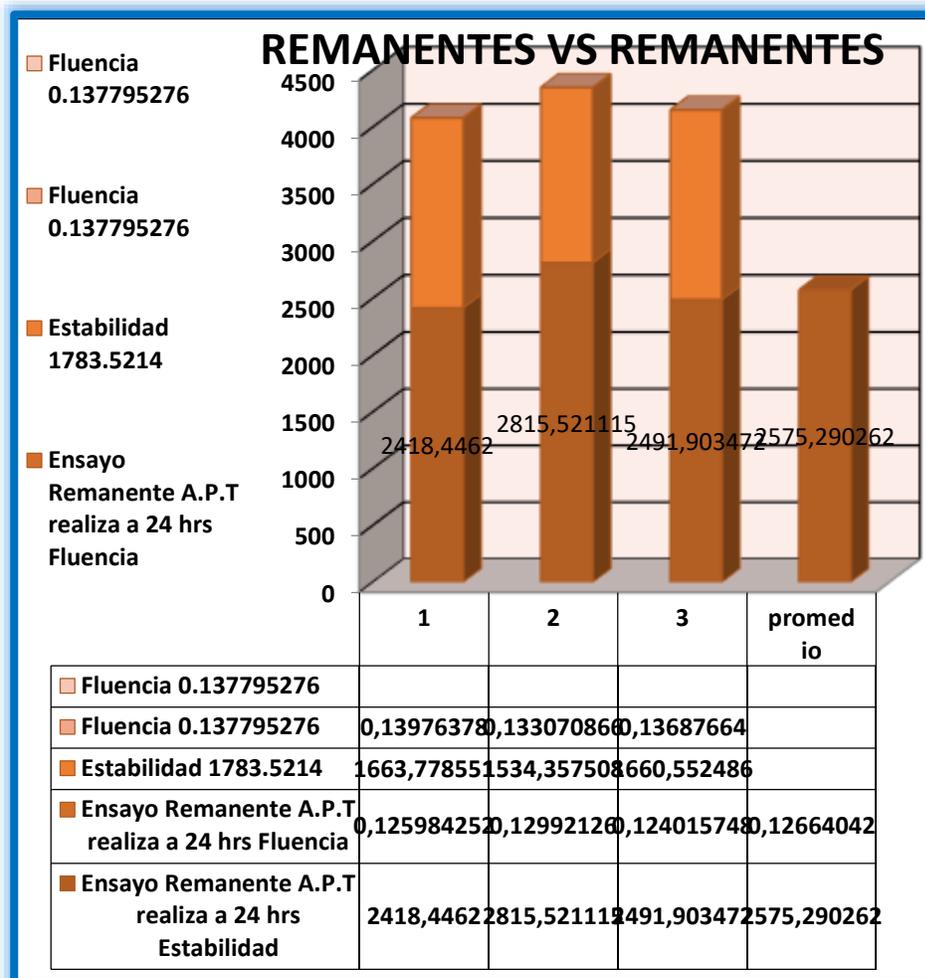
FUENTE. ELABORACION PERSONAL

4.11.10.1. OBSERVACIÓN

Se observa la gráfica del A.P.T. con las especificaciones Técnicas Requeridas.

4.11.11.COMPARACIÓN REMANTE A.P.T VS REMANENTE A.P.N.

Gráfica4.11.11. Comparación Remante A.P.T vs Remanente A.P.N.



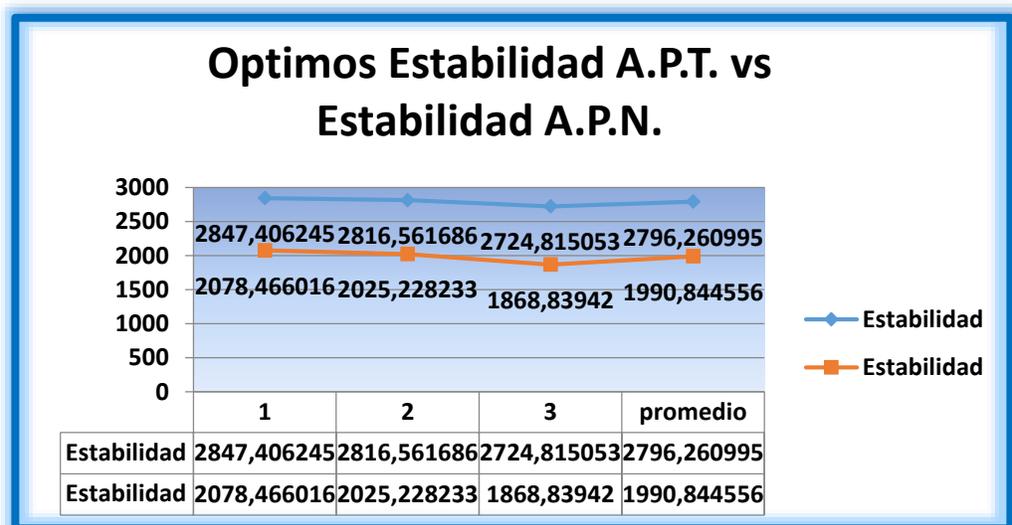
FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

4.11.11.1. OBSERVACIONES.

Se observa el diseño Remanente Triturado en lo más alto de la Grafica cumpliendo con las Especificaciones Técnicas.

4.11.12. ÓPTIMOS ESTABILIDAD A.P.T. VS ESTABILIDAD A.P.N.

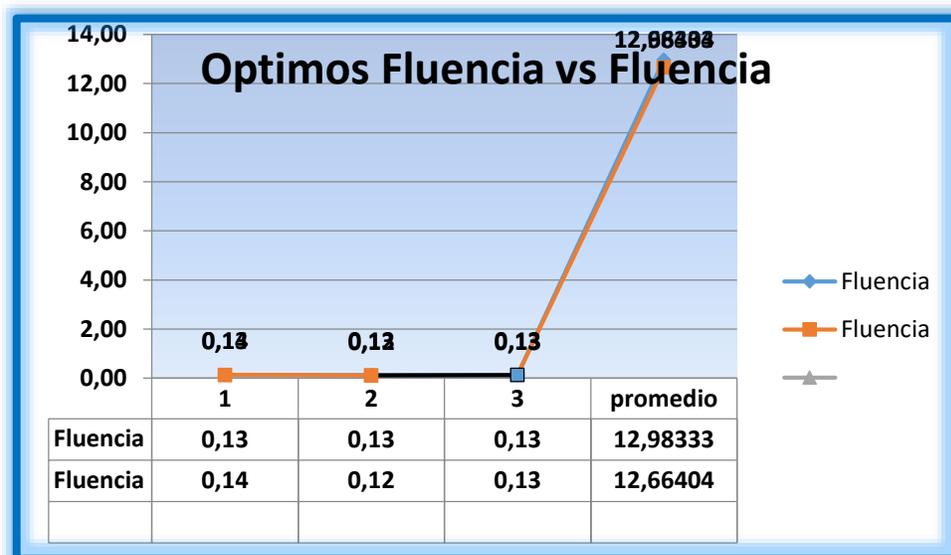
Gráfica4.11.12. Óptimos Estabilidad A.P.T. vs Estabilidad A.P.N.



FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

4.11.13. ÓPTIMOS FLUENCIA A.P.T. VS FLUENCIA A.P.N.

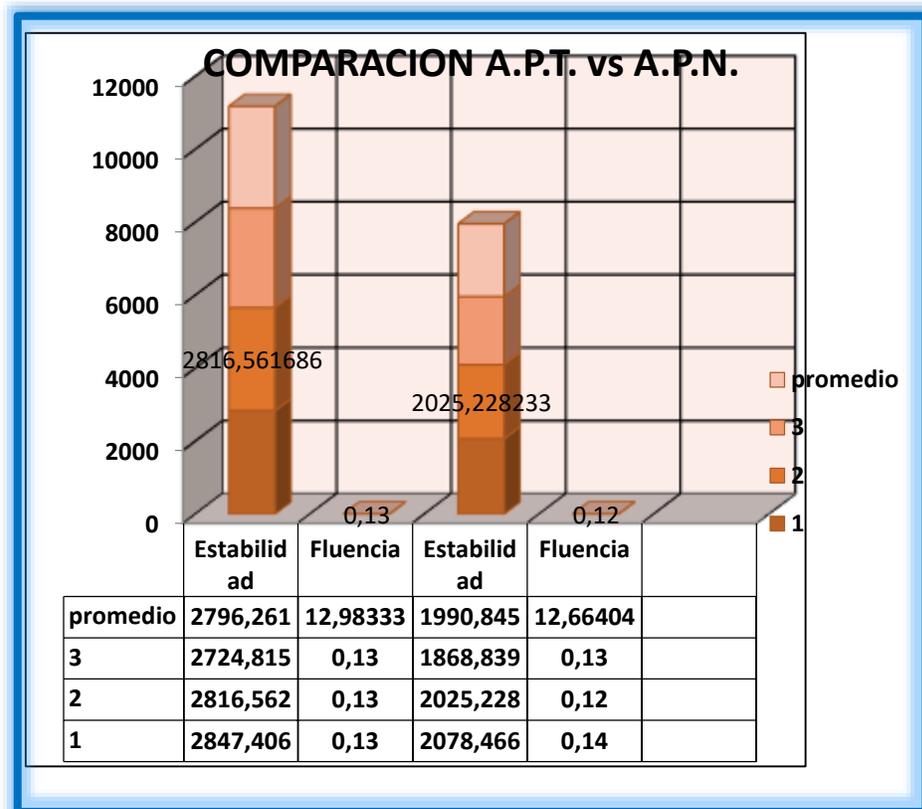
Gráfica4.11.13. Óptimos Fluencia A.P.T. vs Fluencia A.P.N.



FUENTE. ELABORACION PERSONAL

4.11.14.COMPARACIÓN ÓPTIMOS A.P.T. VS COMPARACIÓN ÓPTIMOS A.P.N.

Gráfica4.11.14. Comparación Óptimos A.P.T. vs Comparación Óptimos A.P.N.



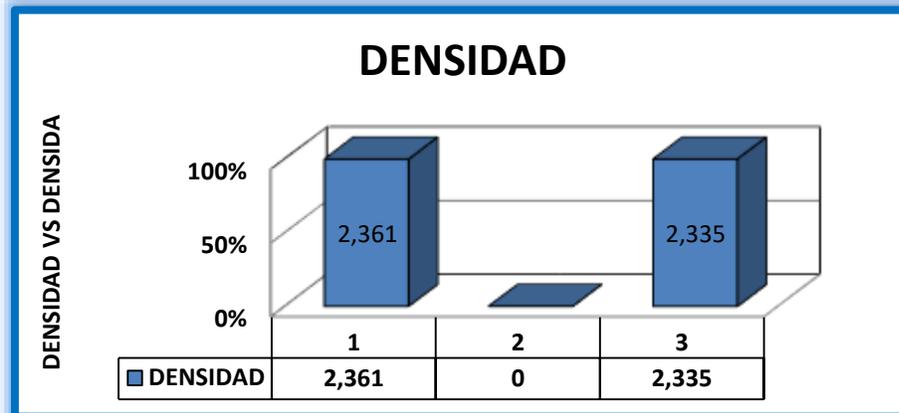
FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

4.11.14.1. OBSERVACIONES

Se observa en la gráfica que el A.P.O.T es el que establece un pico más alta cumpliendo con las Especificaciones Técnicas.

4.11.15.COMPARACIÓN ÓPTIMO DENSIDAD A.P.T. VS ÓPTIMO DENSIDAD A.P.N.

Gráfica4.11.15. Óptimo Densidad A.P.T. vs Óptimo Densidad A.P.N.



FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

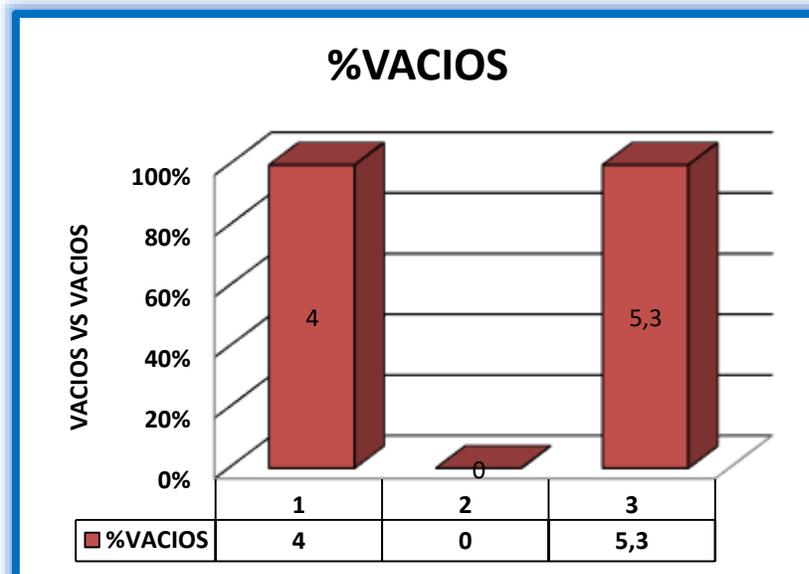
4.11.15.1. OBSERVACIÓN

La Especificación Técnica para la densidad no se registra por lo general es < 2000.

Se observa que la Densidad del **A.P.T.** tiene más densidad, por lo tanto es recomendable para el Diseño de Mezclas.

4.11.16.COMPARACIÓN ÓPTIMO %VACÍOS A.P.T. VS ÓPTIMO %VACÍOS A.P.N.

Gráfica4.11.16. Óptimo %Vacíos A.P.T. vs Óptimo %Vacíos A.P.N.



FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

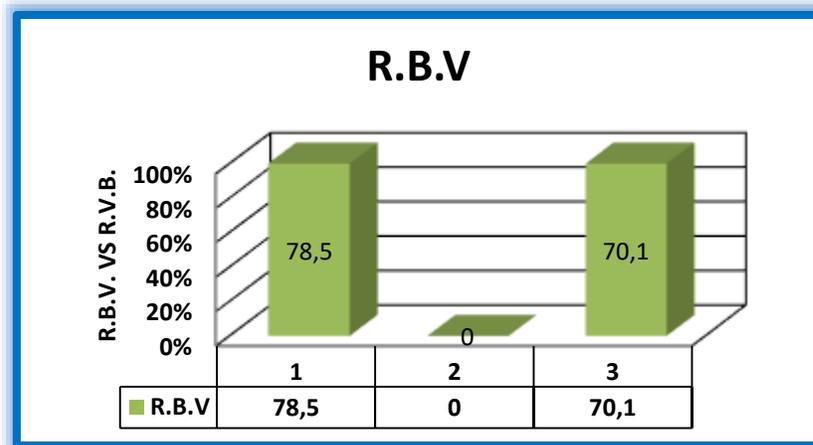
4.11.16.1. OBSERVACIONES

La Especificación Técnica para la % de Vacíos es de **3 – 5**

Se observa que el % de Vacíos del **A.P.T.** cumple con el rango establecido a diferencia del A.P.N. que se sale del rango por lo tanto se utiliza el **% de Vacíos del A.P.T.** para el Diseño de Mezclas.

4.11.17.COMPARACIÓN ÓPTIMO %VACÍOS A.P.T. VS ÓPTIMO %VACÍOS A.P.N.

Grafica 4.11.7. Óptimo %Vacíos A.P.T. vs Óptimo %Vacíos A.P.N.



FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

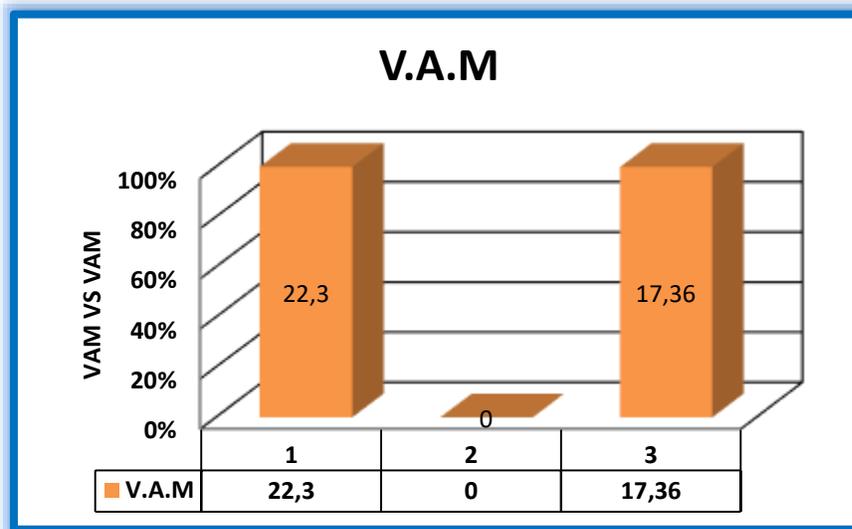
4.11.17.1. OBSERVACIONES.

La Especificación Técnica para la R.B.V es de **75 – 82**

Se observa que el R.B.V del **A.P.T.** **cumple** con el rango establecido a diferencia del A.P.N. que se sale del rango por lo tanto se utiliza el **R.B.V del A.P.T.** para el Diseño de Mezclas.

4.11.18.COMPARACIÓN ÓPTIMO V.A.M A.P.T. VS ÓPTIMO V.A.M. A.P.N.

Gráfica 4.11.18 Óptimo V.A.M A.P.T. vs Óptimo V.A.M. A.P.N.



FUENTE. ELABORACIÓN PERSONAL

4.11.18.1. OBSERVACIONES

La Especificación Técnica para la V.A.M es de **15 – 30**

Se observa que el V.A.M del **A.P.T.** Y el V.A.M del **A.P.N.** **cumple** con el rango establecido, se recomienda trabajar con el V.A.M del **A.P.T.**

4.12. RESUMEN PROPIEDAD DE ANÁLISIS

Tabla 4.12. Valores Obtenidos Diseño Marshall

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL									
Agregados Pétreo Triturados					Agregados Pétreo Natural				
PROPIEDAD	Obtenidos graficos	% Óptimo	REMANENTE 24 HRS	RESISTENCIA REMANTE	Obtenido graficos	% optimo	REMANENTE 24 HRS	RESISTENCIA REMANTE	
DENSIDAD	2.361	2.359			2.336	2.335			

% VACIOS	4.0	3.90			4.0	5.30		
	3 – 5				3 – 5			
R.B.V.	78.5	77.15			78.5	70.10		
	75 – 82				75 – 82			
V.A.M	22.3	16.92			17.2	17.36		
	➤ 15				➤ 15			
ESTABILIDAD (Lb)	2773.2	2796.26	2575.29	92 > 85	2027.7	1990.84	1660.55	
	>1500(75 golpes)		>1500(75 golpes)					
FLUENCIA 1/100"	11.0	12.98	0.1266		11.0	12.66	0.1368	83.41 < 85
	8 – 14		8 – 14					
% OPTIMO DE ASFALTO	5.62	5.62			5.34	5.34		
% óptimo de la mezcla	Min 5.4	Max 5.8			Min 5.4	Max 5.8		

Fuente Elaboración Personal

Tabla 4.12.1. Resumen Resultados Cántabro

Agregados Pétreos Remanente

Briqueta 1 Trituration	6.98 cumple
Briqueta 1 Natural	3.90 Cumple

Briqueta 1 Natural	5.63
Briqueta 2 Natural	3.68
Briqueta 3 Triturado	3.33
Briqueta 4 Triturado	4.08
Briqueta 5 Natural	29.15
Briqueta 6 Natural	28.14

Fuente Elaboración Personal

VARIABLES DEPENDIENTE	PROPIEDAD	SE OBTUVO
Y1	RESISTENCIA	SI
Y2	ESTABILIDAD	SI
Y3	DURABILIDAD	SI

Fuente Elaboración Personal

Tabla 4.12.2 Adherencia Agregado Triturados y Naturales

Adherencia de los Agregados Triturados		Adherencia de los Agregados Naturales	
Peso	500g	Peso	500g
Mantiene el cemento asfáltico	500g	Se desprende con más facilidad el cemento asfáltico	500g

Fuente Elaboración Personal

4.13. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE ESTUDIO.

4.13.1. PROPIEDAD DE ANÁLISIS DISEÑO MARSHALL

4.13.1.1. ESTABILIDAD.(VARIABLE DEPENDIENTE)

- La estabilidad cumple en las 2 dosificaciones, pero en la dosificación óptima con Agregado Pétreo Triturado tiene un valor de **2796.26 libras**, y la dosificación optima con Agregado Pétreo Natural tiene **1990.84 libras** es decir que para un buen diseño de mezclas asfálticas optamos por el **Agregado Triturado**.

➤ **FLUENCIA**

La Fluencia CUMPLE en los 2 Agregados, siendo el más relevante el Triturado con mayor Fluencia 12.98 – Natural =12.66 siendo el recomendado para la utilización del Diseño.

4.13.2. PROPIEDAD DE ANÁLISIS DISEÑO REMANENTE

4.13.2.1. RESISTENCIA.(VARIABLE DEPENDIENTE)

Para el Agregado Triturado es **92 > 85** de resistencia, para el Agregado Natural es **83.41 < 85** de resistencia, no cumpliendo con las especificaciones el Agregado Natural. Para un buen diseño de mezclas se opta por utilizar la resistencia remanente del **Agregado Pétreo Triturado**.

4.13.3. DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS.(VARIABLE DEPENDIENTE)

4.13.3.1. DURABILIDAD

En la durabilidad se observa lo siguiente.

Agregado Triturado	Agregado Natural
Agregado – Grueso	
1.65%	1.96%
Agregado – Fino	
1.39%	1.92%

Fuente Elaboración Propia

Se observa en el Agregado Natural tiene mayor % de pérdida que el Triturado, siendo recomendable para el diseño de mezclas asfálticas el Agregado Triturado que tiene menos % de pérdida.

4.13.4. PROPIEDAD DE ANÁLISIS RESISTENCIA

CÁNTABRO.(VARIABLE DEPENDIENTE)

Al analizar las briquetas de Agregado Triturado y Natural se observó que la resistencia Cumple en las 2 dosificaciones, teniendo más relevancia la dosificación con **Agregado Triturado** obteniendo un porcentaje de 6.98% de Resistencia cumpliendo con la Normativa de la Norma Española (NLT-352/86)2, siendo la más recomendable para un diseño de mezclas asfálticas en caliente.

4.13.5. ADHERENCIA

La mejor adherencia es de los Agregados Pétreos Triturado porque se desprende con más facilidad el cemento asfáltico.

4.14. PRESUPUESTO.

Tabla 4.14.1. Presupuesto

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PROYECTO: CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (MEZCLA CONVENCIONAL) AGREGADO TRITURADO SAN MATEO ACTIVIDAD: COLOCADO DE CARPETA UNIDAD: M3 CANTIDAD: 1.00 TIPO DE CAMBIO Bs/\$us: 7.07						
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diésel	lt	18.00	3.72	66.96
2	-	Arena clasificada	m3	0.39	145.00	56.55
3	-	Cemento asfaltico 85-100	kg	139.95	10.29	1,440.09
4	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m3	0.18	152.00	27.36
5	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m3	0.29	162.00	46.98
						0.00
						0.00

>	D	TOTAL MATERIALES		(A)	1,637.94
		TOTAL PRECIO UNITARIO		(N+P)	2,203.86

Fuente Elaboración Personal

Tabla 4.14.2. Presupuesto

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (MEZCLA CONVENCIONAL)						
AGREGADO NATURAL GUADALQUIVIR						
ACTIVIDAD: COLOCADO DE CARPETA						
UNIDAD: M3						
CANTIDAD: 1.00						
TIPO DE CAMBIO Bs/\$us:						7.07
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18.00	3.72	66.96
2	-	Arena clasificada	m3	0.16	145.00	23.20
3	-	Cemento asfaltico 85-100	kg	139.95	10.29	1,440.09
4	-	Grava 3/4"	m3	0.10	152.00	15.20
5	-	Grava 3/8"	m3	0.16	162.00	25.92
						0.00
						0.00
>	D	TOTAL MATERIALES			(A)	1,571.37
		TOTAL PRECIO UNITARIO			(N+P)	2,126.97

Fuente Elaboración Personal

Se observa en el Análisis de precios Unitarios que el agregado natural es más económico sin embargo no es utilizado por que no cumple las Especificaciones Tecnicas.

Se utiliza el Análisis de Precios Unitarios del Agregado Triturado

4.15. HIPÓTESIS

Si se realiza un análisis técnico de dosificación para mezcla asfálticas en caliente comparando agregados pétreos natural vs agregados pétreos triturado, entonces se podrá obtener propiedades óptimas mediante análisis estadístico requerido.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto de investigación se cumplió con el objetivo general, realizando estadísticas comparativas se obtuvo las propiedades Óptimas de tal forma revalidamos nuestra Hipótesis planteada ya que se obtuvo los % Óptimos de las Dosificaciones logrando Obtener satisfactorios resultados.
- Para la dosificaciones se utilizó dos Agregados Pétreos (Triturados con procedencia de San Mateo) y (Natural procedencia rio Guadalquivir de Mira flores), el Cemento Asfáltico de la planta del Gobierno Autónomo Municipal (85100), utilizando y haciendo cumplir la Norma.

- Se realizó el análisis de agregados mediante diferentes ensayos Normativos obteniendo resultados que cumplen Especificaciones Técnicas.
- Se determinó el contenido Óptimo de asfalto de una mezcla cumpliendo con las Especificaciones Técnicas requeridas.

Óptimo (85100) Triturado	Óptimo (85100) Natural
5.62 %	5.3 %
5.4 – 5.8	5.4 – 5.8

Fuente Elaboración Propia

- Se elaboraron Dosificaciones con los 2 agregados ya mencionados obteniendo briquetas de mezcla asfáltica convencional, Obteniendo un porcentaje Óptimo de cada dosificación que se sometieron a ensayos Marshall para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, con los siguientes resultados:

Agregado Triturado Óptimo	Agregado Natural Óptimo
2796.26 lb.	1990.84 lb.
>1800 (75 golpes)	>1800 (75 golpes)

Fuente Elaboración Propia

Se recomienda la mejor Estabilidad que es del **Agregado Óptimo Triturado**.

- De los resultados obtenidos en el estudio, cumple con las condiciones mínimas de estabilidad para **tráfico pesado de 1800 lb.**
- Los resultados de Resistencia remanente Óptimos se pudo observar lo siguiente:

Agregado Triturado Óptimo	Agregado Natural Óptimo
Remanente	Remanente

92.1 %	83.41 %
>85	>85

Fuente Elaboración Propia

se observa que solo cumple el **Óptimo Triturado** siendo el recomendado para la utilización del diseño de Mezclas Asfálticas.

- Realizado el ensayo de Durabilidad se observar en el Capítulo **IV.4.12.9** el análisis correspondiente llegando a la conclusión que el agregado – Grueso Triturado se desgasta 1.65%: el Agregado – Fino Triturado se desgasta 1.39%, teniendo menos desgaste del Natural es un Óptimo para utilizar en un diseño de Mezclas Asfálticas en caliente.
- Los ensayos se realizó al Nivel de Confiabilidad al 95%, revalidando el nivel de los ensayos.
- EL ensayo Cántabro se obtuvo buenos resultados excepcionando q se salieron del rango 2 briquetas no cumpliendo con las Especificaciones Técnicas requeridas mostrando el siguiente cuadro:

Briqueta 1 Triturado	6.98 cumple
Briqueta 1 Natural	3.90 Cumple

Briqueta 1 Natural	5.63
Briqueta 2 Natural	3.68
Briqueta 3 Triturado	3.33
Briqueta 4 Triturado	4.08

Briqueta 5 Natural	29.15
Briqueta 6 Natural	28.14

Fuente Elaboración Propia

- Se realizó el ensayo de Adherencia de lo agregados obteniendo menor desprendimiento del asfalto al agregado Triturado.
- Sobre la Durabilidad se obtuvo mejor resultado al agregado Triturado ya que sufrió menos desgaste.
- Realizado el presente análisis de dosificaciones con 2 Agregados Pétreos Triturados y Naturales para la Optimización de Propiedades, se demuestra mediante análisis estadísticos que las Propiedades Óptimas son los Agregados Pétreos Triturados revalidando la Perspectiva – Hipótesis, que al hacer 2 comparaciones se obtiene Óptimas de Propiedades para el diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente llegando al fin del estudio propuesto de la presente Tesis.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda secar el material antes de utilizarlo ya que el material por lo general tiene contenido de humedad.
- En el ensayo de Peso Unitario se tiene que hacer caer a 90 ° C
- Es recomendable realizar un cuarteo para la mejor selección de muestra y otras actividades que permitan sub clasificarlos. (Del estado, uso, marca, procedencia, etc.)
- Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de Seguridad Industrial.
- Es necesario tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos; además de la sensibilidad de los mismos.
- En el momento de compactación se tiene que fijar a 90 grados ya que si esta en mala posición los resultados se disparan.
- Engrasar el equipo de compactación y calentar los collarines antes de la

compactación de la muestra.

- Hay que tener en cuenta la temperatura en el momento de la mezcla asfáltica ya que si se pasa de la Norma se quema y nos da resultados erróneos.
- Por último se recomienda en el momento de lectura de estabilidad y fluencia en el Equipo Marshall tener en cuenta las vueltas del reloj ya que muchas veces es rápido el giro y uno se puede equivocar.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ **UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

- ❖ THE ASPHALT INSTITUTE, Manual del Asfalto, Productos Asfálticos S. A., Madrid, España.
- ❖ CURSO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MÉTODO AASHTO – 1997, Instituto
- ❖ Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2000.
- ❖ Montejo Fonseca Alfonso. Ingeniería de pavimentos. Agora Editores. Bogotá; 2002
- ❖ Alejandro Padilla Rodríguez. CAPÍTULO 3. MEZCLAS ASFÁLTICAS.
- ❖ MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES (EM 2000) Sulfato de sodio Durabilidad MT -209-2000.

Pavimentos Flexibles.

- ❖ INSTITUTO DE ASFÁLTO de los Estados Unidos de Norteamérica, “Tecnología del Asfalto y Prácticas de construcción, Guía para instructores” Edición de la Comisión Permanente del Asfalto de la República Argentina, Buenos Aires, 1985.
- ❖ ASHHTO CMT Características de los materiales calidad de mezclas asfálticas para carreteras
- ❖ Ing. José Pablo Aguiar Moya Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL)
- ❖ RUIZ, C. “Interpretación del ensayo Marshall relación estabilidad–fluencia”. Comisión Permanente del Asfalto. Decimocuarta Reunión del Asfalto. Buenos Aires 1966.