

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS INTITULADA:

**“FILLER DE DIATOMITA EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN
EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA ESCUELA
PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, CIUDAD DE CUSCO,
2016-2017”**

PRESENTADO POR:

BACH. SALAS CHAÑI, KERVIN DOMINGO

BACH. YLLATUPA LIMA, MARCO LENIN

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

JURADOS:

M. SC. ING. CARLOS FERNANDEZ BACA VIDAL

MGT. ING. IGNACIO FRUCTUOSO SOLIS QUISPE

ING. RICARDO ALFONSO VALLENAS CASAVARDE

CUSCO – PERÚ

2019



RESUMEN

Los pavimentos en la ciudad del Cusco están siendo sobre usadas, ya que se ve estructuras de pavimento flexible con agrietamientos, ahuellamientos, peladuras, etc. Por lo tanto, encontrar alternativas que mejoren esta situación es necesario.

El objetivo de este estudio, es mejorar la carpeta de rodadura reemplazando los finos pasantes el tamiz N°200 por diatomita, para comparar los valores de peso específico, estabilidad, flujo, vacíos y vacíos en agregado mineral.

Para lo que se eligió el agregado que viene usando la municipalidad de Cusco, se hizo un análisis de estos en cuanto a características para el diseño y durabilidad.

Debido al clima de la ciudad, se utilizó asfalto PEN 85-100; la diatomita que se utilizó tiene un alto contenido de silice (95%). Donde en ambos casos se obtuvieron características para el diseño. Con todo esto, se realizó el diseño de la mezcla asfáltica en caliente sin y con diatomita, para finalmente compararlas en características físicas y mecánicas.

Concluyendo que la mezcla asfáltica con diatomita brinda resultados bajos en comparación con la mezcla asfáltica sin diatomita, sin embargo, esta aún puede ser servicial. Se podría realizar otras investigaciones donde la diatomita se use como adicionante mas no, como reemplazante de finos.

Palabras claves: asfalto, diatomita, agrietamientos, ahuellamientos, peladuras.



ABSTRACT

The pavements in the city of Cusco are being on used, being structures of pavement flexible with cracks, ruttings, peelings, etc. Therefore, find alternatives that improve this situation is necessary.

The objective of this study is to improve the folder rolling replacing the fine interns the sieve N°200 by diatomite, to compare the values of specific weight, stability, flow, gaps and voids in mineral aggregate.

For what was elected the added that comes using the Municipality of Cusco, an analysis was made of these in terms of characteristics for the design and durability.

Due to the climate of the city, was used asphalt PEN 85-100; the diatomite that was used has a high content of silica (95%). Where in both cases were obtained features for the design. With all this, was the design of the asphalt mix in hot without and with diatomite, finally to compare in physical and mechanical characteristics.

Concluding that the asphalt mix with diatomite delivers results that are low in comparison with the asphalt mix without diatomite, however, this can still be helpful. You could perform other investigations where the diatomite is used as adiconante but not, as superseding of fines.

Keywords: asphalt, diatomite, cracking, rutting, peeling.



AGRADECIMIENTOS

Expresar nuestro profundo agradecimiento y reconocimiento a los docentes de La Escuela Profesional De Ingeniería Civil De La Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, por su dedicación a la docencia y por la labor que desempeñaron en nuestra formación, en especial a nuestros jurados, los cuales nos motivan a ser mejores profesionales; juntamente con el personal administrativo, los que hacen posible este logro.



DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, a mis padres Domingo y Juana, por haberme motivado a estudiar mi carrera, a mis hermanos Franz y Pachakutec, que me brindan alegría en todo momento, a mis amigos por estar a mi lado.

Kervin Domingo

A Dios por haberme dado salud y llegar hasta este momento, a mis padres Marco y Rosa por haberme guiado, por su perseverancia y estar a mi lado en los momentos más difíciles, A mis demás familiares por brindarme su apoyo siempre, a una personita en especial, y a mis amigos por los buenos momentos.

Marco Lenin



INDICE

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA	2
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	2
1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	2
1.2. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. HIPOTESIS Y VARIABLES	3
1.4.1. HIPOTESIS.....	3
1.4.2. VARIABLES	3
2. MARCO CONCEPTUAL	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	4
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	5
2.2. PAVIMENTO	6
2.2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE	6
2.3. CARACTERISTICAS DE LAS CANTERAS	9
2.3.1. CANTERA DE KUNYAC	9
2.3.2. CANTERA DE MORRO BLANCO.	10
2.4. CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.	11
2.4.1. ESPECIFICACIONES DE AGREGADO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	11
2.4.2. ASFALTO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	14
2.4.3. FILLER PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	17
2.5. DIATOMITA	19
2.5.1. COMPOSICION MINERALOGICA Y QUIMICA DE LA DIATOMITA	19
2.5.2. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA DIATOMITA	20
2.5.3. CONDICIONES AMBIENTALES DE FORMACIÓN.....	20
2.5.4. USOS.....	21
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.1. NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACION	23
3.3. FLUJOGRAMA	24
3.4. POBLACION DE ESTUDIO	25
3.5. UNIDAD DE ANALISIS	25
3.6. SELECCIÓN DE MUESTRA	25



3.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	26
4. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES	27
4.1. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS	27
4.1.1. MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ Nº 200	27
4.1.2. ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS	28
4.1.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS	31
4.1.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO	33
4.1.5. ABRASION DE LOS ANGELES	35
4.1.6. DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO.....	37
4.1.7. ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS	40
4.1.8. SALES SOLUBLES EN AGREGADOS	43
4.1.9. EQUIVALENTE DE ARENA.....	45
4.1.10. PARTICULAS FRACTURADAS.....	47
4.1.11. RESUMEN	49
4.2. CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	50
4.2.1. PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS.....	50
4.2.2. DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	52
4.2.3. PESO ESPECIFICO DE MATERIALES BITUMINOSOS	54
4.3. CARACTERISTICAS DE LA DIATOMITA.....	55
4.3.1. PESO ESPECÍFICO DE LA DIATOMITA.....	55
5. ANALISIS Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL.....	56
5.1. ANÁLISIS DE MATERIALES PÉTREOS.....	56
5.1.1. AGREGADO GRUESO	57
5.1.2. AGREGADO ARENA CHANCADA	58
5.1.3. AGREGADO ARENA FINA.....	59
5.1.4. CURVA GRANULOMETRICA COMBINADA.....	59
5.2. ELABORACION DE BRIQUETAS	61
5.3. ALTURA DE ESPECIMENES COMPACTADOS.	63
5.4. PESO ESPECÍFICO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS.....	65
5.5. PORCENTAJE DE VACIOS DE MEZCLAS ASFALTICAS.....	67
5.6. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS.	68
5.7. ANALISIS DE DISEÑO DE MEZCLA	69
5.8. INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPRESENTACION GRAFICA	71
5.8.1. CURVA DE ESTABILIDAD.	71
5.8.2. CURVA DE PESO ESPECIFICO	72
5.8.3. CURVA DE FLUJO.....	73



5.8.4.	CURVA DE VACIOS TOTALES	73
5.8.5.	CURVA DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL.	74
5.9.	RESUMEN Y CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	76
5.9.1.	CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	76
5.9.2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO.	76
5.9.3.	RESUMEN ENSAYO MARSHALL	77
6.	ANALISIS Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE DIATOMITA.	78
6.1.	ANÁLISIS DE MATERIALES PÉTREOS.....	78
6.2.	ELABORACION DE BRIQUETAS	79
6.3.	ESPESOR O ALTURA DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS ...	80
6.4.	PESO ESPECÍFICO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS.....	80
6.5.	PORCENTAJE DE VACIOS DE MEZCLAS ASFLATICAS.....	80
6.6.	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS	80
6.7.	ANALISIS DE DISEÑO DE MEZCLA	81
6.8.	INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPRESENTACION GRAFICA	83
6.8.1.	CURVA ESTABILIDAD	83
6.8.2.	CURVA PESO ESPECIFICO	83
6.8.3.	CURVA FLUJO	84
6.8.4.	CURVA DE VACIOS	85
6.8.5.	CURVA DE VACIOS EN AGREGADO MINERAL	85
6.9.	RESUMEN Y CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	87
6.9.1.	CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO	87
6.9.2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO.	87
6.9.3.	RESUMEN ENSAYO MARSHALL	87
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
7.1.	CONCLUSIONES	88
7.2.	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFIA	95
	GLOSARIO DE TERMINOS.....	96
	ANEXOS.....	99



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección típica de un pavimento flexible convencional	7
Figura 2: Ubicación de cantera Kunyac	9
Figura 3 Ubicación de cantera Morro Blanco y Planta Chancadora	11
Figura 4. Esquema de interacción Asfalto – Filler	18
Figura 5: Unidades (partícula de filler y asfalto influenciado)	18
Figura 6: Gradación de agregado grueso	28
Figura 7: Gradación de arena chancada	28
Figura 8: Obtención del Peso Saturado con Superficie Seca	32
Figura 9: Eliminación de los vacíos mediante la bomba de vacíos	32
Figura 10: Muestra usada (gradación B)	36
Figura 11: Numero de billas usadas (gradación B)	36
Figura 12: Muestra sumergida en la solución de sulfato de magnesio	39
Figura 13: Muestra seca después sumergida	39
Figura 14: Preparación de las soluciones	40
Figura 15: Evaporación de la alícuota	44
Figura 16: Precipitado formado por el nitrato de plata y de bario respectivamente	44
Figura 17: Solución STOCK	45
Figura 18: Lectura de Arena	46
Figura 19: Esquema de una Partícula Fracturada con una Cara de fractura	48
Figura 20: Dimensiones de la aguja	50
Figura 21: Ensayo de Penetración	51
Figura 22: Molde y placa para ductilómetro	52
Figura 23: Ensayo de Ductilidad	53
Figura 24: Picnómetro más diatomita más agua	55
Figura 25: Mezclado de Asfalto con Agregado	62
Figura 26: Compactación de probetas	62
Figura 27: Probetas sumergidas para realizar el ensayo	66
Figura 28: Pesado de las probetas	66
Figura 29: Prensa Marshall	69
Figura 30: Mezclado de agregado asfalto y diatomita	79
Figura 31: Rotura de briquetas	80



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje Mineral correspondiente a la cantera Kunyac	10
Tabla 2: Requerimiento para los agregados gruesos de Mezclas Asfálticas en Caliente.....	12
Tabla 3: Requerimiento para Caras Fracturas	12
Tabla 4: Requerimientos para los Agregados Finos de Mezclas Asfáltica en Caliente	13
Tabla 5: Requerimientos del Equivalente de Arena	13
Tabla 6: Gradación de los Agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente.....	14
Tabla 7 Selección de tipo de cemento asfáltico	14
Tabla 8 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	16
Tabla 9. Composición mineralógica y química de la Diatomita.	19
Tabla 10 Matriz De Consistencia	26
Tabla 11: Resultados de ensayo tamiz N° 200	27
Tabla 12 Resultados de ensayo granulométrico Agregado Grueso.	29
Tabla 13 Resultados de ensayo granulométrico Arena Chancada.	30
Tabla 14 Resultados de ensayo granulométrico Arena Fina.....	30
Tabla 15: Resultado del ensayo Peso Específico	33
Tabla 16: Resultado de ensayo Peso Específico	34
Tabla 17: Cantidad de material de acuerdo a gradación	35
Tabla 18: Carga correspondiente de acuerdo a la gradación.....	35
Tabla 19: Resultado de ensayo de abrasión.....	36
Tabla 20: Peso de material de acuerdo a los tamices normalizados	37
Tabla 21: Tamices normalizados para determinar la pérdida.....	38
Tabla 22: Resultado de durabilidad al sulfato de Mg.	39
Tabla 23: Soluciones de ensayo de adhesividad	40
Tabla 24: Molaridad de las soluciones	42
Tabla 25: Resultado de ensayo de adhesividad	43
Tabla 26: Cantidad mínima de agregado y aforo	43
Tabla 27: Resultado de Ensayo Sales Solubles	44
Tabla 28: Resultados de Ensayo Equivalente de Arena	47
Tabla 29: Peso requeridos para el ensayo	47
Tabla 30: Resultado de Ensayo Partículas Fracturadas	48
Tabla 31: Resultado de ensayo de penetración.....	51
Tabla 32: Resultado de ensayo de ductilidad	53
Tabla 33: Resultado de ensayo de peso específico asfalto	54
Tabla 34: Resultado de ensayo de peso específico diatomita	55
Tabla 35 Análisis granulométrico de la piedra chancada de 1/2" - Cantera Morro Blanco.	57
Tabla 36: Análisis granulométrico de la arena chancada – Cantera Morro Blanco.....	58
Tabla 37 Análisis granulométrico de la arena natural – Cantera Kunyac.....	59
Tabla 38 Factores de Estabilidad de Correlación	64
Tabla 39: Requisitos para la mezcla de concreto bituminoso.	76
Tabla 40: Requisitos para la mezcla de concreto bituminoso.	77
Tabla 41: Resumen de resultados Marshall, Mezcla asfáltica en Caliente Convencional.	77
Tabla 42: Resumen de resultados Marshall, Mezcla asfáltica en Caliente Convencional.	87



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica de Piedra Chancada.....	29
Gráfico 2: Curva granulométrica de Arena Chancada	30
Gráfico 3: Curva granulométrica de Arena Fina.....	31
Gráfico 4: Curva granulométrica de la piedra chancada de ½”- cantera Morro Blanco	57
Gráfico 5: Curva granulométrica de la arena chancada- cantera Morro Blanco	58
Gráfico 6: Curva granulométrica de la arena fina- cantera Kunyac	59
Gráfico 7: Análisis granulométrico agregados combinados.....	60
Gráfico 8: Curva granulométrica de los agregados combinados	60
Gráfico 9: Curva de “Estabilidad VS % de ligante asfaltico”	72
Gráfico 10: Curva de “Peso específico VS % de ligante asfaltico”	72
Gráfico 11: Curva de “flujo VS % de ligante asfaltico	73
Gráfico 12: Curva de “% de vacíos VS % de ligante asfaltico”	74
Gráfico 13: Curva de “% de V.M.A VS % de ligante asfaltico”	75
Gráfico 14: Curva de “% de vacíos llenos de asfalto VS % de ligante asfaltico”	75
Gráfico 15: Curva granulométrica de los agregados combinados	78
Gráfico 16: Curva de “Estabilidad VS % de ligante asfaltico”	83
Gráfico 17: Curva de “Peso específico VS % de ligante asfaltico”	84
Gráfico 18: Curva de “flujo VS % de ligante asfaltico	84
Gráfico 19: Curva de “% de vacíos VS % de ligante asfaltico”	85
Gráfico 20: Curva de “% de V.M.A VS % de ligante asfaltico”	85
Gráfico 21: Curva de “% de vacíos llenos de asfalto VS % de ligante asfaltico”	86



CAPITULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Cusco el parque automotor está en crecimiento, indicadores de que las estructuras de pavimento vienen siendo sobre usadas, y provocando su deterioro son los agrietamientos, ahuellamientos, peladuras, entre otros. Causa de este deterioro puede ser debido al desgaste producido por los neumáticos, factores climáticos, o la misma acción de cargas a la que es sometida la estructura. Las carpetas de rodadura vienen disminuyendo su vida útil, así como también sus características (Durabilidad, Consistencia, Elasticidad, Viscosidad, etc.). Encontrar Soluciones para esta situación conlleva a buscar nuevas alternativas de diseño de carpeta de rodadura que mejoren dicha situación.

Al desarrollar nueva tecnología para la aplicación en el diseño de pavimentos se da apertura a tener alternativas que pueden extender la vida útil del pavimento al mejorar sus características.

En la actualidad existe más de una alternativa viable para los problemas que las estructuras de asfalto sufren en la ciudad del Cusco, una de ellas es la utilización de Asfaltos Modificados con Polímeros (SBS), alternativa que la municipalidad del Cusco que está aplicando con éxito en sus obras de pavimentación, sin embargo, el elevado costo.

La presente investigación busca una alternativa para mejorar las características de la capa de rodadura en el pavimento mediante adición de Diatomita en la mezcla asfáltica en caliente. Se trata de un procedimiento experimental, puesto que se verá el comportamiento que tiene la adición de filler de diatomita dentro de una mezcla asfáltica.



1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cómo influye el filler de diatomita en los factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente mediante método Marshall en el laboratorio de Mecánica de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ciudad del Cusco, 2016-2017?

1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.

- **P.E.1.** ¿Los materiales pétreos usados en la investigación cumple con los requisitos mínimos que piden la norma de pavimentos urbanos?
- **P.E.2.** ¿Cuál es el análisis comparativo en **Propiedades físico-mecánicas** entre la mezcla asfáltica en caliente con filler y sin filler de diatomita mediante el método Marshall?
- **P.E.3.** ¿Cómo influye el filler de diatomita en la **Estabilidad** de la mezcla asfáltica en caliente?
- **P.E.4.** ¿Cuál es la incidencia del filler de diatomita en el **Flujo** de la mezcla asfáltica en caliente?
- **P.E.5.** ¿Cómo influye el filler de diatomita en el **Porcentaje de Vacíos** de la mezcla asfáltica en caliente?

1.2. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se enfoca en el estudio de la influencia del filler en la mezcla asfáltica en caliente. La carpeta de asfalto durante su vida útil va a resistir las cargas de tránsito para evitar su deterioro, encontrar una manera de mejorar las propiedades y características de la carpeta de rodadura es necesaria.

Tener un diseño de mezcla asfáltica con buenas características contribuye a procesos de construcción, mantenimiento y costos. La adición de filler de diatomita a la mezcla asfáltica en caliente tiene como fin determinar el efecto que esta tiene en la mezcla y si esta puede aportar de manera positiva en el comportamiento de las estructuras del pavimento.



1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer la influencia del filler de diatomita en los factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente mediante método Marshall en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ciudad del Cusco, 2016-2017.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **O.E.1.** Determinar si los materiales cumplen los requisitos mínimos dados por la norma de pavimentos urbanos.
- **O.E.2.** Obtener un análisis comparativo en Propiedades físicas-mecánicas entre la mezcla asfáltica en caliente con filler y sin filler de diatomita.
- **O.E.3.** Analizar las incidencias del filler de diatomita en la Estabilidad que tendrá en la mezcla asfáltica en caliente.
- **O.E.4.** Determinar la incidencia del filler de diatomita en el Flujo de la mezcla asfáltica en caliente.
- **O.E.5.** Establecer la influencia del filler de diatomita en el Porcentaje de Vacíos de la mezcla asfáltica en caliente.

1.4. HIPOTESIS Y VARIABLES

1.4.1. HIPOTESIS

- El filler de diatomita mejora los factores de diseño y propiedades físico-mecánicas en la mezcla asfáltica en caliente mediante método Marshall en el laboratorio de suelos de la escuela profesional de Ingeniería Civil, ciudad del Cusco, 2016-2017.

1.4.2. VARIABLES

Variable independiente: Filler de Diatomita

Variable dependiente: Factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

Propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica.



CAPITULO 2

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- **Rondon Quintanilla, Hugo “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD), BOGOTA COLOMBIA 2010”**

El artículo presenta los resultados experimentales de ensayar una mezcla asfáltica densa en caliente tipo MDC-2 (acorde con las especificaciones del Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2007) modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD). Para la evaluación del comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales (sin aditivo) y modificadas se realizaron ensayos Marshall, módulo dinámico, deformación permanente y resistencia a fatiga. Las mezclas fueron elaboradas con un cemento asfáltico (CA) producido en Colombia tipo CA 80-100. Al CA con y sin aditivo se realizaron ensayos de caracterización de asfaltos como penetración y punto de ablandamiento. La modificación de las mezclas se realizó por vía húmeda. Las mezclas modificadas con desecho de PEBD experimentan mayor rigidez (bajo carga monotónica y cíclica) y resistencia a la deformación permanente en comparación con las convencionales. Sin embargo, la resistencia a fatiga de las mezclas convencionales disminuye cuando se adiciona PEBD al CA. Adicionalmente el CA modificado presenta mayor resistencia a la penetración, mayor punto de ablandamiento y menor susceptibilidad térmica a fluir que el convencional.

- **Rangel Dueñas, Leidy y Sarmiento Romero, Maira “INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS GRANULOMÉTRICAS Y MINERALÓGICAS DEL FILLER SOBRE LA RIGIDEZ DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS, BUCARAMANGA, COLOMBIA 2010”**



Las llenantes minerales poseen diversas características físicas y químicas que son poco estudiadas en la caracterización de materiales utilizados en las mezclas asfálticas. Características como la granulometría, mineralogía y forma de las partículas que contienen las llenantes son importantes al momento de estudiar la influencia que tienen en la rigidez de las mezclas asfálticas. Variar las propiedades de las llenantes minerales es una forma básica de determinar la variación de comportamiento y así observar la mejora que produce esta adición al asfalto en su estado natural.

En el estudio se escogieron tres materiales como llenantes minerales, con diferente mineralogía y se separaron en tres tamaños permitiendo observar la variación que se presenta en algunos ensayos incluyendo el ensayo de Poder Rigidizante, el cual determina el aumento de la rigidez del asfalto o ligante con la adición de llenante. También se realizó un análisis de la forma, textura y color de las partículas de los materiales en cada uno de los tamaños, observando la variación de estas características mediante un estereoscopio.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- **Ramirez Carrión, José Fabricio “EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE DIATOMITAS EN LA CUENCA AYACUCHO Y SUS IMPLICANCIAS ECONÓMICAS, 2012”**

La caracterización de las diatomitas se realiza mediante observaciones de campo e investigaciones de laboratorio comprendiendo estudios micropaleontológicos; ensayos físicos que determinan el peso específico, densidad seca y húmeda, porosidad y absorción; análisis químicos de multi elementos por fusión de metaborato de litio y difracción de rayos x. los resultados de esta investigación y la evaluación de sus recursos minerales permitirán orientar de manera científica y técnica, los usos y la producción de la diatomita en esta región.



2.2. PAVIMENTO

Los pavimentos para carreteras y vías urbanas están constituidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuestas por materiales seleccionados. Estas estructuras son diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales (función estructural). Asimismo, deben diseñarse con el fin de ofrecer un paso cómodo, seguro y confortable al tráfico que se imponga sobre su superficie en determinado período de tiempo (objetivo funcional). Las cargas dinámicas, que los vehículos que transitan sobre estas estructuras producen en las interfaces de las capas esfuerzos cíclicos normales, deformaciones verticales, horizontales y de corte. El pavimento se soporta sobre una subrasante natural o sobre una plataforma, que puede ser la subrasante mejorada, estabilizada, o un terraplén, que se denomina capa de conformación.

2.2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE

Las estructuras de pavimento del tipo flexible pueden ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase, afirmado y en algunos casos subrasante mejorada o material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante. Los esfuerzos que generan las cargas vehiculares se disipan a través de cada una de las capas de la estructura de tal forma que, al llegar a la subrasante, la resistencia mecánica del suelo que la compone debe ser capaz de resistir dicho esfuerzo sin generar deformaciones que permitan el deterioro funcional o estructural de la vía. Adicionalmente, cada una de las capas de la estructura debe resistir la influencia del medio ambiente. La capa asfáltica en un pavimento flexible está conformada por la capa de sellado, carpeta de asfalto y cubierta de unión; sin embargo, esta capa puede estar constituida únicamente por la capa de asfalto cuando los niveles de tránsito son bajos. Las principales funciones de la capa asfáltica son las siguientes:

•**Estructural:** Esta capa debe estar diseñada y construida de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanentes inducidas por las cargas cíclicas vehiculares que se repiten en el tiempo. Adicionalmente, debe resistir los efectos del clima.

•**Funcional:** Esta capa recibe de manera directa las cargas que circulan sobre la superficie del pavimento; por lo tanto, debe estar diseñada y construida de tal manera que permita la circulación cómoda y segura del parque automotor durante su vida útil (serviciabilidad).

•**Impermeabilización:** Esta capa impide la penetración directa del agua a las capas subyacentes, restringiendo la pérdida de resistencia al corte que puede experimentar las capas granulares de base y subbase, así como la subrasante cuando se incrementa el grado de saturación de los materiales que la conforman.

2.2.1.1. Pavimentos Flexibles Convencionales

Son un sistema de capas conformado por materiales de buena calidad en la parte superior capaces de soportar la intensidad del esfuerzo; y materiales de inferior calidad en la profundidad, donde la intensidad del esfuerzo es baja, en la figura siguiente se muestra una sección típica de un pavimento flexible convencional cual se compone en:



Figura 1. Sección típica de un pavimento flexible convencional
Fuente: Elaboración Propia



Capa de Sellado. – Delgada capa de asfalto y arena tratada previamente para impermeabilizar la superficie, proveer cierta resistencia al rodado y proveer una superficie resistente al deslizamiento.

Carpeta de Asfalto. - Es conformado por una Mezcla Asfáltica en Caliente, la cual también tiene una función de impermeabilización, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.

Cubierta de unión y principal. - Una ligera aplicación al asfalto para la unión, se usa generalmente emulsión asfáltica, tiene que cumplir tres requisitos para poder tener una buena funcionalidad: Debe ser delgada, debe cubrir toda la superficie y debe brindar adherencia entre la carpeta de asfalto y la base.

Base, Sub Base. – Capa debajo de la carpeta de asfalto, compuesto por piedra chancada, la función de ambas es transmitir las tensiones verticales al terreno de fundación, la razón que haya dos diferentes bases es la de economizar en diferentes materiales.

Terreno de Fundación. - Es el mismo suelo, que esta escarificado y compactado a una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza.



2.3. CARACTERISTICAS DE LAS CANTERAS

La utilización de materiales pétreos en las mezclas asfálticas tiene una funcionalidad esencial, puesto que para los factores de diseño (Flujo, Estabilidad, Porcentaje de Vacíos) las características de los agregados tienen un papel fundamental.

Se muestra las características de las canteras a evaluar para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, en este caso, los agregados con que la municipalidad provincial del Cusco viene trabajando; cantera de Morro Blanco; y cantera de Kunyac.

2.3.1. CANTERA DE KUNYAC

Esta Cantera se ubica aproximadamente a 69 km. de la ciudad del Cusco. De esta cantera se extrae material de origen Sedimentario, el cual se forma a partir de los restos de materiales de rocas formadas anteriormente sobre la superficie de la tierra, pasando por alteraciones y erosiones de las rocas por efecto del clima, la irradiación solar, los hielos y las lluvias. Este agregado presenta grava y arena, la grava esencialmente está compuesta por cantos rodados de cuarzo, areniscas cuarzosas, riolitas, y caliza, los que se catalogan como buenos materiales de construcción. Las arenas existentes se encuentran limpias o tienen muy poca cantidad de limos, arcillas, se observa la presencia de cuarzo y un color muy variado.



Figura 2: Ubicación de cantera Kunyac
Fuente: Propia



Según estudios anteriores mostramos el siguiente cuadro del análisis químico de la cantera en el cual se observa que la suma final no llega al 100% debido a la disolución de la muestra por ataque del reactivo a la muestra analizada.

Mineral	Porcentaje (%)
Sílice (SiO ₂)	62.40
Hierro (Fe ₂ O ₃)	4.80
Aluminio (Al ₂ O ₃)	2.17
Níquel (NiO)	0.03
Carbonato (CO ₃)	9.30
Calcio (CaO)	4.80
Magnesio (MgO)	0.90
Cloruros	0.014
Sulfatos	0.02
Disueltos	15.556

Tabla 1: Porcentaje Mineral correspondiente a la cantera Kunyac

Fuente: Tesis (Evaluación de los agregados de las canteras de Kunyac, Huambutio, HUILQUE, Vicho y Zurite para el diseño de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros)

2.3.2. CANTERA DE MORRO BLANCO.

Esta Cantera se ubica aproximadamente a 38 km. de la ciudad del Cusco. De esta cantera se extrae material de origen Sedimentario, el cual es explotado en forma Over, para posteriormente ser triturado y procesado para su utilización, donde al momento de ser triturado se separa en piedra chancada de $\frac{3}{4}$ " , piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " y arena chancada donde se utilizaron estas dos últimas para la investigación, este proceso se llevó acabo en la planta chancadora de la municipalidad del Cusco cuya ubicación es a aproximadamente a 21 km de la Ciudad del Cusco.



Figura 3 Ubicación de cantera Morro Blanco y Planta Chancadora
Fuente: Propia

2.4. CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.4.1. ESPECIFICACIONES DE AGREGADO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia.

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (Nº4 y Nº200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz Nº200.

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con



el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		<3000	>3000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx	15% máx
Abrasión de Los Ángeles	MTC E 207	40% máx	35% máx
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín	35% mín
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	15% máx	15% máx
Caras fracturadas	MTC E 210	Ver tabla N°3	
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx
Absorción	MTC E 206	1.0% máx	1.0% máx

Tabla 2: Requerimiento para los agregados gruesos de Mezclas Asfálticas en Caliente
Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones CE.010 Pavimentos Urbanos

CARAS FRACTURADAS		
TIPOS DE VÍAS	ESPESOR DE CAPA	
	<100 mm	>100 mm
Vías Locales y Colectoras	65/40	50/30
Vías Arteriales y Expresas	85/50	60/40

Tabla 3: Requerimiento para Caras Fracturas
Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones CE.010 Pavimentos Urbanos

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.



Ensayos	Normas	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		<3000	>3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	Ver tabla N° 5	
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx	8 máx
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	4% máx	NP
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4 mín	6 mín
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín	35 mín
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx
Absorción	MTC E 205	0.5% máx	0.5% máx

Tabla 4: Requerimientos para los Agregados Finos de Mezclas Asfáltica en Caliente
Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones CE.010 Pavimentos Urbanos

Tipos de Vías	Equivalente de Arena
Vías Locales y Colectoras	45 mínimo
Vías Arteriales y Expresas	50 mínimo

Tabla 5: Requerimientos del Equivalente de Arena
Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones CE.010 Pavimentos Urbanos

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico.

La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría (Gradación).

2.4.1.1. GRADACION

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones.



Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido las tablas de requerimientos, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznable. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

La gradación para la mezcla asfáltica en caliente (MAC), deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la siguiente tabla.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC 1	MAC 2	MAC 3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80-100	100	
12.5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9.5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4.75 mm (N°4)	43-54	51-68	65-87
2.00 mm (N°10)	29-54	38-52	43-61
425 µm (N°40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Tabla 6: Gradación de los Agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente
Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones CE.010 Pavimentos Urbanos

2.4.2. ASFALTO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la tabla a continuación:

Temperatura media anual			
24° C o mas	24° C-15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ,60-70 o modificado	60-70	85-100 ,120-150	Asfalto Modificado

Tabla 7 Selección de tipo de cemento asfáltico
Fuente: MANUAL DE CARRETERAS, Especificaciones técnicas para la construcción



El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a 175°C . El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes.

El cemento asfáltico debe cumplir con ciertos requisitos de calidad:



Grado	Tipo	Ensayo	Grado Penetración											
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300			
			min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso														
	Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300		
	Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177			
	Ductibilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100			
	Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0			
	Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1		
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾														
	Solvente Nafta – Estándar	AASTHO M	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
	Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
	Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2mm, 5h														
	Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0.8		0.8		1.0		1.3		1.5		
	Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+			
	Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100			

(1), (2) Ensayos opcionales para la evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado

(3) Si la ductibilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductibilidad a 15.5°C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Tabla 8 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS, Especificaciones técnicas para la construcción



2.4.3. FILLER PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

De acuerdo con ASTM (American Society of Testing and Materials), standard D-242. 70 % o más de las partículas del filler mineral pasan la malla N° 200.

El “filler” empleado en mezclas asfálticas es un material finamente molido o pulverizado, cuyo tamaño de partículas pasan por el tamiz N° 200. El término “filler” significa “rellenador o llenante”, debido a que inicialmente se consideraba a este material únicamente como un material de relleno de vacíos. Este concepto ha evolucionado y actualmente se considera al filler no simplemente como un material llenante sino como un material que al mezclarse íntimamente con el asfalto desempeña cierta actividad que modifica algunas de las propiedades del sistema.

Comúnmente el filler es considerado como parte del sistema de agregados. Sin embargo, al observar cualquier mezcla asfáltica, es claro que el filler realmente esta embebido en el ligante asfáltico, de tal forma que el “mástico” (Sistema filler-asfalto) está fijando o aglomerando los agregados gruesos (relativamente más grandes). Además, la naturaleza y cantidad de filler en la mezcla asfáltica es especialmente importante en ciertos tipos de mezclas asfálticas como las SMA (Stone Mastic Asphalt, Asfalto de masilla de piedra), en las cuales el filler mineral contribuye significativamente a la compactibilidad, impermeabilidad, durabilidad y desempeño en campo

2.4.3.1. INTERACCION FILLER – ASFALTO.

Las partículas de filler influyen la matriz de asfalto mediante dos mecanismos. En el primero la partícula absorbe una película de asfalto, requerida para cubrir la partícula. El volumen de asfalto adsorbido por este mecanismo puede considerarse como “Volumen de asfalto influenciado”. Esto significa que este volumen de asfalto es consumido en cubrir la partícula y que no contribuye a lubricar el flujo de la mezcla. El segundo mecanismo explica que el filler influye sobre un volumen adicional de asfalto que no es absorbido. La influencia del filler se refleja en aumento de la resistencia de la segunda capa no absorbida a través de un gradiente con el aumento de resistencia máximo

cercano a la capa adsorbida, y la resistencia decrece gradualmente a través del espesor de esta capa hasta casi desaparecer.

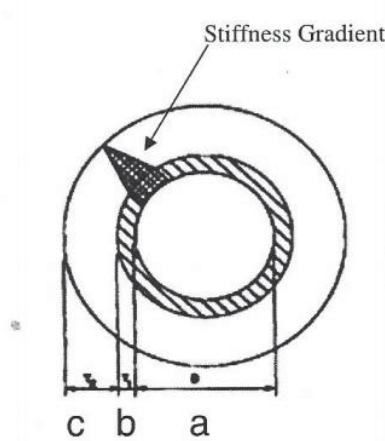


Figura 4. Esquema de interacción Asfalto – Filler

Fuente: Estudio del efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas

Donde:

- a: Diámetro de partícula de filler
- b: Película del asfalto que cubre la partícula
- c: Película de asfalto influenciada por la absorción

Las fracciones “a”, “b” y “c”, como se muestran en la figura anterior, son consideradas como una unidad incluida en la matriz de asfalto, como una partícula de resistencia efectiva. Estas unidades flotan en un exceso de asfalto causando este aumento en la resistencia. Este exceso de asfalto es llamado “Asfalto libre”.

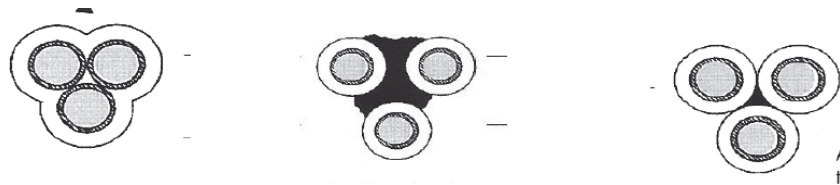


Figura 5: Unidades (partícula de filler y asfalto influenciado)

Flotando en el asfalto libre, a mayor relación filler/asfalto menor es la cantidad de asfalto libre y mayor resistencia del sistema.

Fuente: Estudio del efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas



2.5. DIATOMITA

Las diatomitas son rocas sedimentarias y organogénicas, formadas por frustulas de diatomeas. Las frustulas están compuestas esencialmente por sílice amorfa (ópalo). Estos organismos aparecieron durante la transición del Cretáceo al Terciario y pueden formar colonias en agua dulce o salobre de acuerdo con su especie. Esta acumulación se produce en medios sedimentarios extensos y poco profundos, en los que el agua contiene abundantes nutrientes y sílice. Además, debe tratarse de medios protegidos de los aportes terrígenos, para que la acumulación sea suficientemente rica en los restos silíceos.

La diatomita es una sustancia no metálica compuesta esencialmente por sílice amorfa generada por la fosilización de organismos acuáticos microscópicos, el uso principal de esta es para la utilización de filtros para bebidas, siendo esa su principal aplicación en el mundo.

2.5.1. COMPOSICION MINERALOGICA Y QUIMICA DE LA DIATOMITA

Compuesta principalmente por el agrupamiento de iones de silicio y oxígeno, con algunas impurezas: ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

En cuanto a la composición característica de la Diatomita puede variar dependiendo de la zona donde se encuentre, generalmente están compuestos de la siguiente manera:

Composición	Nomenclatura	Porcentaje
Silicio	SiO_2	65 - 95%
Aluminio+ Hierro	Fe_2O_3	0.2 - 8%
Álcalis	$\text{CaO} + \text{MgO}$	0.1 - 7%
	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	0 - 5%
Materia Orgánica	$\text{H}_2\text{O} + \text{Materia orgánica}$	4 - 15%

Tabla 9. Composición mineralógica y química de la Diatomita.
Fuente: Compendio de Rocas y Minerales industriales en el Perú



2.5.2. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA DIATOMITA

La propiedad más importante de la diatomita para la presente aplicación es su elevada porosidad, cuando esta seca es muy liviana y es capaz de absorber y retener gran cantidad de agua.

Sus principales características y propiedades son:

- Aspecto macroscópico: Roca fina y porosa con aspecto margoso.
- Color: Blanco (alta pureza o calcinado), rosa (calcinado) o gris (sin calcinar).
- Porosidad: Alta.
- Densidad: Baja.
- Capacidad: Muy alta para absorber líquidos.
- Capacidad abrasiva: Suave.
- Conductividad térmica: Muy baja.
- Resistencia a la temperatura: Alta
- Punto de fusión: Entre 1400° a 1750°C.
- Peso específico: 2.3
- Área superficial: 10 a 30 m²/g
- Índice de refracción: 1.4 – 1.46
- Dureza (Mohs): 4.5 a 5
- Químicamente inerte.

2.5.3. CONDICIONES AMBIENTALES DE FORMACIÓN

Las diatomitas son un grupo de algas unicelulares que pertenecen a la clase Bacillariophyceae(ver anexos), y son organismos acuáticos, que en ocasiones pueden adaptarse o resistir a ciertas condiciones de sequedad, se encuentran en ambientes marinos restringidos, mares abiertos y lagos.

La diatomita habita en la zona Fótica de lagos y mares (Zona donde la luz del sol penetra), usualmente en los 50 a 100 metros superiores, con



concentraciones de varios cientos a varios millones, dependiendo de la zona, las diatomitas extraen la sílice del agua para poder crear sus caparazones que están constituidos de sílice opalina que se caracteriza por no ser de estructura cristalina.

Los depósitos de diatomita se originan por la sedimentación de las frústulas de sílice de las diatomeas, las épocas más propicias para que se originen depósitos fueron aquellas donde hubo mucha actividad volcánica, cual emitía cantidades inmensas de sílice, esta se almacenaba dentro de los océanos y mares.

2.5.4. USOS

La aplicación de la diatomita necesita tratamiento previo por calcinación (Cocción 800- 1000 °C), y para su activación en diferentes campos (Cocción cerca de 1000 – 2000°C con adición de fundentes). Los usos y aplicaciones de las diatomitas son diversos destacando entre ellos:

a. Filtrado de líquidos, aceites y grasas.

La diatomita tiene un excelente poder filtrante aquellas de mejor calidad se utiliza para la filtración de líquidos, de preferencia las que tengan las frústulas enteras, cuando la diatomita esta con arcilla no se usa como filtrante. También se usa como separador de sustancias líquidas, como jugos de caña para la elaboración de azúcar. En el Perú la diatomita utilizada es de importación, aunque también se tiene depósitos de alta pureza, como en Arequipa, Ayacucho, cuales aún no están siendo explotadas.

b. Industria de la construcción

Se usa como aditivo en el concreto, pues mejora su trabajabilidad, disminuye el exceso de agua previniendo segregación, aumenta significativamente la impermeabilidad, también se usa para estucos en yeso, y adicionante de cal, morteros y cemento.



c. Abrasivo

Como material abrasivo se usa para pulir superficies metálicas, también se usa para la fabricación de algunos jabones, y productos de limpieza, y para producir la fricción entre las cabezas de los fósforos y la sustancia que se coloca en las fajas de las cajas para frotarlo.

d. Absorbente

Se usa como absorbente mezclado con líquidos, la diatomita tiene la capacidad de absorber de 150 a 200% de su peso en agua sin perder su forma, cualidades que se aprovechan tanto en la industria de desinfectantes como la industria agrícola para la absorción de ácidos, bromo y otros productos

e. Aislante

La diatomita se utiliza como aislador de sonido y calor, en bloques cerrados mezclados con morteros de arcilla, o fabricación de empaquetaduras para protección de tuberías, sistemas de refrigeración y calefacción.

f. Otros

Se utiliza para mezclas con pintura, esmaltes, kerosene, cosméticos, jabones, entre otros, para poder dar un soporte a sus propiedades.

Lorenz y Gwosdz (2004) señalan especificaciones de las materias primas (valores guía) en su manual Geológico - Técnico para minerales de construcción; es así que para la utilización adecuada de la diatomita se requiere determinar:

- Composición química y mineralógica
- Distribución granulométrica
- La forma de las diatomeas con microscopio
- El grado de blancura
- Densidades aparentes y en húmedo
- Poder filtrante.



CAPITULO 3

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

- Según el nivel de investigación, es **Descriptiva** pues señala como es y cómo se manifiesta el fenómeno y busca especificar propiedades importantes para medir y evaluar el efecto que tiene el filler de diatomita en la mezcla asfáltica en caliente.
- Según el tipo de investigación es **Deductiva (Cuantitativa)** ya que se establece una hipótesis a través de la observación (que el filler de diatomita afecta de manera positiva a la mezcla asfáltica en caliente); y lo verificamos o demostramos a través de medios experimentales (a través de ensayos de laboratorio – ensayo Marshall)

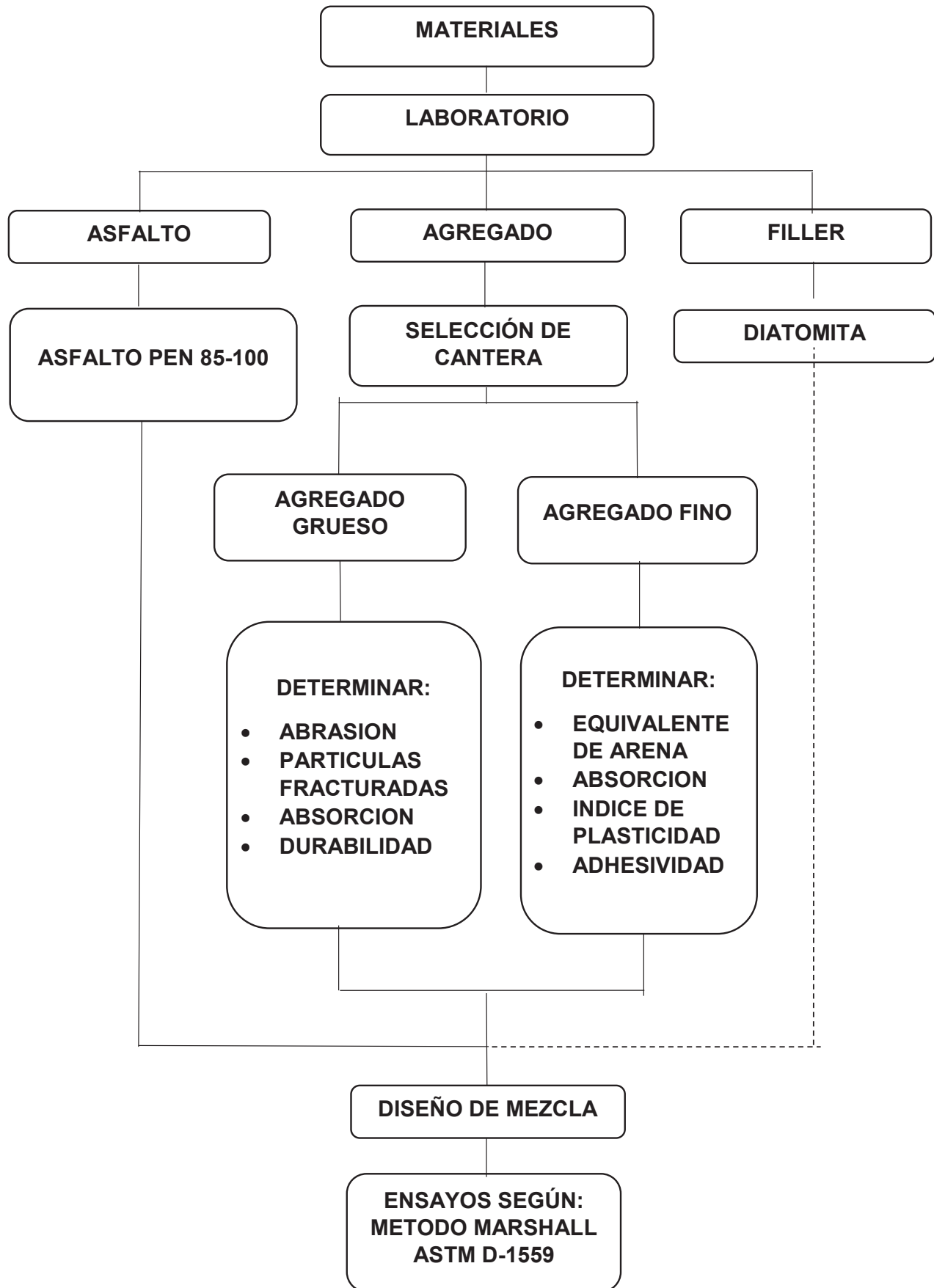
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACION

- Según el diseño de investigación es **Experimental**, Donde se manipula una variable independiente (filler de diatomita) y se analizan los efectos posteriores de una variable dependiente (factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente); puesto que el estudio se basa en hechos donde se mantendrá una equivalencia de los casos de estudio y se aplica el control y validez interna.

Para mantener la equivalencia de dicho caso, se mantuvo la muestra de origen de la misma forma, no se hizo modificaciones en ambas partes comparativas de investigación, conllevando a tener una misma curva granulométrica para estudios de adición de diatomita como filler; para poder adicionar dicho material, en el primer caso se hizo de manera convencional (Diseño de mezcla), y para la segunda parte se reemplazó la diatomita como filler en lugar de los finos (pasantes tamiz N° 200), así de esta manera no se alterara la curva granulométrica y se puede hacer el análisis comparativo.



3.3. FLUJOGRAMA





3.4. POBLACION DE ESTUDIO

- La población del agregado abarca la ciudad del Cusco dentro de las cuales encontramos diferentes tipos de agregados diferenciados por sus propiedades, existen diferentes zonas de donde extraer agregado, como de canteras, ríos, triturados, etc.
- La población de la diatomita se encuentra en la Región sur del Perú, de dentro de los cuales se halla diatomitas con diferentes composiciones químicas. Teniendo en cuenta que el contenido de silice de las diatomitas analizadas fueron bajas, se optó por hacer uso de la diatomita comercial con 95% de silice.

3.5. UNIDAD DE ANALISIS

- La unidad de análisis dentro de los agregados abarca a las canteras de la provincia del Cusco, dentro de ellas tenemos varias como son: Vicho, Zurite, Kunyac, Písaq entre otros.

3.6. SELECCIÓN DE MUESTRA

- La muestra del agregado se obtuvo de la cantera de Morro Blanco (Pisac) que es de origen fluvial, ubicado a 2.5 km del Distrito de Pisac, Provincia de Calca, Departamento del Cusco.
- La muestra para agregado fino se utilizó de la cantera de Kunyac siendo una cantera de buenos materiales.
- La muestra de diatomita se evaluó de acuerdo a su composición química, por consiguiente, se analizó diatomita de canteras diferentes de las cuales, su contenido de silice fue demasiado bajo, por lo que se optó por la diatomita comercial proveniente de Arica, denominada Diactiv12 (Ver anexos).
- La muestra del cemento asfáltico será el Asfalto PEN 85-100.



3.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES INDEPENDIENTE	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo influye el filler de diatomita en los factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente mediante método Marshall en el laboratorio de Mecánica de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ciudad del Cusco, 2016-2017? 	<ul style="list-style-type: none"> Establecer la influencia del filler de diatomita en los factores de diseño de la mezcla asfáltica de diseño y propiedades físico-mecánicas en caliente mediante método Marshall en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ciudad del Cusco, 2016-2017. 	<ul style="list-style-type: none"> El filler de diatomita mejora los factores de diseño y propiedades físico-mecánicas en caliente mediante método Marshall en el laboratorio de suelos de la escuela profesional de Ingeniería Civil, ciudad del Cusco, 2016-2017. 	<ul style="list-style-type: none"> Filler de Diatomita 	<ul style="list-style-type: none"> Según el nivel de investigación, es Descriptiva pues señala como es y cómo se manifiesta el fenómeno y busca especificar propiedades importantes para medir y evaluar el efecto que tiene el filler de diatomita en la mezcla asfáltica en caliente.
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> P.E.1. ¿Los materiales pétreos usados en la investigación cumple con los requisitos mínimos que piden la norma de pavimentos urbanos? P.E.2. ¿Cuál es el análisis comparativo en Propiedades físico-mecánicas entre la mezcla asfáltica en caliente con filler y sin filler de diatomita mediante el método Marshall? P.E.3. ¿Cómo influye el filler de diatomita en la Estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente? P.E.4. ¿Cuál es la incidencia del filler de diatomita en el Flujo de la mezcla asfáltica en caliente? P.E.5. ¿Cómo influye el filler de diatomita en el Porcentaje de Vacíos de la mezcla asfáltica en caliente? 	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> O.E.1. Determinar si los materiales cumplen los requisitos mínimos dados por la norma de pavimentos urbanos. O.E.2. Obtener un análisis comparativo en Propiedades físicas-mecánicas entre la mezcla asfáltica en caliente con filler y sin filler de diatomita. O.E.3. Analizar las incidencias del filler de diatomita en la Estabilidad que tendrá en la mezcla asfáltica en caliente. O.E.4. Determinar la incidencia del filler de diatomita en el Flujo de la mezcla asfáltica en caliente. O.E.5. Establecer la influencia del filler de diatomita en el Porcentaje de Vacíos de la mezcla asfáltica en caliente. 	<p>VARIABLES DEPENDIENTE</p>	<p>VARIABLES DEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> Factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente. Propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica. 	<ul style="list-style-type: none"> Según el tipo de investigación es Deductivo (Cuantitativo) ya que se establece una hipótesis a través de la observación (que el filler de diatomita afecta de manera positiva a la mezcla asfáltica en caliente); y lo verificamos o demostramos a través de medios experimentales (a través de ensayos de laboratorio – ensayo Marshall)

Tabla 10: Matriz De Consistencia



CAPITULO 4

4. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

4.1. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

4.1.1. MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200

El objetivo del siguiente ensayo es determinar, por lavado con agua, la cantidad de material fino que pasa el tamiz de N° 200 en un agregado.

PROCEDIMIENTO

Se seca la muestra representativa en el horno, hasta que el peso sea constante. Este peso se utiliza como el peso seco original de muestra de ensayo. Con mucho cuidado, el agregado se lava con ayuda del tamiz N° 200, realizar este procedimiento hasta que el agua de lavado sea transparente. Retornar todo el material retenido y llevar a secar el agregado lavado hasta obtener un peso constante.

CALCULOS

Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 como sigue:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 μ m (N° 200) por lavado.

B = Peso seco de la muestra original, en gramos.

C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos.

RESULTADOS

MATERIAL	PORCENTAJE DE FINOS
Piedra chancada ½"- Morro Blanco	1.03%
Arena chancada – Morro Blanco	9.54%
Arena fina – Kunyac	1.34%

Tabla 11: Resultados de ensayo tamiz N° 200
Fuente: Elaboración propia

4.1.2. ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar, por medio de una serie de tamices la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra representativa seca de peso conocido.

PROCEDIMIENTO

Se usa el material ensayado y seco en el ensayo de material fino que pasa el tamiz N° 200. Se selecciona los tamices que requiere la gradación MAC-2. Encajar los tamices en orden descendente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Se efectúa el tamizado de forma manual.

Se determina el peso de la muestra retenida en cada tamiz.



Figura 6: Gradación de agregado grueso



Figura 7: Gradación de arena chancada



CALCULOS

Calcular el porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, sobre la base del peso total de la muestra inicial seca. Incluyendo el peso del material fino que paso el tamiz N° 200. Para finalmente realizar la curva granulométrica.

RESULTADOS

- Piedra Chancada 1/2"- Morro Blanco**

Tamiz	% Pasa Acumulado
1"	100.0
3/4"	99.6
1/2"	65.6
3/8"	34.7
N° 4	5.0
N° 10	2.8
N° 40	1.9
N° 80	1.6
N° 200	1.1
CAZUELA	0.0

Tabla 12 Resultados de ensayo granulométrico Agregado Grueso.
Fuente: Elaboración Propia

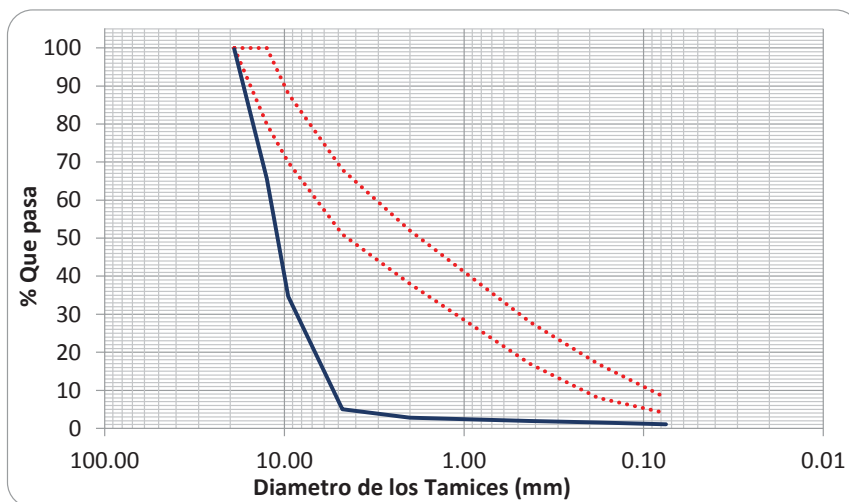


Gráfico 1: Curva granulométrica de Piedra Chancada
Fuente: Elaboración Propia



• **Arena Chancada – Morro Blanco**

Tamiz	% Pasa Acumulado
1"	100.0
3/4"	100.0
1/2"	100.0
3/8"	100.0
N° 4	91.4
N° 10	57.2
N° 40	27.6
N° 80	17.4
N° 200	10.0
CAZUELA	0.0

Tabla 13 Resultados de ensayo granulométrico Arena Chancada.
Fuente: Elaboración Propia

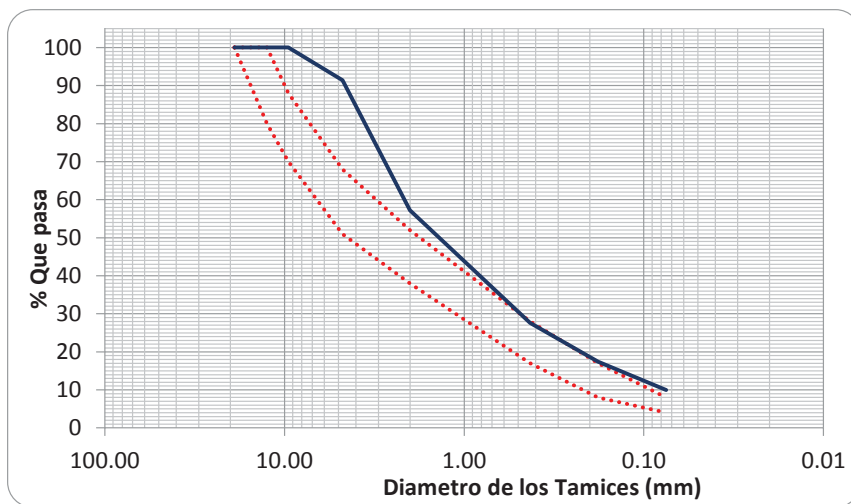


Gráfico 2: Curva granulométrica de Arena Chancada
Fuente: Elaboración Propia

• **Arena Fina - Kunyac**

Tamiz	% Pasa Acumulado
1"	100.0
3/4"	100.0
1/2"	100.0
3/8"	100.0
N° 4	99.6
N° 10	99.3
N° 40	68.1
N° 80	10.3
N° 200	1.8
CAZUELA	0.0

Tabla 14 Resultados de ensayo granulométrico Arena Fina
Fuente: Elaboración Propia

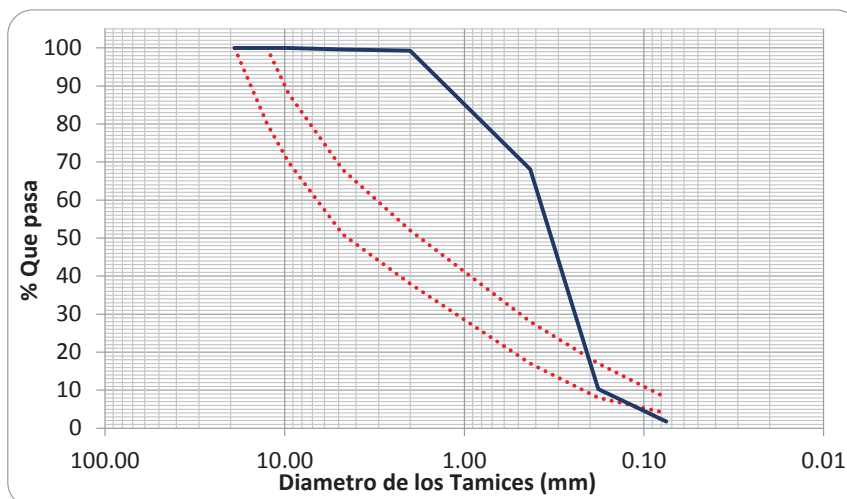


Gráfico 3: Curva granulométrica de Arena Fina.
Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

PROCEDIMIENTO

Una muestra representativa de aproximadamente de 1kg. se lleva al horno durante 24 horas, luego se hace remojar la muestra en agua por 24 horas. Cuidadosamente se decanta el agua excedente y en una bandeja se deja secar hasta que al ser introducido en un molde cónico y golpear la superficie, 25 veces con una varilla; al sacar el molde cónico el agregado fino se desprende. Significa que se alcanzó la condición de saturada con superficie seca. Una vez alcanzada la condición de saturada con superficie seca se extrae una muestra de 500gr y se registra este peso como S.

Introducir agua en el picnómetro hasta la alcanzar la marca de 500cm^3 , con ayuda de la bomba de vacíos eliminar el aire atrapado y registrar este peso como B.

Introducir en el picnómetro, la muestra de agregado fino saturado con superficie seca, posteriormente llenar con agua hasta un poco antes de la marca, con ayuda de la bomba de vacíos se elimina el aire atrapado, se completa agua hasta que se alcance la marca de los 500cm³, se lleva a la balanza y este peso se registra como C.

Finalmente, con cuidado se extrae el agua junto con la muestra del picnómetro, se hace evaporar al aire y luego se seca en el horno y se registra este peso como A.



Figura 8: Obtención del Peso Saturado con Superficie Seca
Fuente: Propia



Figura 9: Eliminación de los vacíos mediante la bomba de vacíos
Fuente propia

CALCULOS

Peso específico aparente

$$Pe_{ap} = \frac{A}{B + S - C}$$

Peso específico nominal (Pe_{nom})

$$Pe_{nom} = \frac{A}{B + A - C}$$

Peso específico aparente (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{S}{B + S - C}$$



Absorción

$$A_b = \frac{S - A}{S} \times 100$$

RESULTADOS

Descripción	Arena Chancada	Arena Fina
Peso específico aparente	2.505	2.552
Peso específico aparente (SSS)	2.577	2.604
Peso específico nominal	2.700	2.692
Absorción	2.88%	2.04%

Tabla 15: Resultado del ensayo Peso Específico
Fuente: Elaboración propia

4.1.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso.

PROCEDIMIENTO

Una muestra representativa de agregado grueso se hace pasar por el tamiz N°4 y se utiliza el material retenido el cual debe ser aproximadamente de 2kg. se lleva al horno durante 24 horas. Sacada del horno se hace remojar la muestra en agua por 24 horas. Cuidadosamente se decanta el agua excedente y con ayuda de una franela se seca las superficies de los agregados hasta que pierda el brillo en las caras, lo cual significa que el agregado alcanzo la condición de saturada con superficie seca se extrae una muestra de 500gr y se registra este peso como S.

Introducir en la probeta agua hasta la alcanzar una marca determinada, se elimina los vacíos haciendo rotar la probeta y se registra este peso como B.

Introducir en la probeta la muestra de agregado grueso saturado con superficie seca, hasta un poco antes de la marca, de igual manera



haciendo rotar la probeta se elimina el aire atrapado, se completa agua hasta que se alcance la marca, se lleva a la balanza y este peso se registra como C.

Finalmente, con cuidado se extrae el agua junto con la muestra del picnómetro, se hace secar en el horno y se registra este peso como A.

CALCULOS

Peso específico aparente

$$Pe_{ap} = \frac{A}{B + S - C}$$

Peso específico nominal (Pe_{nom})

$$Pe_{nom} = \frac{A}{B + S - C}$$

Peso específico aparente (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{S}{B + S - C}$$

Absorción

$$A_b = \frac{S - A}{S} \times 100$$

RESULTADOS

Piedra Chancada-Morro Blanco	
Peso específico aparente	2.505
Peso específico aparente (SSS)	2.577
Peso específico nominal	2.700
Absorción	2.88%

Tabla 16: Resultado de ensayo Peso Específico
Fuente: Elaboración propia



4.1.5. ABRASION DE LOS ANGELES

El objetivo del siguiente ensayo es determinar la resistencia al desgaste utilizando la Máquina de Los Ángeles.

PROCEDIMIENTO

Se prepara una muestra representativa de acuerdo a la siguiente tabla, y se registra este peso como A.

MEDIDA DEL TAMIZ		MASA DEL TAMAÑO INDICADO			
		GRADACIÓN			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 ½"	1"	1 250±25	-	-	-
1"	¾"	1 250±25	-	-	-
¾"	½"	1 250±10	2 500±10	-	-
½"	⅜"	1 250±10	2 500±10	-	-
⅜"	¼"	-	-	2 500±10	-
¼"	Nº4	-	-	2 500±10	-
Nº4	Nº8	-	-	-	5 000±10
TOTAL		5000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10

Tabla 17: Cantidad de material de acuerdo a gradación
Fuente: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

Se elige el número de esferas a usarse de acuerdo a la siguiente tabla.

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3300±20
D	6	2500±15

Tabla 18: Carga correspondiente de acuerdo a la gradación
Fuente: Manual de ensayos de materiales

Se coloca la muestra de ensayo junto con las esferas de acero en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, se descarga el material de la máquina y se realiza una separación sobre el tamiz N° 12 se pesa el material retenido y se registra este peso como B.



Figura 10: Muestra usada (gradación B)



Figura 11: Numero de billas usadas (gradación B)

CALCULOS

Calcular la diferencia entre la masa inicial y final de la muestra, como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo.

RESULTADOS

Abrasión de los ángeles	
% de desgaste	29%

Tabla 19: Resultado de ensayo de abrasión
Fuente: Elaboración Propia



4.1.6. DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO

El objetivo del siguiente ensayo es determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de solución saturada sulfato de magnesio.

REACTIVO

Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio ($MgSO_4$) disuelta en agua. Se agita la mezcla completamente durante la adición del sulfato de magnesio y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar. Cuando se vaya a utilizar la solución deberá tener un peso específico entre 1.295 y 1.308.

PROCEDIMIENTO

Se prepara el agregado grueso para el ensayo, la muestra será de un peso tal como se indica en la tabla siguiente.

	Tamaño de los tamices				Peso (gr.)
	de	a	de	a	
Consistiendo	9.5mm	4.75mm	3/8"	Nº4	300±5
	19.0mm	9.5mm	3/4"	3/8"	1000±10
Consistiendo	12.5mm	9.5mm	1/2"	3/8"	300±5
	19.0mm	12.5mm	3/4"	1/2"	670±10
	37.5mm	19.0mm	1 1/2"	3/4"	1500±50
Consistiendo	25.0mm	19.0mm	1"	3/4"	500±30
	37.5mm	25.0mm	1 1/2"	1"	1000±50
	63.0mm	37.5mm	2 1/2"	1 1/2"	5000±300
Consistiendo	50.0mm	37.5mm	2"	1 1/2"	2000±200
	63.0mm	50.0mm	2 1/2"	2"	3000±300
Nota: Para tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en incrementos de 25.0 mm (1") para cada fracción.					7000±1000

Tabla 20: Peso de material de acuerdo a los tamices normalizados
Fuente: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016



Se lava y seca completamente la muestra de agregado grueso hasta obtener peso constante y se separa en los diferentes tamaños ya mencionados mediante tamizado. Se registra el peso de la muestra de ensayo y sus fracciones componentes y se coloca en envases individuales.

Se sumerge las muestras en la solución de sulfato de magnesio durante aproximadamente 16 a 18 h, de manera que la solución cubra a las muestras completamente.

Se tapan los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas.

Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir y se coloca en el horno hasta obtener peso constante. Se enfría la muestra a la temperatura ambiente y luego se vuelve a sumergir el agregado en la solución, evitando impacto que pueda ocasionar el quebramiento de las partículas. Este proceso se realiza unas dos a tres veces.

Después que ha sido eliminado el sulfato de magnesio, se seca cada fracción de la muestra hasta obtener peso constante y se registra. Se tamiza para cada tamaño apropiado de partícula, a través del tamiz que se indica a continuación.

TAMAÑO DEL AGREGADO				TAMIZ PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA	
de	a	de	a		
63mm	37.5mm	2 ½"	1 ½"	31.5mm	1 ¼"
37.5mm	19.0mm	1 ½"	¾"	16.0mm	5/8"
19.0mm	9.5mm	¾"	3/8"	8.0mm	5/16"
9.5mm	4.75mm	3/8"	Nº4	4.0mm	Nº5

Tabla 21: Tamices normalizados para determinar la pérdida
Fuente: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

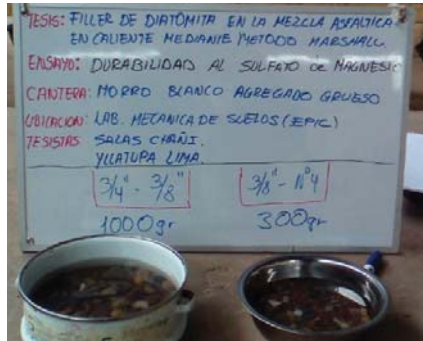


Figura 12: Muestra sumergida en la solución de sulfato de magnesio



Figura 13: Muestra seca después sumergida

CÁLCULOS

La diferencia entre el peso inicial de la fracción ensayada es la pérdida de peso y se expresa como porcentaje del peso inicial.

RESULTADOS

Durabilidad al sulfato de Magnesio	
% de perdida	9.67%

Tabla 22: Resultado de durabilidad al sulfato de Mg.
Fuente: Elaboración Propia

4.1.7. ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS

El objetivo es determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos.

REACTIVOS

Se hacen soluciones de carbonato sódico (Na_2CO_3), de concentraciones molares crecientes, M/256 a M/1, en agua destilada.

Las cantidades de carbonato sódico precisas se muestran en la siguiente tabla.

Molaridad	G de $\text{Na}_2\text{CO}_3/1$ disolución
M/256	0.414
M/128	0.828
M/64	1.656
M/32	3.312
M/16	6.625
M/8	13.25
M/4	26.5
M/2	53.0
M/1	106.0

Tabla 23: Soluciones de ensayo de adhesividad
FUENTE: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

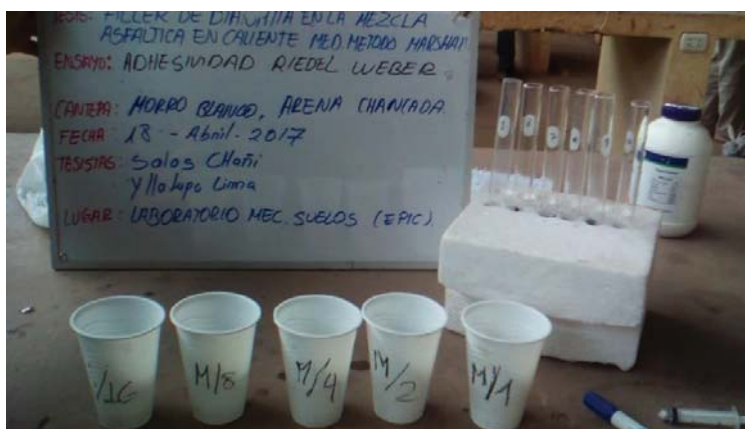


Figura 14: Preparación de las soluciones



PROCEDIMIENTO

Se separa una muestra representativa aproximadamente de 200g de agregado fino. Se tamiza esta muestra por los tamices N° 30 y N° 70, El material retenido entre estos dos tamices constituye la muestra para ensayo. Se lava este material sobre el tamiz N° 70 se lleva a secar al horno hasta obtener peso constante. Siendo asfalto el ligante bituminoso que se empleó, la mezcla agregado – ligante se realiza mezclando 71 volúmenes del agregado seco con 29 volúmenes de ligante (la relación correspondiente de masas se calcula a partir de las densidades respectivas). La temperatura de mezclado del asfalto se realiza desde 140°C hasta 175°C. Se mezclan el agregado y el asfalto, en las cantidades prescritas, a la temperatura requerida. Se agitan los materiales con una varilla de vidrio hasta conseguir una masa homogénea. Una vez preparada la muestra se deja enfriar a temperatura ambiente, durante aproximadamente 1 hora.

De la mezcla preparada, se pesan en la balanza once porciones de unos 0.50 g. que son introducidas a cada uno de los tubos de ensayo enumerados del 0 al 10. En el tubo de ensayo marcado con el número 0 se vierten, sobre los 0.5 g de mezcla, 6 cm³ de agua destilada y se marca en el tubo el nivel que alcanza la superficie libre del agua en aquél. Se sujeta el tubo de ensayo con la pinza de madera y se calienta sobre la llama de un mechero de gas, hasta ebullición suave del agua, ebullición que se mantiene durante 1 minuto.

Terminado el periodo de ebullición se restablece el volumen de líquido perdido por evaporación. Una vez realizado el ajuste del volumen, se agita el tubo de ensayo con su contenido, durante diez segundos. En seguida, se procede a la observación visual del aspecto que ofrece la mezcla agregado–ligante dentro del tubo de ensayo, juzgándolo con los siguientes criterios:

- a) El desplazamiento entre el ligante y el agregado se considera total cuando prácticamente todas las partículas del agregado aparecen limpias.



- b) El desplazamiento entre el ligante y el agregado se considera parcial cuando en las partículas del agregado aparecen zonas limpias, aunque se mantiene una cierta cohesión entre ellas.
- c) Para la apreciación de la adhesividad de una mezcla agregado-ligante, no se tendrá en cuenta el ligante que aparezca sobrenadando en la superficie del líquido durante la ebullición.

Si realizada la primera prueba, se observa que la adhesividad de la mezcla ligante-agregado es buena, se vuelve a repetir todo el proceso utilizando ahora, el tubo de ensayo marcado con el número 1, y si de misma manera se observa que la adhesividad de la mezcla ligante-agregado sigue siendo buena; se repite el proceso hasta que se obtenga un desplazamiento entre el ligante y el agregado sea total.

CALCULOS

La siguiente tabla relaciona las soluciones de carbonato sódico de concentración molar creciente con los índices de adhesividad de Riedel – Weber asignados a cada una.

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD RIEDEL – WEBER
Desplazamiento total con: Agua destilada	0
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

Tabla 24: Molaridad de las soluciones
FUENTE: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016



RESULTADOS

Material	Adhesividad Riedel-Weber
Arena Chancada-Morro Blanco	9
Arena Fina-Kunyac	7

Tabla 25: Resultado de ensayo de adhesividad
Fuente: Elaboración Propia

4.1.8. SALES SOLUBLES EN AGREGADOS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos.

PROCEDIMIENTO

Se separa una muestra representativa que se ajusta a la siguiente tabla.

AGREGADO PÉTREO	CANTIDAD MÍNIMA (g)	AFORO MÍNIMO (ml)
Grava 50–20mm	1000	500
Grava 20–5mm	500	500
Arena 20mm	100	500

Tabla 26: Cantidad mínima de agregado y aforo
Fuente: Manual de ensayos de materiales

Se seca la muestra en horno hasta obtener peso constante, se registra este peso como A.

Se coloca la muestra en un vaso de precipitado, donde se vierte agua destilada con volumen suficiente para cubrir la muestra y se hace hervir. Se agita durante 1 minuto, se repite esta agitación luego de 2 minutos, realizar este procedimiento, hasta completa 4 agitaciones.

Se decanta hasta que el líquido se aprecie transparente y traslade el líquido a otro recipiente. Se determina en dos tubos de ensayos, previamente llenados con el líquido, donde en uno se coloca gotas de nitrato de plata para determinar la presencia de cloruros, mientras que en el otro se coloca gotas de cloruro de plata para presenciar los sulfatos, donde en ambos casos se presenta un precipitado blanco si es que se tiene los químicos respectivos.

Se repite los pasos anteriores hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos.

Todos los líquidos acumulados llevarlo a un matraz aforado, se enrasa con agua destilada y se registra este aforo como B.

Se toma una alícuota de un volumen del matraz aforado y se registra su volumen como C.

Se cristaliza la alícuota en un horno y registre la masa como D.



Figura 15: Evaporación de la alícuota



Figura 16: Precipitado formado por el nitrato de plata y de bario respectivamente

CÁLCULOS

El cálculo está dado por la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{Cx_A}{DxB} - 1} \times 100\%$$

RESULTADOS

Material	Sales Solubles
Piedra Chancada ½" - Morro Blanco	0.03%
Arena Chancada-Morro Blanco	1.08%
Arena Fina-Kunyac	0.21%

Tabla 27: Resultado de Ensayo Sales Solubles
Fuente: Elaboración Propia



4.1.9. EQUIVALENTE DE ARENA

El objetivo de este ensayo es indicar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4.

INSUMOS

Stock de Solución:

- a) Cloruro cálcico Anhidro, 454g.
- b) Glicerina, 2050g.
- c) Formaldehído, 47g.

Se disuelve los 454 g de cloruro cálcico en 1.9 L de agua destilada. Se añade 2050 g de glicerina y 47 g de formaldehído a la solución filtrada, se mezcla y se aumenta agua destilada hasta completar los 3.8 L.



Figura 17: Solución STOCK

Solución de trabajo de cloruro cálcico: Se prepara la solución de trabajo diluyendo 85 ml del stock de la solución de cloruro cálcico para 3.8 L de agua destilada.

PROCEDIMIENTO

Se obtiene una muestra representativa del agregado fino a ensayar de aproximadamente de 1.5 kg.



Se coloca la solución de trabajo en una botella de 3.8 L, 91cm aproximadamente, encima de la superficie de trabajo, obteniendo de esta manera un sifón. Se llena las probetas con la solución de trabajo, con ayuda del sifón hasta las 4 plg.

Usando el recipiente de medida, mediante un embudo se llena las 3 probetas de ensayo con el agregado fino.

Se deja humedecer el material por 10 minutos, se afloja el material invirtiendo parcialmente la probeta. Se tapa la probeta, se sostiene en una posición horizontal y se agita en un movimiento horizontal de extremo a extremo, 90 ciclos en 30s.

Con ayuda del tubo irrigador, se limpia las partículas pegadas al tubo de ensayo y se completa la solución de trabajo hasta las 15 plg.

Dejar sedimentar los tubos de ensayo durante 20 minutos, pasado este tiempo se procede a tomar las medidas de lectura de arcilla y lectura de arena.



Figura 18: Lectura de Arena

CALCULOS

Se calcula el equivalente de arena como sigue:

$$SE = \left(\frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \right) \times 100$$

Dónde: SE=Arena equivalente



RESULTADOS

Material	Equivalente de Arena
Arena Chancada-Morro Blanco	52%
Arena Fina-Kunyac	79%

Tabla 28: Resultados de Ensayo Equivalente de Arena
Fuente: Elaboración Propia

4.1.10. PARTICULAS FRACTURADAS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el porcentaje, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas.

PROCEDIMIENTO

Una muestra representativa de agregado grueso se seca hasta obtener peso constante, posteriormente se tamiza por la malla N°4, hasta obtener material suficiente según la siguiente tabla.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL MUESTRA DE ENSAYO MÍNIMA mm (pulg.)	ABERTURA CUADRADA, MASA, gr
9.5 (3/8")	200
12.5 (1/2")	500
19.0 (3/4")	1500
250 (1")	3000
37.5 (1 1/2")	7500
50.0 (2")	15000
63.0 (2 1/2")	30000
75.0 (3")	60000
90.0 (3 1/2")	90000

Tabla 29: Peso requeridos para el ensayo
FUENTE: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

Se extiende la muestra de ensayo seca sobre una superficie larga, plana y limpia que permita una inspección cuidadosa de cada partícula.

Usando la espátula o herramienta similar, se separa en dos categorías: (1) partículas con una cara fracturada, (2) partícula con dos caras fracturadas.

Se determina la masa en cada categoría.

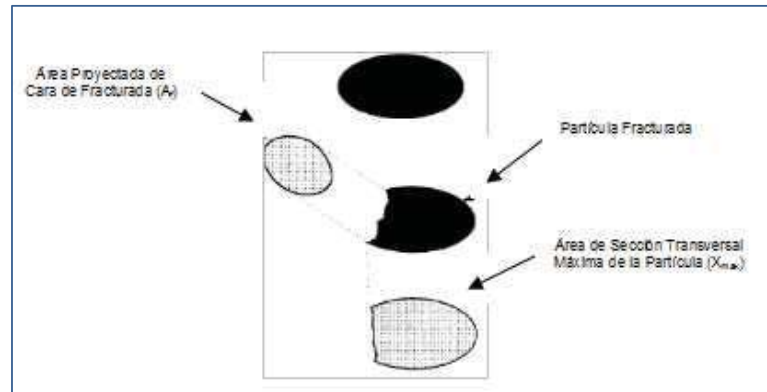


Figura 19: Esquema de una Partícula Fracturada con una Cara de fractura
FUENTE: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

CALCULOS

Se calcula por separado la masa de cada categoría y se rectifica de acuerdo a la granulometría original.

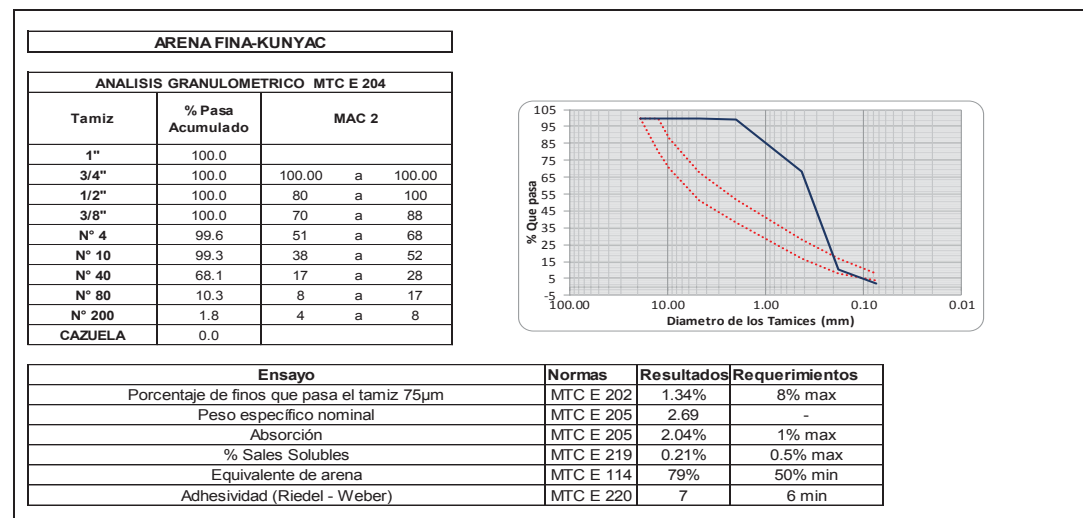
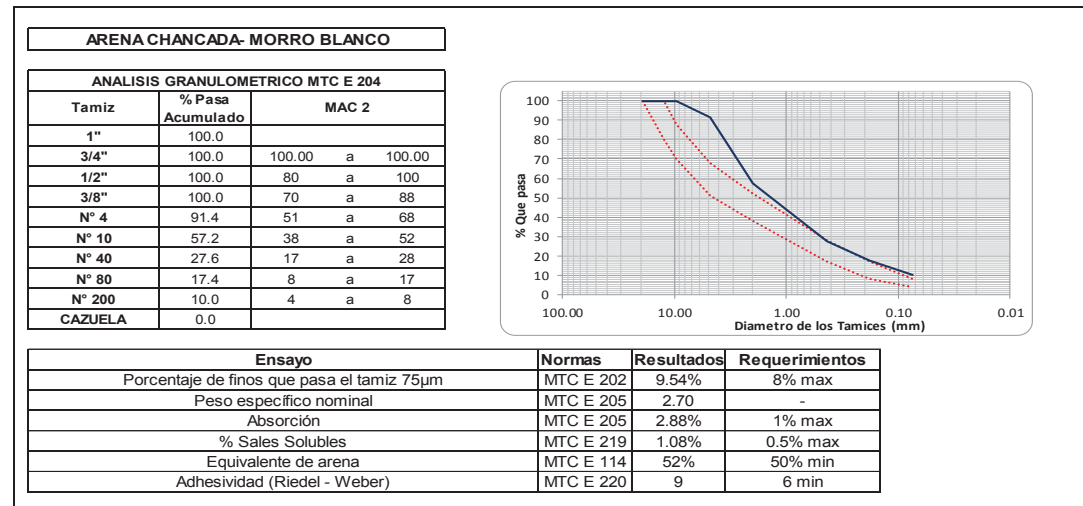
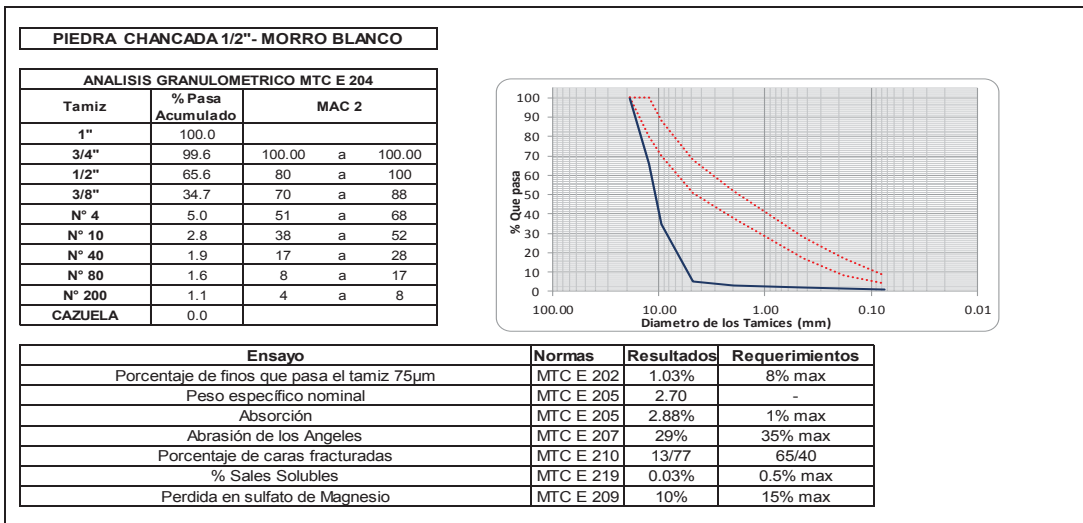
RESULTADOS

Partículas Fracturadas	
% de partículas	13/77

Tabla 30: Resultado de Ensayo Partículas Fracturadas
Fuente: Elaboración Propia



4.1.11. RESUMEN





4.2. CARACTERISTICAS DEL ASFALTO

4.2.1. PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

EQUIPOS

Aparato de penetración. Es aceptable cualquier aparato que permite al sostén de la aguja moverse verticalmente sin fricción.

Aguja de Penetración. Deberá estar hecha de acero inoxidable templado y totalmente endurecida.

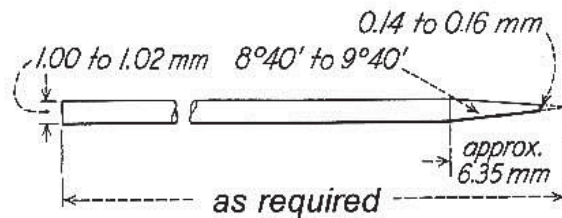


Figura 20: Dimensiones de la aguja
Fuente: Manual De Ensayo De Materiales Mtc 2016

PROCEDIMIENTO

Se prepara los especímenes de prueba, tomando las precauciones necesarias para que la muestra sea homogénea y representativa. La cual se hace calentar hasta alcanzar fluidez para vaciar en las probetas.

Se deja enfriar al aire las probetas a una temperatura entre 1 a 1.5 horas.

Se deja remojar las probetas en agua a 25°C

Se examina la aguja para establecer la ausencia de agua u otro material extraño. Se coloca la aguja de penetración en el Penetrómetro, Se asegura que el aparato está nivelado.

Se lleva el punto a cero. Se posiciona la aguja lentamente bajándola hasta que la punta roce con la superficie de la muestra. Se suelta la aguja durante 5 segundos y se toma lectura del dial, el cual mide la distancia penetrada en décimas de milímetro.



Se hace por lo menos tres determinaciones en cada muestra y se considera un promedio para cada caso.



Figura 21: Ensayo de Penetración

CALCULOS

Calcular el promedio de las tres penetraciones ejecutadas sobre la muestra de ensayo.

RESULTADOS

MATERIAL	PENETRACIÓN
Asfalto	89.33

Tabla 31: Resultado de ensayo de penetración
Fuente Elaboración propia

4.2.2. DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar la ductilidad de los materiales asfálticos.

EQUIPOS

Placa. Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, con la forma y dimensiones que se detallan en la siguiente figura.

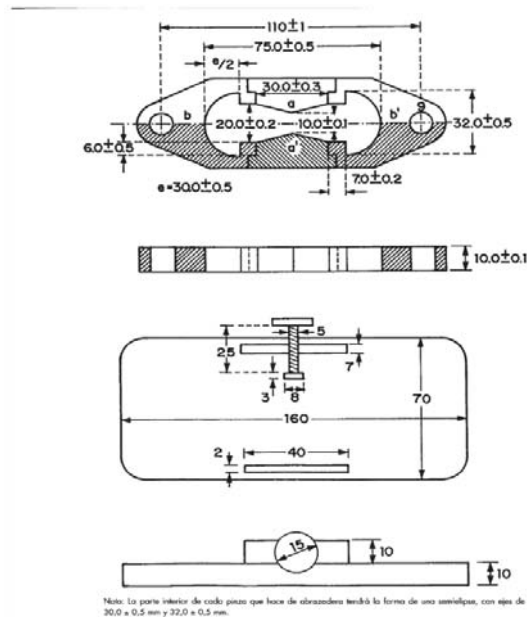


Figura 22: Molde y placa para ductilómetro
Fuente: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

Ductilómetro. El aparato se denomina ductilómetro y en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen los especímenes, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo.

PROCEDIMIENTO

Se hace calentar una muestra representativa de asfalto y se llenan los moldes de bronce completamente, se enrasan y se deja enfriar a temperatura ambiente, durante 30 minutos.



Posteriormente se colocan los moldes llenos de asfalto en el ductilometro, lleno de agua a temperatura de 25°C, se deja remojando durante 90 minutos, encender el equipo, el cual estira las muestras a una velocidad de 5 cm/min y se registra la longitud en centímetros, en la que cada muestra alcanza la ruptura.



Figura 23: Ensayo de Ductilidad

CALCULOS

Calcular el promedio de tres pruebas.

RESULTADOS

MATERIAL	DUCTILIDAD
Asfalto	167.67cm

Tabla 32: Resultado de ensayo de ductilidad
Fuente: Elaboración Propia



4.2.3. PESO ESPECIFICO DE MATERIALES BITUMINOSOS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el peso específico del asfalto.

PROCEDIMIENTO

Se toma una muestra representativa y representativa de asfalto, se pesa y se registra este peso como A.

Se llena un picnómetro o probeta con agua hasta una marca conocida evitando que haya vacíos dentro de esta, se pesa y se registra este peso como B

Se coloca el asfalto dentro del picnómetro o probeta y se llena con agua hasta que se alcance la marca, de igual manera, se evita que haya vacíos y se registra este peso como C.

CALCULOS

Calcule la densidad relativa lo más cercana a 0,001; como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(A + B - C)}$$

Donde:

A = Masa del asfalto

B = Masa del picnómetro llenado con agua.

C = Masa del picnómetro con asfalto más agua.

RESULTADOS

MATERIAL	PESO ESPECIFICO
Asfalto	1.018

Tabla 33: Resultado de ensayo de peso específico asfalto
Fuente: Elaboración Propia



4.3. CARACTERISTICAS DE LA DIATOMITA

4.3.1. PESO ESPECÍFICO DE LA DIATOMITA

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el peso específico del asfalto.

PROCEDIMIENTO

Se toma una muestra homogénea y representativa de diatomita, se pesa y se registra este peso como A.

Se llena un picnómetro con agua hasta la marca de 500 cm³ y con la ayuda de la bomba de vacíos se extraen estos, se pesa y se registra este peso como B. Se coloca la muestra de diatomita dentro del picnómetro y se llena con agua hasta que se alcance la marca, de igual manera se extra los vacíos con la bomba y se registra este peso como C.



Figura 24: Picnómetro más diatomita más agua

CALCULOS

Se calcula el peso específico mediante:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(A + B - C)}$$

A = La masa de los sólidos de suelo secadas al horno.

B = La masa del picnómetro y agua.

C = La masa del picnómetro, agua y diatomita.

RESULTADOS

MATERIAL	PESO ESPECIFICO
Diatomita	2.31

Tabla 34: Resultado de ensayo de peso específico diatomita
Fuente: Elaboración Propia



CAPITULO 5

5. ANALISIS Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL

El análisis y diseño de la mezcla asfáltica en caliente demanda una serie de ensayos y requerimientos, para poder obtener propiedades físico mecánicas y también factores de diseño.

5.1. ANÁLISIS DE MATERIALES PÉTREOS

En el capítulo cuatro se realizó un estudio detallado de los agregados, viendo sus características y propiedades, para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente se necesitan datos, como son la granulometría y peso específico. La granulometría se delimita por la gradación MAC -2 (mezcla asfáltica en caliente), la cual establece límites de porcentajes de agregado que se requerirá para el diseño. El peso específico de los agregados se utiliza para la obtención del peso específico Bulk de la mezcla y de los agregados, cuales consecuentemente determinar factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

Las otras características como abrasión, durabilidad, adherencia, entre otros; son requerimientos que tiene la norma para que dichos agregados puedan desempeñarse de manera efectiva y verificar si los agregados a usarse en el diseño son de buena calidad o no.

La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría, ya antes especificada de acuerdo a la gradación, la cual se determinó con anterioridad haciendo análisis granulométrico respectivo de cada material.



5.1.1. AGREGADO GRUESO

Revisando de acuerdo a la normativa, y también a los ensayos realizados tenemos la granulometría cual se muestra a continuación

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado	MAC 2
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	
3/4"	19.00	12.0	11.99	0.36	0.36	99.6	100.00 a 100.00
1/2"	12.50	1134.0	1133.32	34.01	34.37	65.6	80 a 100
3/8"	9.50	1032.0	1031.38	30.95	65.33	34.7	70 a 88
N° 4	4.75	990.0	989.41	29.69	95.02	5.0	51 a 68
N° 10	2.00	72.0	71.96	2.16	97.18	2.8	38 a 52
N° 40	0.43	30.0	29.98	0.90	98.08	1.9	17 a 28
N° 80	0.18	12.0	11.99	0.36	98.44	1.6	8 a 17
N° 200	0.075	16.0	15.99	0.48	98.92	1.1	4 a 8
CAZUELA	0.00	36.0	35.98	1.08	100.00	0.0	
		3334.0	3332.00	100.00			

Tabla 35 Análisis granulométrico de la piedra chancada de 1/2" - Cantera Morro Blanco
Fuente: elaboración propia

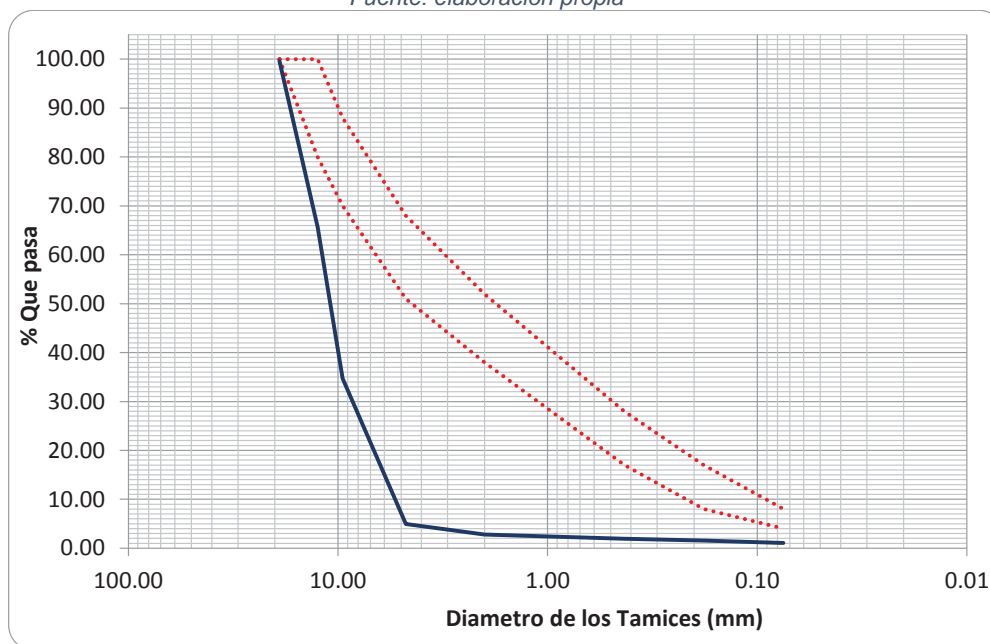


Gráfico 4: Curva granulométrica de la piedra chancada de 1/2" - cantera Morro Blanco
Fuente: elaboración propia



5.1.2. AGREGADO ARENA CHANCADA

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado	MAC 2
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00 a 100.00
1/2"	12.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	80 a 100
3/8"	9.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	70 a 88
N° 4	4.75	95.0	95.09	8.63	8.63	91.4	51 a 68
N° 10	2.00	376.0	376.34	34.15	42.78	57.2	38 a 52
N° 40	0.43	326.0	326.30	29.61	72.39	27.6	17 a 28
N° 80	0.18	112.0	112.10	10.17	82.56	17.4	8 a 17
N° 200	0.075	82.0	82.07	7.45	90.01	10.0	4 a 8
CAZUELA	0.00	110.0	110.10	9.99	100.00	0.0	
		1101.0	1102.00	100.00			

Tabla 36: Análisis granulométrico de la arena chancada – Cantera Morro Blanco
Fuente: Elaboración propia

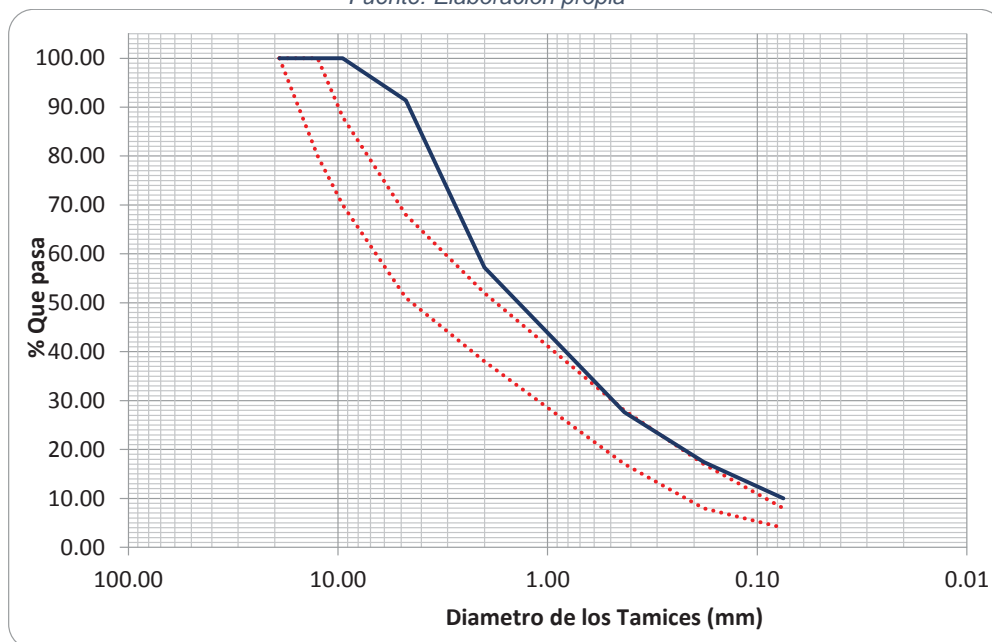


Gráfico 5: Curva granulométrica de la arena chancada- cantera Morro Blanco
Fuente: elaboración propia



5.1.3. AGREGADO ARENA FINA

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado	MAC 2
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00 a 100.00
1/2"	12.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	80 a 100
3/8"	9.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	70 a 88
N° 4	4.75	6.0	6.03	0.44	0.44	99.6	51 a 68
N° 10	2.00	4.0	4.02	0.30	0.74	99.3	38 a 52
N° 40	0.43	422.0	423.87	31.17	31.91	68.1	17 a 28
N° 80	0.18	782.0	785.47	57.75	89.66	10.3	8 a 17
N° 200	0.075	116.0	116.51	8.57	98.23	1.8	4 a 8
CAZUELA	0.00	24.0	24.11	1.77	100.00	0.0	
		1354.0	1360.00	100.00			

Tabla 37 Análisis granulométrico de la arena natural – Cantera Kunyac
Fuente: Elaboración propia

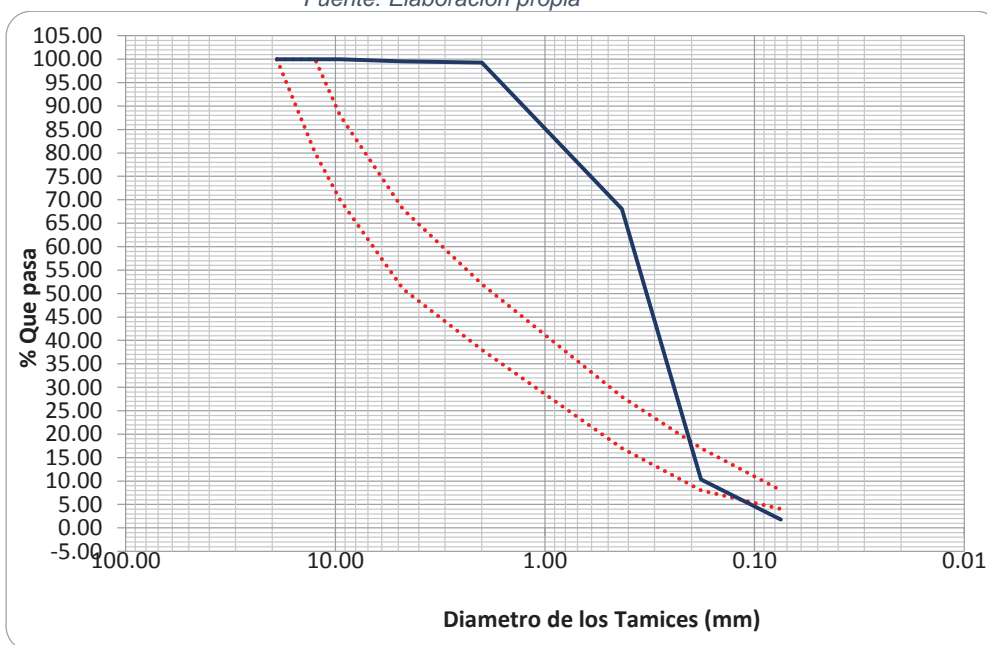


Gráfico 6: Curva granulométrica de la arena fina- cantera Kunyac
Fuente: Elaboración propia

5.1.4. CURVA GRANULOMETRICA COMBINADA.

El proceso para la obtención de la curva granulométrica combinada es dar diferentes porcentajes de agregados para que cumplan con los requisitos de la gradación MAC 2, llegando a la siguiente combinación.

- 50% de arena chancada
- 35% de agregado grueso
- 15% de arena fina



Tamiz	Diametro (mm)	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena fina	Combinado	MAC 2	
		35%	50%	15%			
1"	25.00	100.0	100.00	100.0	100.0		
3/4"	19.00	99.6	100.00	100.0	99.9	100.00	a 100.00
1/2"	12.50	65.6	100.00	100.0	88.0	80	a 100
3/8"	9.50	34.7	100.00	100.0	77.1	70	a 88
N° 4	4.75	5.0	91.37	99.6	62.4	51	a 68
N° 10	2.00	2.8	57.22	99.3	44.5	38	a 52
N° 40	0.43	1.9	27.61	68.1	24.7	17	a 28
N° 80	0.18	1.6	17.44	10.3	10.8	8	a 17
N° 200	0.075	1.1	9.99	1.8	5.6	4	a 8
CAZUELA	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0		

Gráfico 7 : Análisis granulométrico agregados combinados
Fuente: Elaboración propia

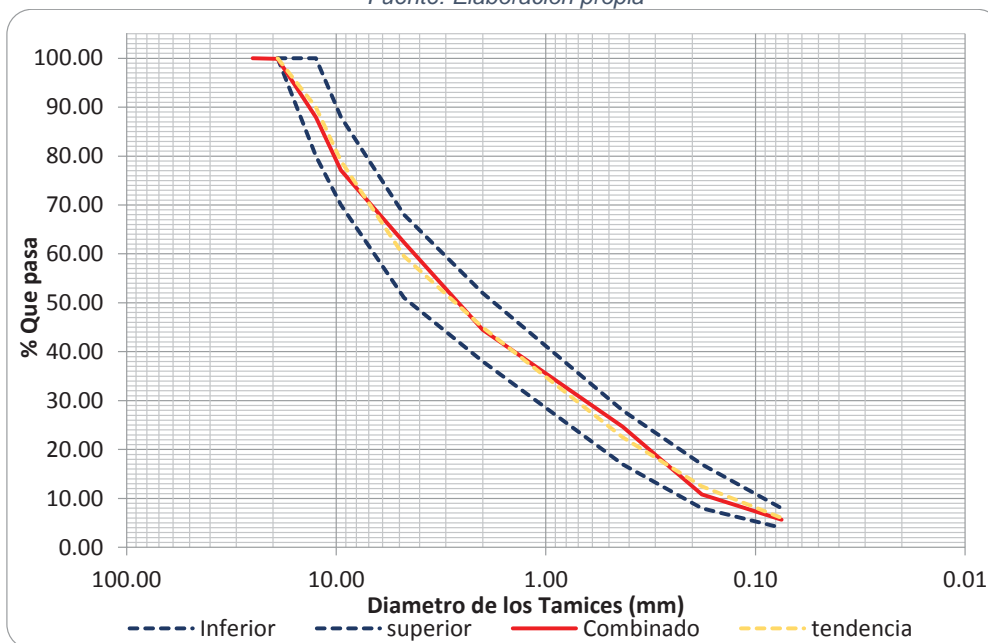


Gráfico 8: Curva granulométrica de los agregados combinados
Fuente: Elaboración propia



5.2. ELABORACION DE BRIQUETAS

PROCEDIMIENTO

Especímenes de Ensayo

Para empezar con el procedimiento se tiene que tener una distribución de peso de acuerdo a la gradación obtenida anteriormente cual muestra cuanto porcentaje de cada agregado deberá tener cada muestra:

- Agregado Grueso, 50%
- Arena Chancada, 35%
- Arena Fina, 15%

Una vez establecida los porcentajes se procede a realizar la distribución de pesos para una briqueta, la norma establece tener un peso fijado para dicha briqueta, el cual es de 1200 gramos, de acuerdo a esta se establecen pesos para los agregados y también para el bitumen.

Por ejemplo, para un porcentaje de 4.5 % de asfalto, primero se determina la cantidad en peso que se pondrá en asfalto, este da un valor de 54 gramos de bitumen, luego restando el porcentaje de asfalto ante el total de 100% de la mezcla se distribuirá en porcentajes del agregado. 1200 gramos menos 54 gramos del bitumen son 1146 gramos de distribución entre porcentajes del agregado mineral.

- Agregado Grueso 35%- Sera 368.64 gramos
- Arena Chancada 50% - Sera 540.91 gramos
- Arena Fina 15% - Sera 162.27 gramos

Seguidamente se hace calentar el bitumen a una temperatura aproximada de 140°C, independientemente lo mismo con el agregado hasta tener una temperatura de 5° mayor a la que se encontrará el asfalto; el control de temperatura es importante en esta parte para poder realizar el ensayo, también los accesorios como martillo compactador y moldes para las muestras se calientan a temperatura de 120 a 130 °C, esto con fines de facilidad de ensayo.

Al tener todo calentado se procede a combinar todo dentro de una cazuela grande que a su vez sigue siendo calentada por una cocina y/o mechero, para no perder temperatura; al mezclar todo tiene que llegar a ser homogéneo y uniforme para luego verter la mezcla dentro del molde de



compactado, ayudado por el martillo se hace el compactado de la muestra, cual está apoyado en una estructura de madera o metal, donde pueda contener el molde de compactado; 75 golpes son necesarios, ya que establecido por el diseño (Alto Trafico) establece hacerlos de forma uniforme y en tan solo 90 segundos, realizar dicho procedimiento, luego se vuelve a la muestra dentro del molde, ayudado con guantes y equipo misceláneo, se vuelve a repetir dicho procedimiento de 75 golpes para poder tener la muestra compacta.

Se saca la muestra del molde a partir de 30 a 45 minutos y se deja secar en temperatura ambiente.



Figura 25: Mezclado de Asfalto con Agregado



Figura 26: Compactación de probetas



5.3. ALTURA DE ESPECIMENES COMPACTADOS.

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el espesor (o altura) de los especímenes de mezclas compactada de pavimento bituminoso.

PROCEDIMIENTO

Cuando las muestras son compactadas y luego puestas a temperatura ambiente se espera un tiempo prudente para poder determinar el espesor de dicha muestra, cuando estas estén a temperatura ambiente se hace medición con ayuda de un vernier en tres zonas diferentes distribuidas equidistantes, esto para poder obtener un promedio de medidas, para tener medidas concretas se hace la medición tanto vertical como horizontalmente, esto nos da un resultado de tres mediciones de cada lado, se saca un promedio en general y se procede a apuntar en una hoja de cálculo.

La norma establece hacer una corrección para casos que las muestras estén desfasadas de medidas, para cálculos de Estabilidad, se muestra a continuación dichas correcciones.

Volumen del espécimen, cm ³			Espesor del espécimen			Razón de la correlación
			mm	Plg		
200	-	213	25.4	1.00	(1)	5.56
214	-	225	27	1.06	(1 1/16)	5
226	-	237	28.6	1.13	(1 1/8)	4.55
238	-	250	30.2	1.19	(1 7/37)	4.17
251	-	264	31.8	1.25	(1 1/4)	3.85
265	-	276	33.3	1.31	(1 14/45)	3.57
277	-	289	34.9	1.37	(1 3/8)	3.33
290	-	301	36.5	1.44	(1 7/16)	3.03
302	-	316	38.1	1.50	(1 1/2)	2.78
317	-	328	39.7	1.56	(1 9/16)	2.5
329	-	340	41.3	1.63	(1 5/8)	2.27
341	-	353	42.9	1.69	(1 31/45)	2.08
354	-	367	44.4	1.75	(1 3/4)	1.92
368	-	379	46	1.81	(1 73/90)	1.79



380	-	392	47.6	1.87	(1 7/8)	1.67
393	-	405	49.2	1.94	(1 15/16)	1.56
406	-	420	50.8	2.00	(2)	1.47
421	-	431	52.4	2.06	(2 1/16)	1.39
432	-	443	54	2.13	(2 1/8)	1.32
444	-	456	55.6	2.19	(2 7/37)	1.25
457	-	470	57.2	2.25	(2 1/4)	1.19
471	-	482	58.7	2.31	(2 14/45)	1.14
483	-	495	60.3	2.37	(2 3/8)	1.09
496	-	508	61.9	2.44	(2 7/16)	1.04
509	-	522	63.5	2.50	(2 1/2)	1
523	-	535	65.1	2.56	(2 9/16)	0.96
536	-	546	66.7	2.63	(2 5/8)	0.93
547	-	559	68.3	2.69	(2 31/45)	0.89
560	-	573	69.8	2.75	(2 3/4)	0.86
574	-	585	71.4	2.81	(2 73/90)	0.83
586	-	598	73	2.87	(2 7/8)	0.81
599	-	610	74.6	2.94	(2 15/16)	0.78
611	-	626	76.2	3.00	(3)	0.76

Tabla 38 Factores de Estabilidad de Correlación
FUENTE: Manual De Ensayo De Materiales MTC 2016

$$A = B \times C$$

Donde:

A = Estabilidad corregida.

B = Medida de la estabilidad (carga).

C = Razón de correlación de la tabla 33.

A: Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para 2 1/2" (63.5 mm) del espécimen.

B: La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4" (101.6 mm)



5.4. PESO ESPECÍFICO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS.

El objetivo de este ensayo es determinar el peso específico aparente y el peso unitario de especímenes de mezclas asfálticas compactadas, para emplearse únicamente con mezclas asfálticas compactadas de granulometría densa o que prácticamente no sean absorbentes.

PROCEDIMIENTO

Para especímenes completamente secos:

Los especímenes para ensayo pueden provenir de mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o de pavimentos asfálticos construidos, en este caso provienen de la compactación de briquetas de asfalto hechas en laboratorio

- **Peso en el aire del espécimen seco.** Se pesa el espécimen después de que haya permanecido al aire a temperatura ambiente, por lo menos durante 1 hora, este peso se apunta en una hoja de cálculo llamándose peso "A"
- **Peso del espécimen en agua.** Se pone el espécimen en un baño con agua a 25 °C entre 3 y 5 minutos y luego se somete bajo agua ayudado de un gancho con canastilla para la obtención del peso bajo el agua, para este procedimiento se engancha un anzuelo en la balanza, y luego se pesa por la parte de abajo, ayudado de una canastilla, este peso se registra como "C"
- **Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca.** Se saca rápidamente la muestra, luego con una toalla se seca, durante unos segundos, luego se pone encima de la balanza y se registra este peso como "B"



Figura 27: Probetas sumergidas para realizar el ensayo



Figura 28: Pesado de las probetas

CALCULOS

El peso específico aparente del espécimen será:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B - C}$$

Donde

A = Peso del espécimen seco en el aire, g.

B-C= Peso del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25°C.

B = Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca, g.

C = Peso del espécimen en agua, g

Para términos de diseño, se nombrara el peso específico aparente como el peso específico Bulk.



5.5. PORCENTAJE DE VACIOS DE MEZCLAS ASFALTICAS

El objetivo del siguiente ensayo es determinar el valor del porcentaje de vacíos en mezclas bituminosas compactadas densas y abiertas.

PROCEDIMIENTO

Las muestras para este ensayo serán de mezclas compactadas en laboratorio y núcleos de mezclas compactadas obtenido en campo.

Se determina el peso específico aparente de la mezcla compactada, una vez determinada a esta se le conoce como Peso Específico Bulk de la mezcla compactada; luego también se determina el Peso Específico Máximo Teórico, este hace referencia a que la mezcla compactada no tenga ningún vacío y todo esté completamente compactada, para poder obtener dicho valor, se realiza ensayos determinados por la norma, otra manera de obtener el P.E. máximo teórico es mediante formula, teniendo datos del peso especio total de los agregados y también el peso específico de él bitumen.

CALCULOS

Calcular el porcentaje de vacíos de una mezcla compactada bituminosa de pavimento como sigue:

$$PE \text{ bulk de agregados} = \left(\frac{100}{\frac{\% \text{ de Ag. Grueso}}{PE \text{ del Ag. Grueso}} + \frac{\% \text{ de Ag. Arena Chancada}}{PE \text{ del Ag. Arena Chancada}} + \frac{\% \text{ de Ag. Arena Fina}}{PE \text{ del Ag. Arena Fina}}} \right)$$

$$PE \text{ teorico maximo} = \left(\frac{100}{\frac{1 - \% \text{ de asfalto}}{PE \text{ bulk de agregados}} + \frac{\% \text{ de asfalto}}{PE \text{ del asfalto}}} \right)$$

$$\text{Porcentaje de vacíos de aire} = 100 \times \left(1 - \frac{pe \text{ bulk}}{pe \text{ teórico máximo}} \right)$$



5.6. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS.

El objetivo del ensayo es determinar, a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método Marshall.

PROCEDIMIENTO

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO.

Se ensayan un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además, tienen la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen, con métodos ya vistos, y también se medirá su espesor, para obtención de propiedades. Para empezar los ensayos se lleva los especímenes a una temperatura especificada (60°C) por inmersión en agua de 30 a 40 min.

En la prensa Marshall, se debe de limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo, también lubricarlas en caso se adhieran las muestras de ensayo

Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.

El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza

a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0.25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de 63.5 ± 2.5 mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen.



Figura 29: Prensa Marshall

5.7. ANALISIS DE DISEÑO DE MEZCLA

Una vez determinada la Estabilidad y Flujo Marshall se evaluará las características de los diferentes casos, obtenidos con cada uno de los porcentajes de asfalto estudiados, para lo cual se sigue el siguiente procedimiento:

Se promedia la densidad de todas las probetas con el mismo contenido de asfalto.

Utilizando el peso específico bulk de los agregados, el peso específico máximo teórico de la mezcla y peso específico del asfalto, se deduce

- El peso del cemento asfáltico absorbido por el agregado seco
- El porcentaje de vacíos en la mezcla total V_a .
- El porcentaje en el agregado mineral V.A.M.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto V.F.A.

$$\%VMA = 100 - \frac{(\%ag\ grueso + \%arena\ chancada + \%arena\ fina) \times PE_{bulkbr}}{PE_{bulkagtotal}}$$

$$\%VFA = \frac{100 \times (\%VMA - \%V_a)}{\%VMA}$$



		ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE																	
		METODO MARSHALL (ASTM D-1559)																	
Nro	Nro de Briquetas	4.5% de asfalto			5.0% de asfalto			5.5% de asfalto			6.0% de asfalto			6.5% de asfalto					
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
1	1% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.50%	33.43	33.43	4.50%	33.25	33.25	5.00%	33.08	33.08	5.50%	32.90	32.90	6.00%	32.73	32.73	6.50%	32.73	32.73
2	2% DE AGREGADO GRUESO MORRO BLANCO	47.75	47.75	47.75	47.50	47.50	47.50	47.50	47.25	47.25	47.25	47.00	47.00	47.00	46.75	46.75	46.75	46.75	46.75
3	3% DE AGREGADO TRITURADO MORRO BLANCO	14.33	14.33	14.33	14.25	14.25	14.25	14.18	14.18	14.18	14.10	14.10	14.10	14.03	14.03	14.03	14.03	14.03	14.03
4	4% DE AGREGADO NATURAL FINO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5% DE FILLER (PASA MALLA 200)	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
6	PESO ESPECIFICO DEL C.A.	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
7	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
8	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TRITURADO	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
9	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO NATURAL FINO	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
10	PESO ESPECIFICO DEL FILLER	6.35	6.40	6.40	6.20	6.30	6.50	6.55	6.40	6.40	6.25	6.30	6.23	6.30	6.33	6.27	6.27	6.27	6.27
11	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	1174.030	1159.790	1187.090	1179.770	1187.340	1180.140	1188.100	1179.720	1182.910	1179.500	1175.920	1177.350	1173.980	1193.920	1177.520	1173.920	1193.920	1177.520
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	1177.910	1161.580	1189.710	1185.420	1183.080	1188.100	1190.720	1178.170	1189.010	1180.370	1179.770	1188.720	1176.030	1195.820	1178.680	1176.030	1195.820	1178.680
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (gr)	663.000	651.730	675.220	675.680	675.340	677.420	681.190	680.740	683.970	684.800	682.120	686.780	678.700	684.070	677.400	678.700	684.070	677.400
14	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (gr)	514.910	509.850	514.990	511.740	507.690	510.680	509.530	497.430	505.040	495.570	497.650	501.940	497.330	511.750	501.280	497.330	511.750	501.280
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	2.280	2.275	2.307	2.319	2.307	2.345	2.355	2.340	2.360	2.360	2.373	2.366	2.361	2.333	2.349	2.361	2.333	2.349
16	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698
17	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.512	2.512	2.512	2.493	2.493	2.493	2.474	2.474	2.474	2.474	2.455	2.455	2.455	2.437	2.437	2.455	2.437	2.437
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO	9.229	9.440	8.145	6.972	7.470	5.931	4.822	5.396	4.610	4.610	3.358	3.645	3.137	4.267	3.610	3.137	4.267	3.610
19	% DE VACIOS	19.308	19.496	18.344	18.362	18.799	17.448	17.543	18.040	17.359	17.343	17.589	17.599	18.209	19.164	18.609	18.209	19.164	18.609
20	% V.M.A.	52.200	51.578	55.601	62.031	60.264	66.007	72.513	70.091	73.446	80.640	79.279	79.222	82.775	77.733	80.600	82.775	77.733	80.600
21	% VACIOS LLENADOS CON C.A.	185.0	210.0	168.0	183.0	222.0	188.0	214.0	188.0	246.0	220.0	239.0	247.0	246.0	240.0	255.0	246.0	240.0	255.0
22	LECTURA DIAL DE DEFORMACION	14.800	16.800	13.440	14.640	17.760	15.040	17.120	15.040	19.680	17.600	19.120	19.760	19.680	19.200	20.400	19.680	19.200	20.400
23	FLUIJO	155.000	134.000	207.000	183.000	222.000	188.000	214.000	188.000	246.000	188.000	204.000	200.000	188.000	187.000	179.000	188.000	187.000	179.000
24	LECTURA DIAL DE ESFUERZO	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799	0.077x+0.1799
25	FACTOR DE ESTABILIDAD (Dial de deformacion)	12.115	10.498	16.119	14.271	17.274	14.656	16.658	14.656	19.122	14.733	15.888	15.580	14.656	14.579	13.963	14.656	14.579	13.963
26	VALOR ESTABILIDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	CORRECCION POR ALTURA	12.115	10.498	16.119	14.271	17.274	14.656	16.658	14.656	19.122	14.733	15.888	15.580	14.656	14.579	13.963	14.656	14.579	13.963
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	12.115	10.498	16.119	14.271	17.965	14.656	16.658	15.242	19.887	15.322	16.523	16.203	15.242	14.579	13.963	15.242	14.579	13.963
29	PROMEDIO ESTABILIDAD	12.911	12.911	12.911	15.631	15.631	17.262	16.016	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595	14.595



5.8. INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPRESENTACION GRAFICA

Se promedian los valores de los pesos unitarios de las briquetas para cada contenido de cemento asfáltico, también la estabilidad y flujo Marshall, con la diferencia que la estabilidad debe hacerse una corrección de altura o de volumen de cada briketa.

Una de las primeras graficas que debe realizar es la de los pesos unitarios o de densidad real de las briquetas compactadas contra los diversos contenidos de asfalto empleados durante el diseño

Los gráficos se complementan el resultado del ensayo Marshall son:

- Estabilidad Marshall
- Flujo Marshall
- Vacíos totales
- Vacíos en el agregado mineral
- Vacíos llenos con asfalto.

5.8.1. CURVA DE ESTABILIDAD.

La curva representa una rama ascendente conocida como rama seca que crece a medida que incrementa el porcentaje de asfalto, hasta llegar a un máximo y luego comienza a decrecer con incrementos sucesivos de asfalto, esta rama se la conoce como la “rama rica en asfalto” esta curva de forma convexa hacia arriba, está íntimamente relacionada con la curva de densidades. Para contenidos bajos de asfalto y ante un esfuerzo dado de compactación, para una granulometría dada, los esfuerzos que se le suministran son absorbidos prácticamente por las partículas, por lo que la resistencia se debe casi y exclusivamente a la fricción interna de las partículas del agregado. Esto sucede hasta un punto en el cual, ante un exceso de asfalto se comienza a perder contacto interarticular y la estabilidad comienza a decrecer y es aportada por el ligante y la fracción fina del agregado. A medida que se aumenta la cantidad de asfalto, se sigue perdiendo parte de fricción, el de cohesión tiende a estabilizarse y la estabilidad continúa descendiendo.

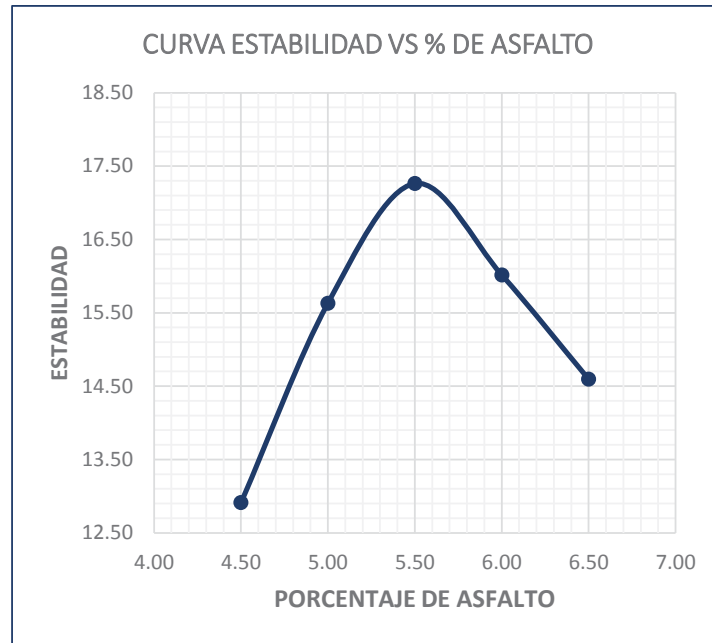


Gráfico 9: Curva de "Estabilidad VS % de ligante asfáltico"

5.8.2. CURVA DE PESO ESPECIFICO

Presenta la misma tendencia que la anterior, aun cuando el porcentaje de ligante para la máxima densidad normalmente ocurre en valores de asfalto ligeramente superiores que para la máxima estabilidad.

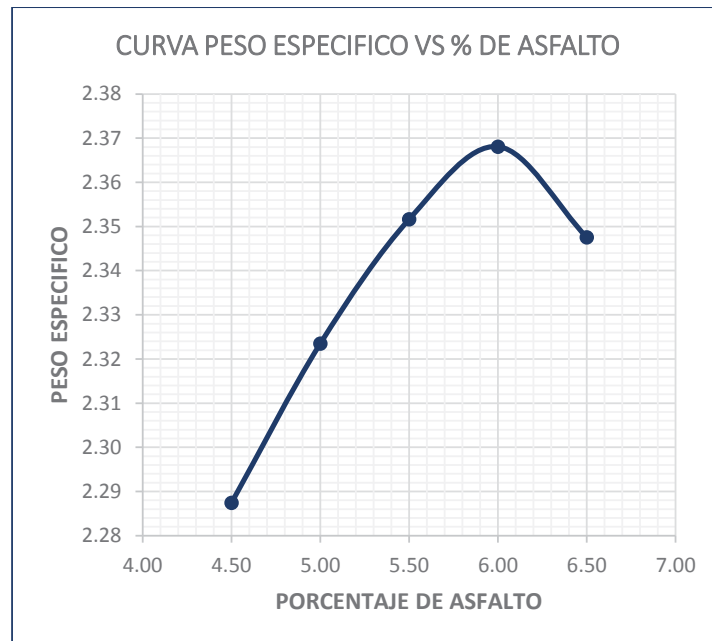


Gráfico 10: Curva de "Peso específico VS % de ligante asfáltico"



5.8.3. CURVA DE FLUJO

El flujo aumenta con el incremento de asfalto, siendo una consecuencia lógica de que las mezclas más ricas en asfalto son las más flexibles y deformables que las mezclas secas.

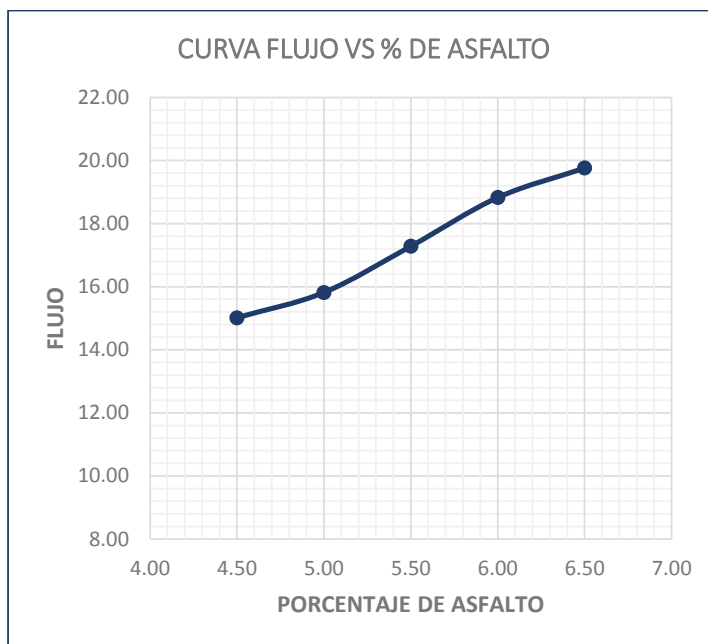


Gráfico 11: Curva de "flujo VS % de ligante asfáltico"

5.8.4. CURVA DE VACIOS TOTALES

A medida que incrementa el contenido de asfalto se van llenando los vacíos ocupados por el aire y como consecuencia su porcentaje respecto al volumen de la briqueta, se hace menos. Existen valores aceptables en norma para escoger el contenido óptimo de ligante, que es de 3 a 5% de vacíos.

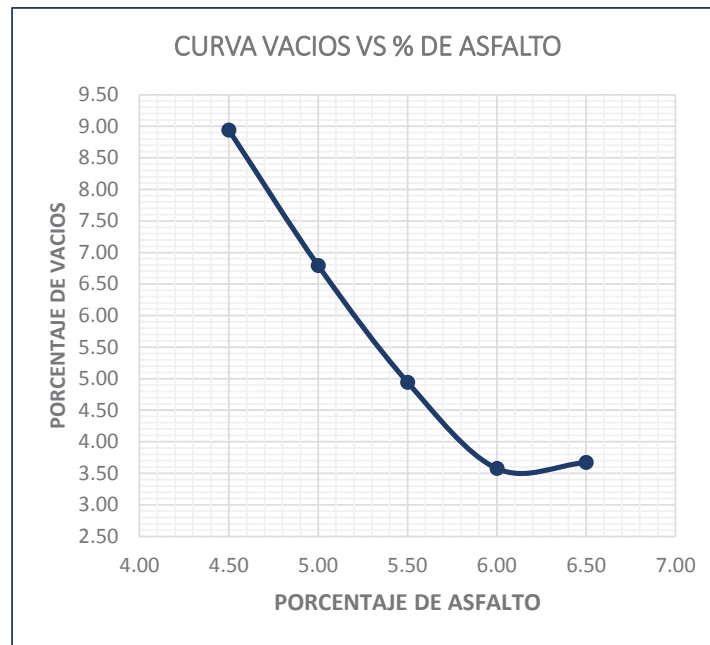


Gráfico 12: Curva de “% de vacíos VS % de ligante asfáltico”

5.8.5. CURVA DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL.

Las mezclas de agregado sin ligante logran su mayor grado de densidad ante un esfuerzo de compactación. A medida que se incrementa el contenido de ligante, este cubre partículas y hace que ella comience a separarse, perdiendo el contacto grano a grano, y por lo tanto los espacios no ocupados por los agregados, que es el VMA, comienzan a crecer.

A medida que comienza a aumentar el contenido de asfalto, este comienza a actuar como agente lubricante, las partículas vuelven a buscar un mejor acomodo y los espacios entre los granos, nuevamente el VMA, tiende a disminuir. De este punto en adelante, nuevos incrementos del contenido de ligante continúan mejorando el acomodo y mejorando su densidad y disminuyendo los vacíos no ocupados por los agregados. Cuando los vacíos se llenan con el máximo de asfalto, cantidades adicionales de ligante comienzan a causar una separación entre las partículas de agregado y en consecuencia, los valores de VMA, comienzan a aumentar con cada incremento de asfalto.

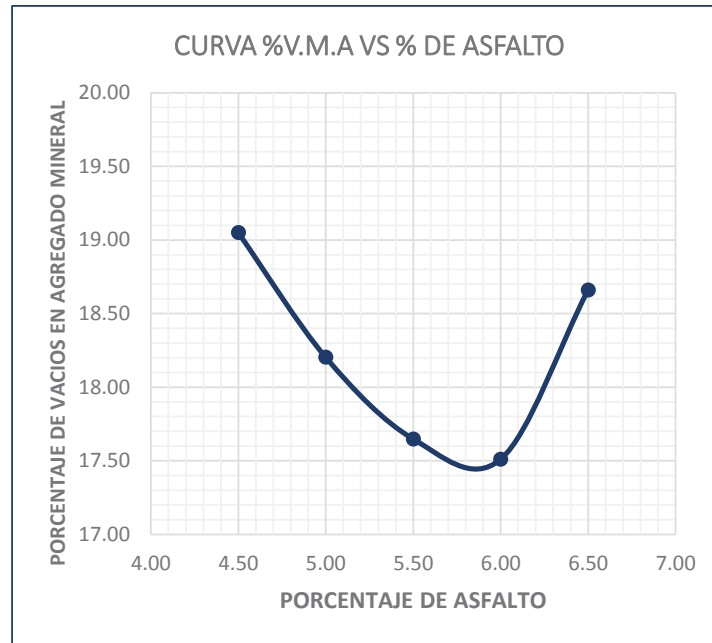


Gráfico 13: Curva de “% de V.M.A VS % de ligante asfáltico”
Fuente: elaboración propia

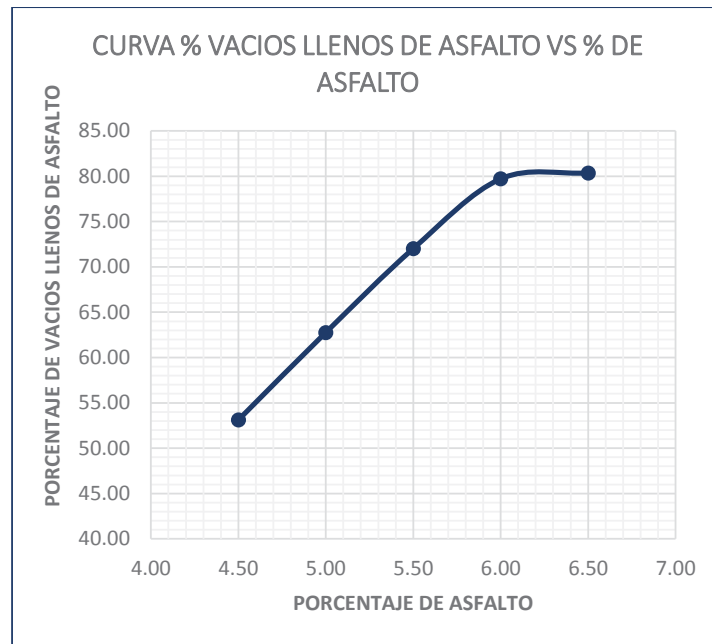


Gráfico 14: Curva de “% de vacíos llenos de asfalto VS % de ligante asfáltico”
Fuente: elaboración propia



5.9. RESUMEN Y CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

5.9.1. CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se deben tener en cuenta las gráficas que anteriormente se analizaron, y también un procedimiento ya determinado.

- De la curva “estabilidad vs %de asfalto”, se debe seleccionar el porcentaje de asfalto el cual corresponde a un valor máximo de la curva estabilidad.
- De la curva de “Peso específico vs % de asfalto”, se selecciona el porcentaje de asfalto el cual corresponde a un valor máximo de la curva Densidad.
- De la curva “%Vacíos vs % de asfalto” se selecciona el porcentaje de asfalto de acuerdo a el porcentaje de vacíos totales de la muestra, este valor debe estar comprendido entre 3% y 5%.

5.9.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO.

Se debe tener en cuenta que los valores cumplan con los criterios que establece la especificación con respecto a la mezcla asfáltica en caliente y obtención de contenido óptimo de asfalto.

Parámetro de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1.Compactacion, numero de golpes por lado	75	50	35
2.Estabilidad(mínimo)	8.15kN	5.44kN	4.53kN
3.Flujo 0.01” (0.25mm)	8-14	8-16	8-20
4.Porcentaje de vacíos con aire	3-5	3-5	3-5
5.Vacios con agregado mineral			
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida%(min)	75	75	75
Relación polvo-asfalto	0.6-1-3	0.6-1-3	0.6-1-3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	80 min		

Tabla 39: Requisitos para la mezcla de concreto bituminoso.
Fuente: Manual de carreteras EG 2013



TAMIZ	VACIOS MINIMOS EN AGREGADO MINERAL%	
	MARSHALL	SUPERPAVE
2.36mm(N°8)	21	-
4.75mm(N°4)	18	-
9.50mm (3/8")	16	15
12.5mm (1/2")	15	14
19mm (3/4")	14	13
25mm (1")	13	12
37.5mm (1 1/2")	12	11
50mm (2")	11.5	10.5

Tabla 40: Requisitos para la mezcla de concreto bituminoso.
Fuente: Manual de carreteras EG 2013

5.9.3. RESUMEN ENSAYO MARSHALL

De los ensayos y pruebas realizadas se obtienen resultados, cuales se demuestra en la siguiente tabla de resumen.

RESUMEN MARSHALL	ESPECIFICACIONES GENERAL
Contenido de asfalto optimo	5.8%
Peso específico (gr/cm ³)	2.368
Estabilidad (KN)	16.55
Flujo (0.25 mm)	18.2
Vacios con aire (%)	4.0
Vacios de agregados minerales (%)	17.4
Vacios llenos con asfalto (%)	77
Temperatura de compactación	120-130 C°

Tabla 41: Resumen de resultados Marshall, Mezcla asfáltica en Caliente Convencional.
Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO 6

6. ANALISIS Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ADICION DE DIATOMITA.

En este apartado, se muestra el diseño de mezcla asfáltica con adición de filler de diatomita, para efectos de investigación se consideró reemplazar la diatomita por los finos pasantes el tamiz N° 200, así de esta manera la curva granulométrica de agregados finos y gruesos, no se verá afectada, estableciendo que el objetivo es ver la incidencia que tiene la diatomita dentro de una mezcla asfáltica.

6.1. ANÁLISIS DE MATERIALES PÉTREOS

El análisis granulométrico de agregados, es de la misma instancia cual se menciona en el numeral 4.1., debido a que, la curva granulométrica no deberá ser afectada para poder observar los efectos que tiene la diatomita sobre ella

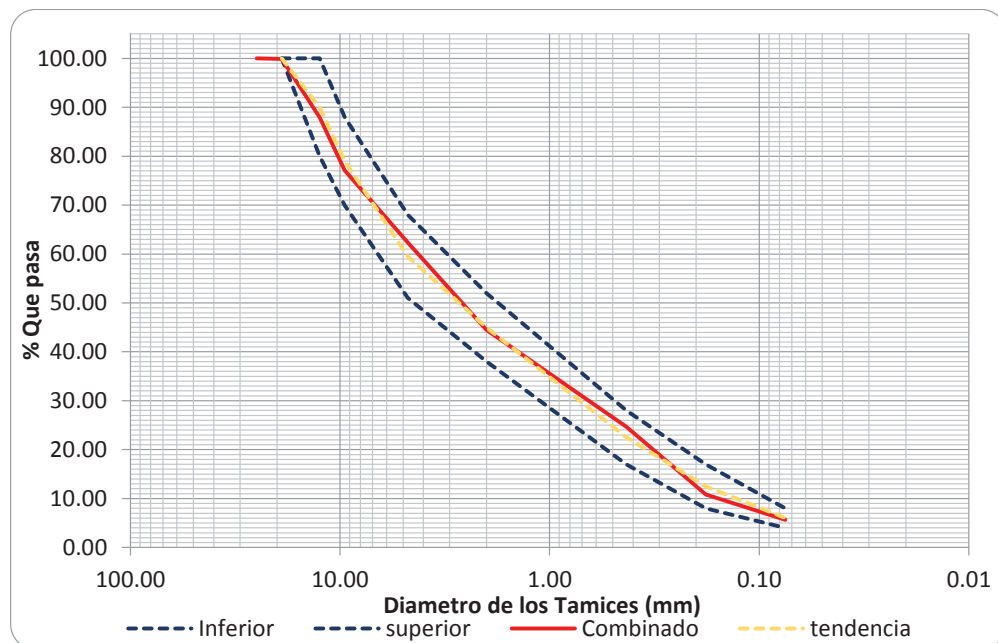


Gráfico 15: Curva granulométrica de los agregados combinados
Fuente: Elaboración propia

Con la sustitución de finos (5.6%) por diatomita.



6.2. ELABORACION DE BRIQUETAS

PROCEDIMIENTO

Se procede con el lavado del agregado en general, a través del tamiz N°200, esto con fin de eliminar los finos que serán sustituidos por el filler de diatomita. Para el caso de adición de diatomita, se agrega de manera homogénea sabiendo que su granulometría pasa el tamiz N°200, siendo 5.6% el porcentaje de finos, en cada muestra se determina cuanto en peso de diatomita entrara para la compactación de mezcla.

Por ejemplo, para un porcentaje de 4.5 % de asfalto, primero se determina la cantidad en peso que se pondrá en asfalto, este da un valor de 54 gramos de bitumen, luego restando el porcentaje de asfalto ante el total de 100% de la mezcla se distribuirá en porcentajes del agregado. 1200 gramos menos 54 gramos del bitumen son 1146 gramos de distribución entre porcentajes del agregado mineral, posteriormente se toma 1146 gramos como 100% y se le saca el 5.6%, para la obtención de 64.176 gramos de diatomita, luego se resta 64.176 de 1146 gramos, tomando este nuevo valor como 100% del total de agregados, y distribuyendo con los porcentajes establecidos para no alterar la curva granulométrica.

- Agregado Grueso 35%- Sera 378.64 gramos
- Arena Chancada 50% - Sera 540.91 gramos
- Arena Fina 15% - Sera 162.27 gramos



Figura 30: Mezclado de agregado asfalto y diatomita

El procedimiento que sigue será similar al apartado 5.2., se realizará de igual manera.



6.3. ESPESOR O ALTURA DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS

PROCEDIMIENTO

El procedimiento será similar al apartado 5.3. Ya que, para muestras desarrolladas en este apartado, se realizará de igual manera.

6.4. PESO ESPECÍFICO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS. PROCEDIMIENTO

El procedimiento será similar al apartado 5.4. Ya que, para muestras desarrolladas en este apartado, se realizará de igual manera.

6.5. PORCENTAJE DE VACIOS DE MEZCLAS ASFLATICAS. PROCEDIMIENTO

El procedimiento será similar al apartado 5.5. Ya que, para muestras desarrolladas en este apartado, se realizará de igual manera.

6.6. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS PROCEDIMIENTO

El procedimiento será similar al apartado 5.6. Ya que, para muestras desarrolladas en este apartado, se realizará de igual manera.



Figura 31: Rotura de briquetas



6.7. ANALISIS DE DISEÑO DE MEZCLA

Una vez determinada la Estabilidad y Flujo Marshall se evaluará las características de los diferentes casos de compactación obtenidos con cada uno de los porcentajes de asfalto estudiados, para lo cual se sigue el siguiente procedimiento:

Se promedia la densidad de todas las probetas con el mismo contenido de asfalto.

Utilizando el peso específico bulk de los agregados, el peso específico máximo teórico de la mezcla y peso específico del asfalto, se deduce

- El peso del cemento asfáltico absorbido por el agregado seco.
- El porcentaje de vacíos en la mezcla total V_a .
- El porcentaje en el agregado mineral V.A.M.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto V.F.A.

Dado que en este parte tenemos de adicinante el filler de diatomita, se realiza una comparación minuciosa en cada procedimiento, tanto para el cálculo de estabilidad y flujo como para los factores de diseño, y en cada uno de ellos observar el cambio que tiene cada uno.

FORMULAS

$$\%VMA = 100 - \frac{(\%ag\ grueso + \%arena\ chancada + \%arena\ fina) \times PE_{bulkbr}}{PE_{bulkagtotal}}$$

$$\%VFA = \frac{100 \times (\%VMA - \%Va)}{\%VMA}$$



		ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE														
		METODO MARSHALL (ASTM D-1559)														
		4.5% de asfalto			5.0% de asfalto			5.5% de asfalto			6.0% de asfalto			6.5% de asfalto		
Briqueta		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1%	DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2%	DE AGREGADO GRUESO MORRO BLANCO	31.55	31.55	31.55	31.39	31.39	31.39	31.22	31.22	31.22	31.06	31.06	31.06	30.89	30.89	30.89
3%	DE AGREGADO TRITURADO MORRO BLANCO	45.08	45.08	45.08	44.84	44.84	44.84	44.60	44.60	44.60	44.37	44.37	44.37	44.13	44.13	44.13
4%	DE AGREGADO NATURAL FINO	13.52	13.52	13.52	13.45	13.45	13.45	13.38	13.38	13.38	13.31	13.31	13.31	13.24	13.24	13.24
5%	DE FILLER (PASA MALLA 200)	5.35	5.35	5.35	5.32	5.32	5.32	5.29	5.29	5.29	5.26	5.26	5.26	5.24	5.24	5.24
6%	PESO ESPECIFICO DEL C.A.	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
7%	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
9%	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO NATURAL FINO	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
10%	PESO ESPECIFICO DEL FILLER	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
11%	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	6.667	6.700	6.600	6.700	6.700	6.667	6.667	6.700	6.600	6.667	6.633	6.733	6.600	6.633	6.533
12%	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	1169.72	1181.39	1186.57	1176.68	1187.74	1179.01	1185.97	1184.41	1180.9	1189.51	1190.2	1190.21	1190.07	1185.3	1187.77
13%	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SSSI (gr)	1171.29	1181.85	1187.14	1178.16	1187.99	1179.67	1186.13	1185.18	1182.06	1190.14	1190.65	1190.14	1190.34	1185.95	1188.16
14%	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (gr)	634.24	642.2	648.44	644.97	645.63	640.01	645.94	650.25	644.78	649.26	651.82	657.55	652.86	657.29	658.93
15%	VOLUMEN DE LA BRIQUETA	537.05	539.65	538.7	533.19	542.36	539.66	540.19	534.93	537.28	540.88	538.83	532.59	537.48	528.66	529.23
16%	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.18	2.19	2.20	2.21	2.19	2.18	2.20	2.21	2.20	2.20	2.21	2.23	2.21	2.24	2.24
17%	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
18%	PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO	2.491	2.491	2.491	2.472	2.472	2.472	2.454	2.454	2.454	2.436	2.436	2.436	2.418	2.418	2.418
19%	DE VACIOS	12.565	12.118	11.577	10.722	11.421	11.632	10.530	9.769	10.430	9.709	9.313	8.249	8.421	7.267	7.174
20%	V.M.A.	22.193	21.795	21.314	21.563	22.177	22.363	22.392	21.732	22.305	22.671	22.331	21.421	22.559	21.583	21.504
21%	VACIOS LLENADOS CON C.A.	43.383	44.400	45.683	50.277	48.501	47.984	52.973	55.046	53.239	57.175	58.298	61.489	62.670	66.331	66.641
22%	LECTURA FLUJO	130.0	150.0	200.0	160.0	180.0	170.0	201.0	173.0	165.0	181.0	174.0	201.0	203.0	166.0	202.0
23%	FLUJO	10.400	12.000	16.000	12.800	14.400	13.600	16.080	13.840	13.200	14.480	13.920	16.080	16.240	13.280	16.160
24%	LECTURA DIAL DE ESFUERZO	98.000	85.000	82.000	104.000	67.000	111.000	114.000	106.000	110.000	127.000	134.000	180.000	135.000	140.000	146.000
25%	FACTOR DE ESTABILIDAD (Dial de deformación)	0.077X+0.1799			0.077X+0.1799			0.077X+0.1799			0.077X+0.1799			0.077X+0.1799		
26%	VALOR ESTABILIDAD	7.726	6.725	6.494	8.188	5.339	8.727	8.958	8.342	8.650	9.959	10.498	14.040	10.575	10.960	11.422
27%	CORRECCION POR ALTURA	0.930	0.930	0.930	0.960	0.930	0.930	0.930	0.960	0.930	0.930	0.930	0.960	0.930	0.960	0.960
28%	ESTABILIDAD CORREGIDA	7.185	6.254	6.039	7.860	4.965	8.116	8.331	8.008	8.044	9.262	9.763	13.478	9.835	10.522	10.965
29%	PROMEDIO ESTABILIDAD	6.493			6.981			8.128			10.834			10.440		



6.8. INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPRESENTACION GRAFICA

Cada interpretación que se tiene de las gráficas está establecida en el apartado 5.8.

6.8.1. CURVA ESTABILIDAD

La estabilidad pasa el requerido por la norma C-010 de pavimentos urbanos, tiene un máximo en 6.2 % de ligante siendo el valor de 11.0 KN.

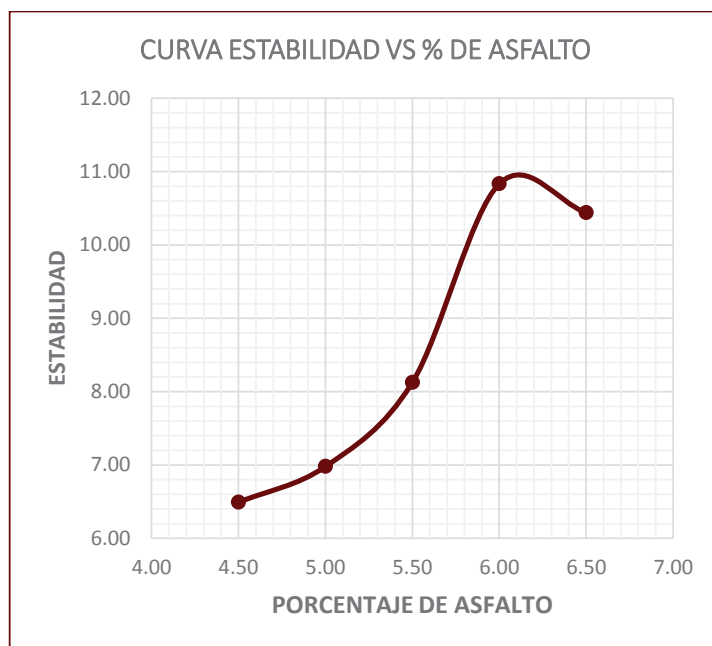


Gráfico 16: Curva de "Estabilidad VS % de ligante asfáltico"
Fuente: elaboración propia

6.8.2. CURVA PESO ESPECIFICO

Para el caso de peso específico, no alcanza un valor máximo y no tiene un declive, esto debido a que el poder absorbente de la diatomita logra absorber el ligante, sin que este sea excesivo, cual no permite que llegue a un valor máximo.

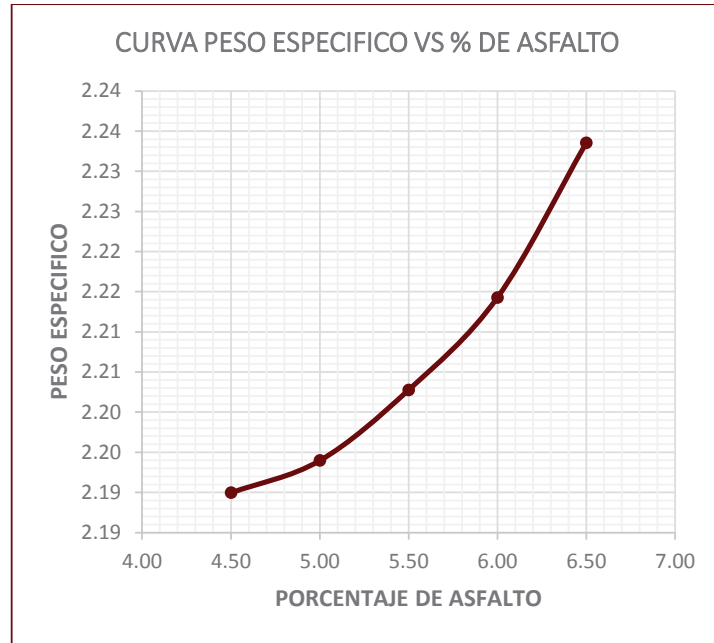


Gráfico 17: Curva de "Peso específico VS % de ligante asfáltico"
Fuente: elaboración propia

6.8.3. CURVA FLUJO

El flujo en caso de adición de diatomita es bajo respecto al diseño sin filler.

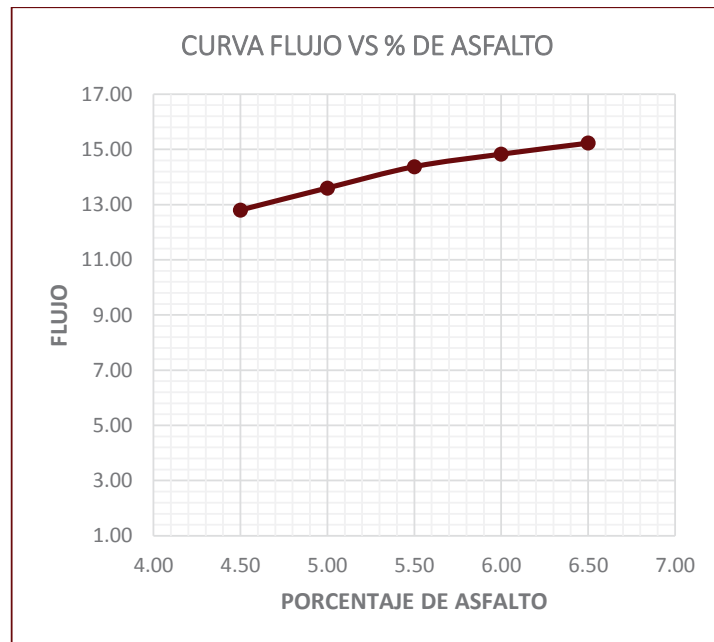


Gráfico 18: Curva de "flujo VS % de ligante asfáltico"
Fuente: elaboración propia



6.8.4. CURVA DE VACIOS

La curva de vacíos muestra un declive desde 12% hasta 7.5%, esto se debe a la porosidad de la diatomita, los resultados difieren de la norma, pero ello no indica que no se puede hacer un análisis para sus estudios a futuro.

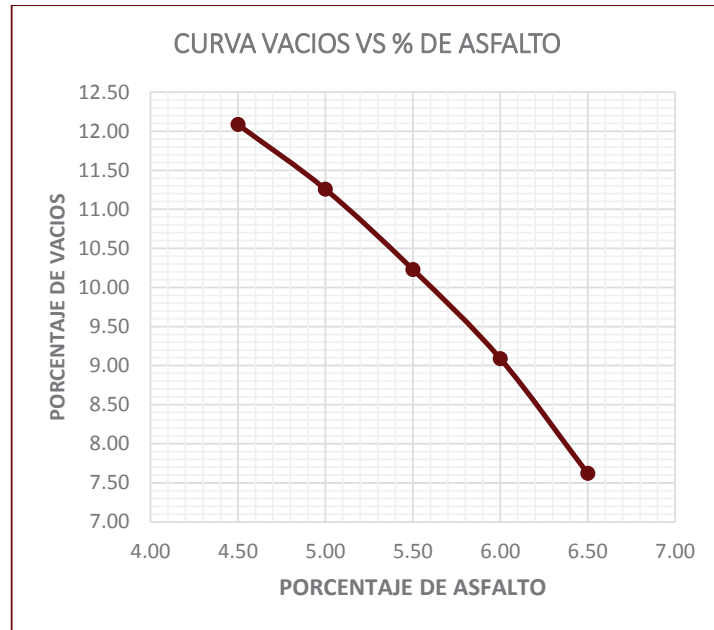


Gráfico 19: Curva de “% de vacíos VS % de ligante asfáltico”
Fuente: elaboración propia

6.8.5. CURVA DE VACIOS EN AGREGADO MINERAL

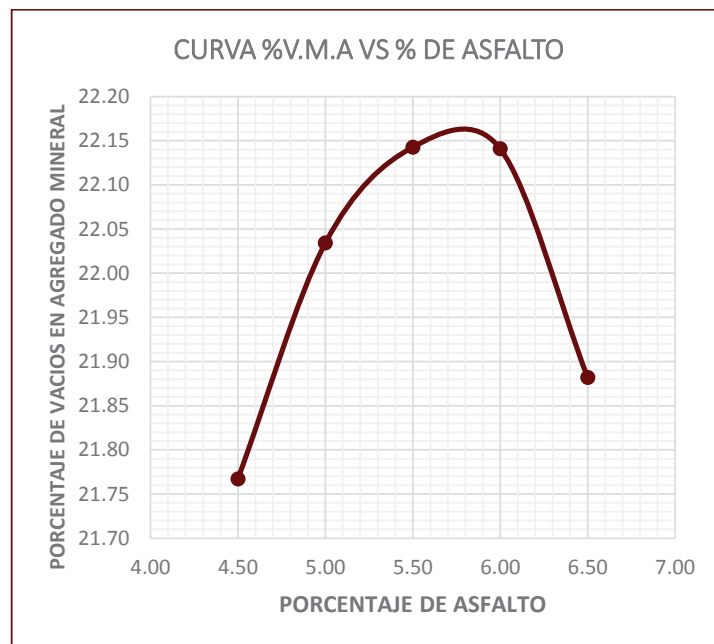


Gráfico 20: Curva de “% de V.M.A VS % de ligante asfáltico”

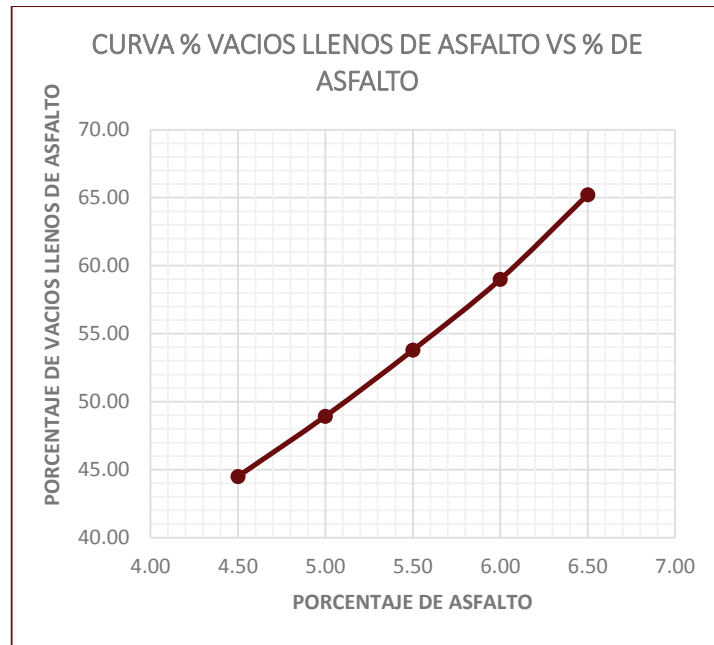


Gráfico 21: Curva de “% de vacíos llenos de asfalto VS % de ligante asfáltico”



6.9. RESUMEN Y CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

6.9.1. CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se deben tener en cuenta las gráficas que anteriormente se analizaron, y también un procedimiento ya determinado.

- De la curva “estabilidad vs %de asfalto”, se debe seleccionar el porcentaje de asfalto el cual corresponde a un valor máximo de la curva estabilidad.
- De la curva de “Peso específico vs % de asfalto”, se selecciona el porcentaje de asfalto el cual corresponde a un valor máximo de la curva Densidad.
- De la curva “%Vacíos vs % de asfalto” se selecciona el porcentaje de asfalto de acuerdo a el porcentaje de vacíos totales de la muestra, este valor debe estar comprendido entre 3% y 5%.

6.9.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO.

Se debe tener en cuenta que los valores cumplan con los criterios que establece la especificación con respecto a la mezcla asfáltica en caliente y obtención de contenido óptimo de asfalto, cuales son mencionados en el apartado 5.9.2.

6.9.3. RESUMEN ENSAYO MARSHALL

De los ensayos y pruebas realizadas se obtienen resultados, cuales se demuestra en la siguiente tabla de resumen.

RESUMEN MARSHALL	ESPECIFICACIONES GENERAL
Contenido de asfalto optimo	6.2%
Peso específico (gr/cm ³)	No llega a su máximo
Estabilidad (KN)	11.0
Flujo (0.25 mm)	14.9
Vacíos con aire (%)	8.7
Vacíos de agregados minerales (%)	22.16
Vacíos llenos con asfalto (%)	60
Temperatura de compactación	120-130 C

Tabla 42: Resumen de resultados Marshall, Mezcla asfáltica en Caliente Convencional.
Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

El agregado usado para la investigación se ha puesto a requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) Pavimentos Urbanos C-010, estos establecen requisitos para agregados pétreos, y se determinó que para algunos casos cumple requerimientos de la norma, los resultados de los ensayos se muestran a continuación:

- a. El agregado grueso llega a tener buen alcance para la construcción, ya que cumple con los requerimientos, a excepción de absorción; teniendo un 2.88% de absorción cual puede significar que dicho agregado será más absorbente de lo normal, esto implicó que para el diseño de mezcla asfáltica este requerirá más porcentaje de ligante de lo normal.

Ensayo	Normas	Resultados	Requerimientos
Porcentaje de finos que pasa el tamiz 75µm	MTC E 202	1.03%	8% max
Peso específico nominal	MTC E 205	2.70	-
Absorción	MTC E 205	2.88%	1% max
Abrasión de los Angeles	MTC E 207	29%	35% max
Porcentaje de caras fracturadas	MTC E 210	13/77	65/40
% Sales Solubles	MTC E 219	0.03%	0.5% max
Perdida en sulfato de Magnesio	MTC E 209	10%	15% max

- b. En caso de la arena chancada, llega a tener más absorción de lo normal, con un 2.88%, esto de cierta manera afectará los cálculos para obtención del contenido óptimo de asfalto, ya que, al ser más absorbente, absorberá más partículas de asfalto. También se observó que el porcentaje de finos sobrepasa el valor, este por el hecho de que es agregado chancado y en el proceso se ve afectado por finos. Para el caso de % de sales solubles, se determinó que sobrepasa el valor establecido, se tendrá que tener en cuenta en cuanto al proceso constructivo que se vaya a desarrollar con el agregado.

Ensayo	Normas	Resultados	Requerimientos
Porcentaje de finos que pasa el tamiz 75µm	MTC E 202	9.54%	8% max
Peso específico nominal	MTC E 205	2.70	-
Absorción	MTC E 205	2.88%	1% max
% Sales Solubles	MTC E 219	1.08%	0.5% max
Equivalente de arena	MTC E 114	52%	50% min
Adhesividad (Riedel - Weber)	MTC E 220	9	6 min



- c. En caso de la arena fina obtenida de la cantera de Kunyac, demuestra valores progresivos, pasando los estándares y requisitos, en excepción de la absorción teniendo también un valor mayor al requerimiento, esto implica que también para el diseño de la mezcla asfáltica, se tuvo que aumentar el porcentaje de contenido óptimo de asfalto. Para demás valores, el material es correctamente aceptable para poder trabajar en el ámbito.

Ensayo	Normas	Resultados	Requerimientos
Porcentaje de finos que pasa el tamiz 75 μ m	MTC E 202	1.34%	8% max
Peso específico nominal	MTC E 205	2.69	-
Absorción	MTC E 205	2.04%	1% max
% Sales Solubles	MTC E 219	0.21%	0.5% max
Equivalente de arena	MTC E 114	79%	50% min
Adhesividad (Riedel - Weber)	MTC E 220	7	6 min

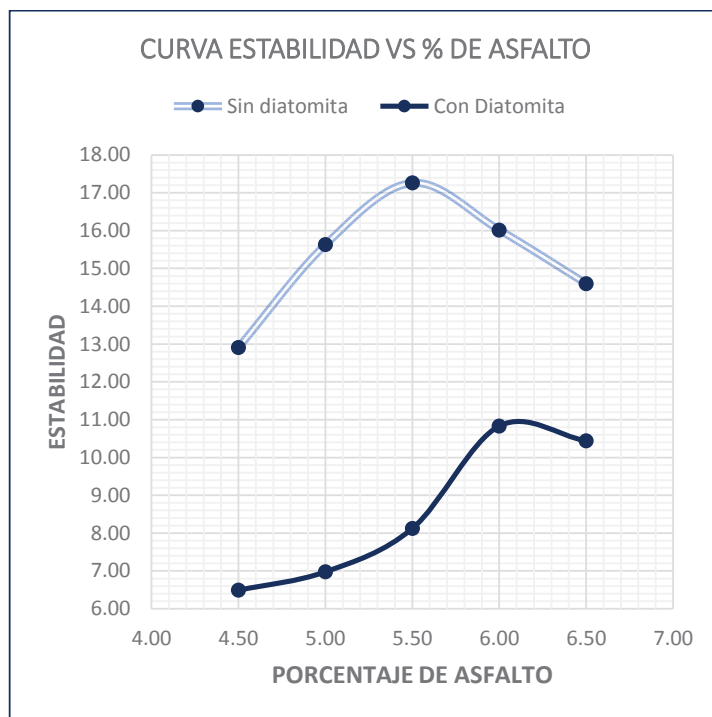
MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Para el caso de la mezcla asfáltica en caliente, se hizo ensayos para obtener los parámetros de diseño, y cada una de ellas tiene su interpretación cuales se explicó en capítulos anteriores, se analiza las diferencias que tienen cada una de ellas en cada uno de los factores.

- d. En cuanto a características físicas se observó que en el momento del mezclado las muestras con la adición de diatomita mostraban un color mate en comparación a su contraparte con las muestras sin la adición de filler, así también, no mostraban adherencia en cuanto interacción asfalto agregado, debido al diámetro de partículas de diatomita siendo estos muy absorbentes, las briquetas obtenidas sin diatomita son más densas que las briquetas con diatomita.
- e. Para el caso de estabilidad, se muestra una ligera discrepancia, pero en ambos casos pasaron los mínimos requeridos por norma, el mismo hecho de que al adicionar la diatomita la muestra tenga otra composición, determina que tan resistente es esta ante cargas dadas, ya que la estabilidad depende básicamente de la fricción y cohesión de la muestra; en un inicio, sin la diatomita, la resistencia básicamente es aportada por la fricción de los materiales pétreos, al adicionar diatomita (siendo un fino), este se disminuye, se puede concluir que la fricción entre los materiales pétreos se ve afectada por el filler de diatomita, la cual hace



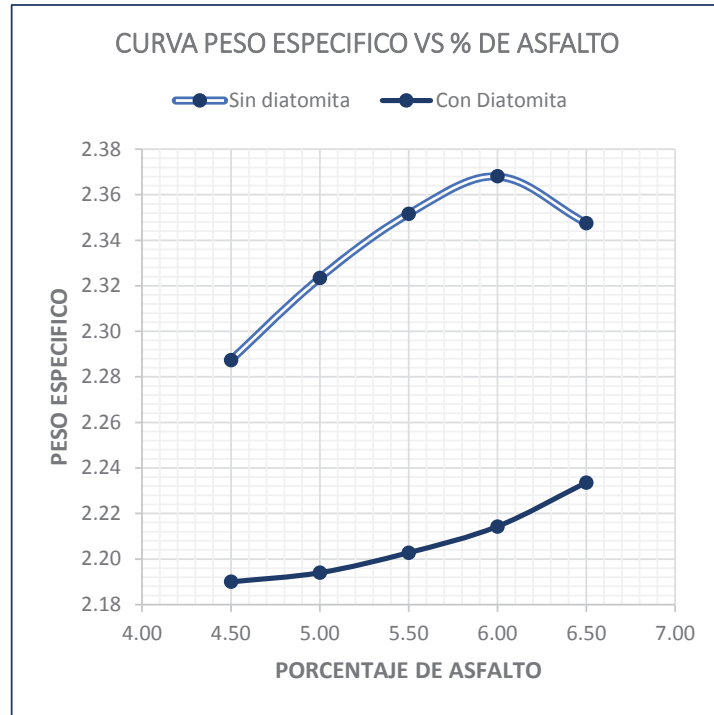
que este valor sea bajo, por lo tanto la estabilidad de este disminuirá. El hecho de adicionar diatomita afecta la interacción ligante agregado, el cual afecta a la cohesión, para la obtención del contenido de asfalto se escoge el dónde tenga valor máximo, en caso de la mezcla sin diatomita es de 5.5% y en caso de la mezcla con diatomita es de 6.2%.



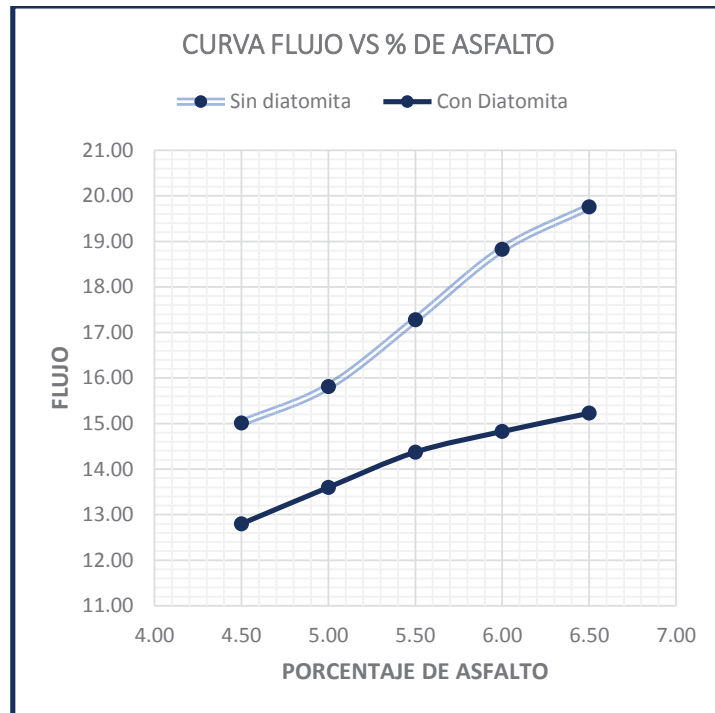
- f. El peso específico, se ve que la adición de diatomita hace bajar significativamente el peso específico de la muestra, esto debido que la densidad de la diatomita es baja 2.3, esto hace que la misma muestra tenga un valor menor al promedio, también se observa que los valores para la diatomita en el grafico "Peso Específico vs % de asfalto" no llegan a su punto alto, quiere decir que aún no ha alcanzado valor máximo para determinar su porcentaje optimo, ya que el valor de contenido óptimo de asfalto quizá sea demasiado alto; entonces para poder determinar el porcentaje de asfalto se basó en otro parámetros cual es la estabilidad y porcentaje de vacíos. Tener un valor bajo de peso específico, no implica que no sea servicial, acá se puede ver que al adicionar diatomita a la mezcla asfáltica en caliente obtenemos una muestra de baja densidad, cual puede ser usado en estudios de pavimentos cuales se necesite este tipo de mezcla. Para el caso de las muestras sin diatomita se observa un



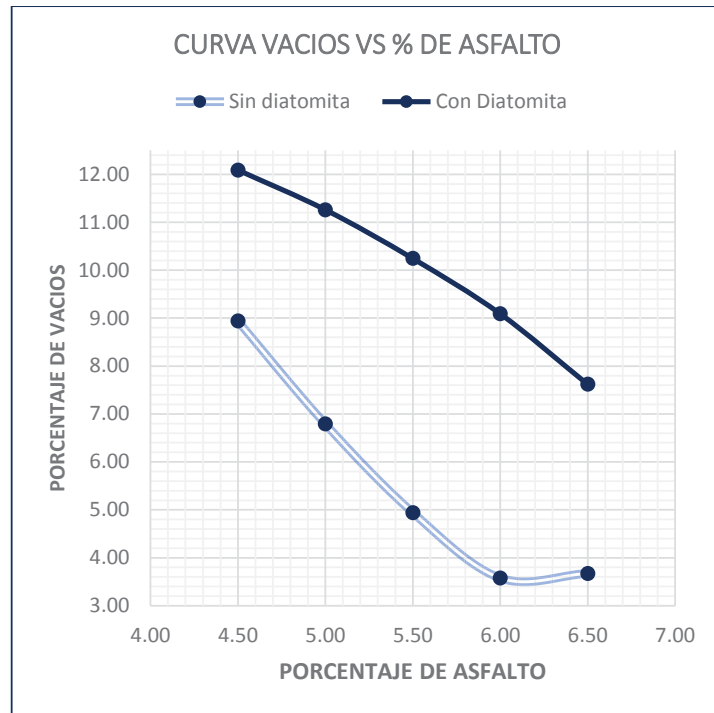
máximo en un 5.9% de ligante, el cual sirve para determinar el porcentaje óptimo de asfalto.



- g. Para el caso de flujo en ambos casos no está dentro de los requerimientos de la norma puesto que tienen que ser valores de 8-14. Se muestra que los valores donde se adiciono la diatomita son menores, recordemos que la curva de flujo muestra la deformación, si bien el ligante es el factor deformable, cuando se adiciono la diatomita, se muestra que este impide la deformación de dicho ligante. Concluyendo que en el primer caso valores muy altos de fluencia muestran que son demasiado deformables y tienen una tendencia a la deformación plástica muy fácilmente bajo cargas de tránsito, eso implicaría que, al momento de someter a cargas, estas tienden a producir ahuellamientos (deformaciones plásticas); el hecho de la adición de la diatomita hace que la mezcla asfáltica sea menos deformable, la cual colabora con la no plasticidad del pavimento, podríamos concluir que, en casos de cargas de alto tránsito, no habría una deformación considerable.



- h. Para el caso de porcentaje de vacíos, se muestra una discrepancia mayor, la norma dice que debemos tener un porcentaje de vacíos entre 5% y 3%, para el caso de la mezcla sin diatomita se tiene valor promedio para un 4% de vacíos un valor de 5.8% de ligante, pero en caso de la mezcla con diatomita, no se habría un valor recomendable. Una de las razones por las que tiene valores altos la mezcla con diatomita es porque la misma diatomita tiene un porcentaje de vacíos muy alto, sus mismas partículas son muy absorbentes, y necesitaría mayor porcentaje de ligante para poder llenar dichos vacíos.





7.2. RECOMENDACIONES

- a. Para los agregados, tener una correcta granulometría aporta bastante si se quiere hacer pruebas en las mezclas asfálticas en caliente, la tendencia de la granulometría debe ser la correcta. Para hacer pruebas con filler que pase el tamiz N°200, es recomendable lavar el agregado por dicho tamiz para reemplazar a los finos, de esta forma no se manipula la granulometría.
- b. Para la adición de cualquier tipo de filler en la mezcla asfáltica en caliente, se debe analizar bien la granulometría, dado que la investigación fue determinar la influencia de la diatomita dentro de la mezcla, no se modificó la curva granulométrica, de este modo tener valores más certeros de como el filler afecta a la mezcla; es por ello que el filler de diatomita se sustituyó en lugar de los finos, de esta manera no afectando la granulometría.
- c. En casos de que no se satisfaga la granulometría solamente con los agregados, se recomienda insertar filler en ciertas cantidades.
- d. La investigación que se realizó concluyo que los factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente se ven alterados de diferentes formas, caso de la densidad de la muestra, donde no llega a un valor límite, se recomienda hacer más ensayos si en caso se quiere lograr otros objetivos, si bien se concluyó que la diatomita al afectar de manera significativa la mezcla asfáltica en caliente y al tener valores diferidos a la norma y en algunos casos no aceptables, no demuestra de que este no tenga funcionalidad, existen varias aplicaciones en el campo de pavimentos en las cuales pueden ser de utilidad.
- e. Debido a su alto contenido de Sílice en la Diatomita se recomienda hacer más investigaciones en otros campos de la construcción.



BIBLIOGRAFIA

Hernández Sampieri , R., Fernández Collado, C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

Huang., Y. H. (1993). *Pavement Analysis and Design*. New Jersey.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (s.f.). *Manual de Carreteras, Especificaciones técnicas generales para construcción*.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (s.f.). *Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras*.

RNE. (2010). *CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos, Materiales Construcción y Diseño*. Bogota: ECOE.

Salas, J. (1975). *Geotecnia y Cimientos*. Ed. Rueda.

Sandoval, i. I. (2011). Estudio del efecto filler en las propiedades reologicas del "mastico". hidalgo, Mexico.

Tejada, M. V. (s.f.). *Método de investigación científica y tecnológica*. Cusco.

Valdiviezo, A. D. (209). *Compendio de Rocas y Minerales del Perú*. Lima: Ingemmet.

W. L., & W. G. (2004). *Manual para la evaluación geologica-técnica de recursos minerales de construcción*.



GLOSARIO DE TERMINOS

Asfalto.- El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro). Se utiliza mezclado con arena o grava para pavimentar caminos. En las mezclas asfálticas se usa como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías y autopistas. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún bitumen.

Asfalto modificado con Polímeros.- La modificación de asfalto es una técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con la finalidad de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

Abrasión.- Se denomina abrasión a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido. La abrasión es un proceso marcado por un considerable desgaste o nivel de destrucción ocasionado en la superficie de la Tierra cuando agentes externos arrancan fragmentos de materia.

Aditivo.- Califica a aquello que se tiene o que se puede agregar o incorporar a otra cosa, en ingeniería se hace el uso a material que puede ser adicionado para mejorar características y propiedades.

Cohesión.- Se refiere a la capacidad que tienen las partículas de la briqueta de permanecer unidas como conjunto, como resultado de la trabazón conjunta o las microestructuras existentes en estas.

Diatomita.- es una roca sedimentaria silíceas formada por micro-fósiles de diatomeas, que son algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula.



Durabilidad.- Se entiende por durabilidad como la cualidad o característica de lo durable, aplicado a los objetos o cosas que pueden durar por un tiempo determinado que puede ser a corto o largo plazo, que puede ser sometido a algún agente externo para demostrar la calidad de dicho material

Elasticidad.- La elasticidad es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. La deformación es la variación de forma y dimensión de un cuerpo. Un material es elástico cuando la deformación que sufre ante la acción de una fuerza, cesa al desaparecer la misma.

Los materiales totalmente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, es lo que se conoce como límite elástico. Si se sobrepasa este límite, la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Si el esfuerzo que incide sobre el material supera las fuerzas internas de cohesión, el material se fisura y termina por fallar.

Gradación.- Determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños y proporciones, generalmente se usa para la granulometría, este indicando las proporciones para determinados diseños

Filler.- Áridos cuya mayor parte pasa por el tamiz 0.063 mm y que se obtienen por tratamiento de los materiales de los que provienen, en ingeniería es usado para la adición a diseños, esto con finalidad de mejorar propiedades.

Frústula.- Una frústula es la pared celular dura y porosa de la capa externa, o teca, de las diatomeas. La frústula está compuesta casi en su totalidad por sílice (óxido de sílice hidratado) proveniente del ácido silícico, y recubierta con una capa de materia orgánica, la cual fue referida en la temprana literatura acerca de las diatomeas como pectina, una fibra mucho más encontrada en la pared celular de las plantas.¹² Esta capa está realmente compuesta por varios tipos de polisacáridos.

Ligante.- Sustancia química que se aplica a un sustrato adecuado para crear una capa entre éste y el subsiguiente, o entre la superficie y el yeso que se le aplica. También llamado agente ligante, en ingeniería se usa término en el área de pavimentos, tal como ligantes bituminosos.



Mástico.- Es el componente formado por la mezcla del asfalto y el filler contenidos en una mezcla asfáltica

Over.- Producto bruto de agregado a ser triturado, normalmente con diámetros mayores de las 3".

Peso específico bulk.- Es la relación entre la masa (peso en el aire) de un volumen dado de material a una determinada temperatura, generalmente a 25°C para mezclas asfálticas, y la masa de un volumen igual de agua destilada, libre de aire, a la misma temperatura.

Tamaño máximo nominal de un agregado.- es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado.

Viscosidad.- La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. La viscosidad corresponde con el concepto informal de "espesor". Por ejemplo, la miel tiene una viscosidad mucho mayor que el agua.



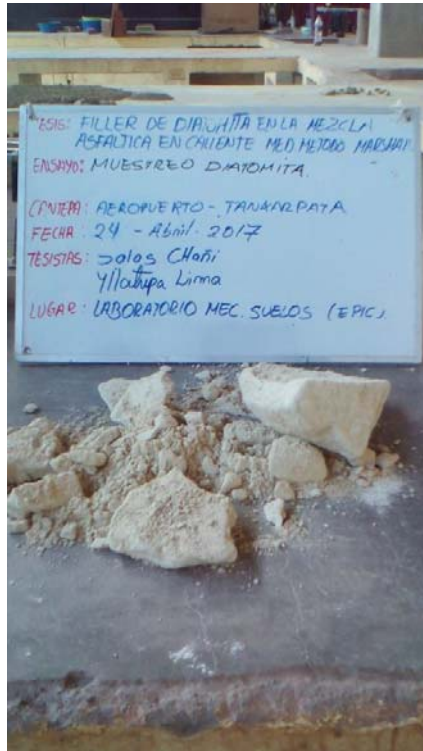
ANEXOS



Clase Bacillariophyceae (grupo de diatomeas)



Diatomita sectorizada en Cusco



Diatomita sectorizada en Cusco



Alicuota(Ensayo de sales solubles)



Disolucion de Sulfato Magnesio en agua destilada



Control de Temperatura



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 75 µm (N° 200) POR LAVADO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO,
 MTC E 202 - 2000



I) Datos Generales

CANTERA : Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA : 24/02/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

B:	Peso seco de la muestra original (gr)	3,332.00
C:	Peso seco de la muestra despues de lavado (gr)	3,298.00

$$\% \text{de finos} = \frac{B-C}{B} \times 100\%$$

Descripción		Unidad
Porcentaje de finos que pasa el tamiz 75µm	1.03	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 75 µm (N° 200) POR LAVADO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO,
 MTC E 202 - 2000



I) Datos Generales

CANTERA : Arena Kunyac - Arena fina
FECHA : 24/02/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

B:	Peso seco de la muestra original (gr)	1,360.00
C:	Peso seco de la muestra despues de lavado (gr)	1,342.00

$$\% \text{de finos} = \frac{B-C}{B} \times 100\%$$

Descripción		Unidad
Porcentaje de finos que pasa el tamiz 75µm	1.34	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 75 µm (N° 200) POR LAVADO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO,
 MTC E 202 - 2000



I) Datos Generales

CANTERA : Morro Blanco - Arena Chancada
FECHA : 24/02/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

B:	Peso seco de la muestra original (gr)	1,102.00
C:	Peso seco de la muestra despues de lavado (gr)	1,006.00

$$\% \text{de finos} = \frac{B-C}{B} \times 100\%$$

Descripción		Unidad
Porcentaje de finos que pasa el tamiz 75µm	9.54	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO

LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL
EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
MTC E 204 - 2000, ASTM C 136 Y AASHTO T 27



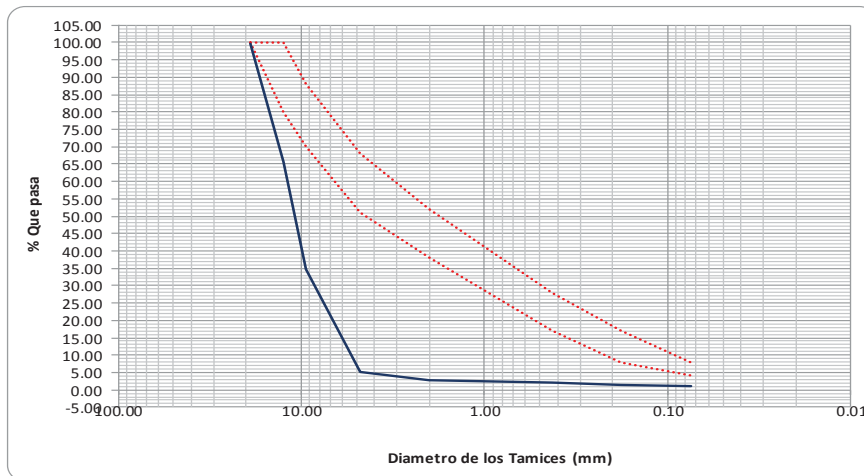
I) Datos Generales

CANTERA : Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA : 6/03/2017

II) Datos Técnicos - Análisis Agregado Grueso

Peso muestra (gr) : 3332.00
Peso despues de tamizado (gr) : 3334.00

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado	MAC 2
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	
3/4"	19.00	12.0	11.99	0.36	0.36	99.6	100.00 a 100.00
1/2"	12.50	1134.0	1133.32	34.01	34.37	65.6	80 a 100
3/8"	9.50	1032.0	1031.38	30.95	65.33	34.7	70 a 88
N° 4	4.75	990.0	989.41	29.69	95.02	5.0	51 a 68
N° 10	2.00	72.0	71.96	2.16	97.18	2.8	38 a 52
N° 40	0.43	30.0	29.98	0.90	98.08	1.9	17 a 28
N° 80	0.18	12.0	11.99	0.36	98.44	1.6	8 a 17
N° 200	0.075	16.0	15.99	0.48	98.92	1.1	4 a 8
CAZUELA	0.00	36.0	35.98	1.08	100.00	0.0	
		3334.0	3332.00	100.00			





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO

LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017

POR TAMIZADO - MTC E 204 - 2000, ASTM C 136 Y AASHTO T 27



I) Datos Generales

CANTERA : Morro Blanco - Arena Chancada

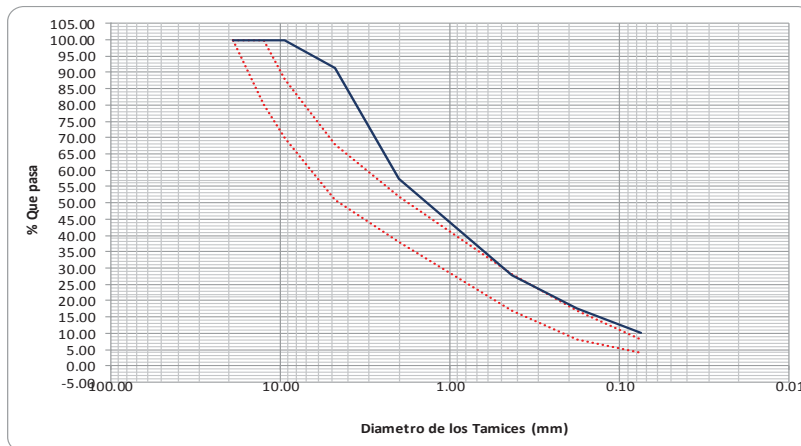
FECHA : 7/03/2017

II) Datos Técnicos - Análisis Agregado Grueso

Peso muestra (gr) : 1102.00

Peso despues de tamizado (gr) : 1101.00

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado	MAC 2
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00 a 100.00
1/2"	12.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	80 a 100
3/8"	9.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	70 a 88
Nº 4	4.75	95.0	95.09	8.63	8.63	91.4	51 a 68
Nº 10	2.00	376.0	376.34	34.15	42.78	57.2	38 a 52
Nº 40	0.43	326.0	326.30	29.61	72.39	27.6	17 a 28
Nº 80	0.18	112.0	112.10	10.17	82.56	17.4	8 a 17
Nº 200	0.075	82.0	82.07	7.45	90.01	10.0	4 a 8
CAZUELA	0.00	110.0	110.10	9.99	100.00	0.0	
		1101.0	1102.00	100.00			





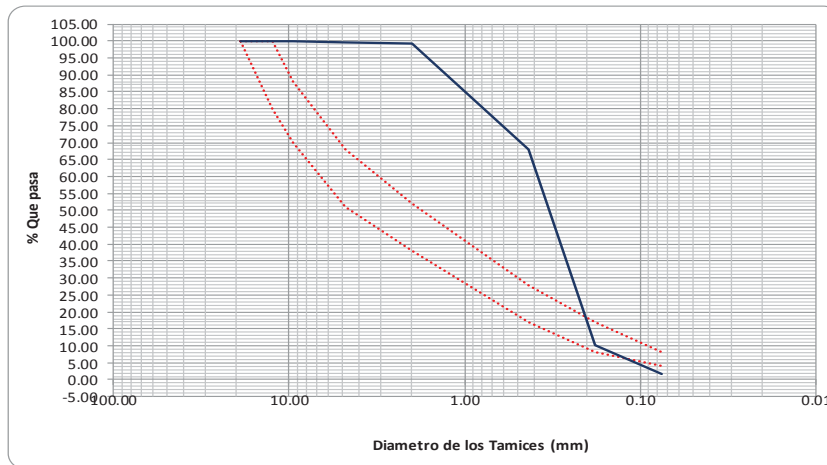
I) Datos Generales

CANTERA : Arena Kunyac - Arena fina
FECHA : 8/03/2017

II) Datos Técnicos - Análisis Agregado Grueso

Peso muestra (gr) : 1360.00
 Peso despues de tamizado (gr) : 1354.00

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado	MAC 2
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00 a 100.00
1/2"	12.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	80 a 100
3/8"	9.50	0.0	0.00	0.00	0.00	100.0	70 a 88
N° 4	4.75	6.0	6.03	0.44	0.44	99.6	51 a 68
N° 10	2.00	4.0	4.02	0.30	0.74	99.3	38 a 52
N° 40	0.43	422.0	423.87	31.17	31.91	68.1	17 a 28
N° 80	0.18	782.0	785.47	57.75	89.66	10.3	8 a 17
N° 200	0.075	116.0	116.51	8.57	98.23	1.8	4 a 8
CAZUELA	0.00	24.0	24.11	1.77	100.00	0.0	
		1354.0	1360.00	100.00			



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO****LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
 FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 205 - 2000, ASTM C 128 Y AASHTO T 84

**I) Datos Generales**

CANTERA : Morro Blanco - Arena Chancada
FECHA : 09/03/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A: Peso al aire de la muestra desecada (gr): 486.00
 B: Peso del picnómetro o matraz aforado lleno de agua (gr): 652.00
 C: Peso total del picnómetro o matraz aforado con la muestra y lleno de agua: 958.00
 S: Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr): 500.00

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente(SSS)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{A - S}{S} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
Peso específico aparente (gr)	2.505	
Peso específico aparente (Saturado con Superficie Seca) (gr)	2.577	
Peso específico nominal (gr)	2.700	
Absorción	2.88	%

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO****LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
 SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 205 - 2000, ASTM C 128 Y AASHTO T 84

**I) Datos Generales**

CANTERA : Arena Kunyac - Arena fina
FECHA : 03/03/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A: Peso al aire de la muestra desecada (gr): 490.00
 B: Peso del picnómetro o matraz aforado lleno de agua (gr): 676.00
 C: Peso total del picnómetro o matraz aforado con la muestra y lleno de agua (gr): 984.00
 S: Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr): 500.00

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente(SSS)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{A - S}{S} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
Peso específico aparente	2.552	
Peso específico aparente (Saturado con Superficie Seca)	2.604	
Peso específico nominal	2.692	
Absorción	2.04	%

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO****LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS
 FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL EN EL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD
 DEL CUSCO, 2016-2017

MTC E 205 - 2000, ASTM C 128 Y AASHTO T 84

**I) Datos Generales**

CANTERA Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA 09/03/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A: Peso al aire de la muestra desecada (gr): 486.00
 B: Peso del picnómetro o matraz aforado lleno de agua (gr): 652.00
 C: Peso total del picnómetro o matraz aforado con la muestra y lleno de agua: 958.00
 S: Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr): 500.00

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente (SSS)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{A - S}{S} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
Peso específico aparente (gr)	2.505	
Peso específico aparente (Saturado con Superficie Seca) (gr)	2.577	
Peso específico nominal (gr)	2.700	
Absorción	2.88	%

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO****LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC**

ABRASION LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES A 1 1/2"
 FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL EN
 EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL,
 CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017

MTC E 207 - 2000, ASTM C - 535, AASHTO T - 96

**I) Datos Generales**

CANTERA Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA 03/03/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

Peso de la muestra de agregado (gr)	5,000.00
Peso de la muestra despues de ensayada retenida en el tamiz #12 (gr)	3,550.00
Granulometria del ensayo	B
Numero de esferas	11

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
A: Peso de la muestra de agregado	5,000.00	gr
B: Peso de la muestra despues de ensayada retenida en el tamiz	3,550.000	gr
% de desgaste	29.00	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO
 METODO MARSHALL EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA
 MTC E 209 - 2000, NTP 400.016



I) Datos Generales

CANTERA Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA 17/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	Gradación Original de la muestra (%)	Peso de las fracciones comprendidas antes del ensayo	Peso retenido despues del ensayo	Perdida Total	Perdida Corregida
-	1"	0.00				
1"	3/4"	0.36				
3/4"	1/2"	34.01	510.30	435.70	14.62	4.97
1/2"	3/8"	30.95	302.20	256.30	15.19	4.70
3/8"	N° 4	29.69				
N° 4	N° 10	2.16				
N° 10	N° 40	0.90				
N° 40	N° 80	0.36				
N° 80	N° 200	0.48				
N° 200	CAZUELA	1.08				
% de durabilidad al sulfato de magnesio						9.67%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA
 EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL,
 MTC E 220 - 2000, NTL - 355



I) Datos Generales

CANTERA Morro Blanco - Arena Chancada
FECHA 19/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

Solución de Ensayo	Índice de Adhesividad Riedel - Weber	Molaridad	Desplazamiento	
			Parcial	Total
Agua destilada	0	-		
Carbonato Sódico Disolución de Concentración	1	M/256		
	2	M/128		
	3	M/64		
	4	M/32		
	5	M/16		
	6	M/8		
	7	M/4		
	8	M/2		
	9	M/1	*	
-	10	-		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA
 EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL,
 MTC E 220 - 2000, NTL - 355



I) Datos Generales

CANTERA Arena Kunyac - Arena fina
FECHA 15/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

Solución de Ensayo	Indice de Adhesividad Riedel - Weber	Molaridad	Desplazamiento	
			Parcial	Total
Agua destilada	0	-		
Carbonato Sódico Disolución de Concentración	1	M/256		
	2	M/128		
	3	M/64		
	4	M/32		
	5	M/16		
	6	M/8		
	7	M/4	*	
	8	M/2		
	9	M/1		*
-	10	-		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES
 FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO
 MARSHALL EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA
 PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 219 - 2000



I) Datos Generales

CANTERA Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA 04/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A:	Peso de la muestra de agregado seco (gr):	587.67
B:	Volumen acumulado de agua destilada con sales diluidas (ml)	1,000.00
C:	Alicuota tomada del volumen previamente homogenizada (ml)	100.00
D:	Peso de las sales cristalizadas (gr):	0.02

$$\% \text{ Sales Solubles} = \frac{1}{\frac{Cx A}{DxB} - 1} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
Sales Solubles	0.03	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO,
 2016-2017
 MTC E 219 - 2000



I) Datos Generales

CANTERA : Morro Blanco - Arena Chancada
FECHA 05/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A:	Peso de la muestra de agregado seco (gr):	140.95
B:	Volumen acumulado de agua destilada con sales diluidas (ml)	1,000.00
C:	Alicuota tomada del volumen previamente homogenizada (ml)	100.00
D:	Peso de las sales cristalizadas (gr):	0.15

$$\% \text{ Sales Solubles} = \frac{1}{\frac{Cx A}{DxB} - 1} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
Sales Solubles	1.08	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO,
 MTC E 219 - 2000



I) Datos Generales

CANTERA Arena Kuniyac - Arena fina
FECHA 06/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A:	Peso de la muestra de agregado seco (gr):	134.35
B:	Volumen acumulado de agua destilada con sales diluidas (ml)	700.00
C:	Alicuota tomada del volumen previamente homogenizada (ml)	50.00
D:	Peso de las sales cristalizadas (gr):	0.02

$$\% \text{ Sales Solubles} = \frac{1}{\frac{Cx A}{DxB} - 1} \times 100\%$$

Descripción	PASA	Unidad
% Sales Solubles	0.21	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD
 MTC E 114 - 2000, ASTM D 2419 Y AASHTO T 1762



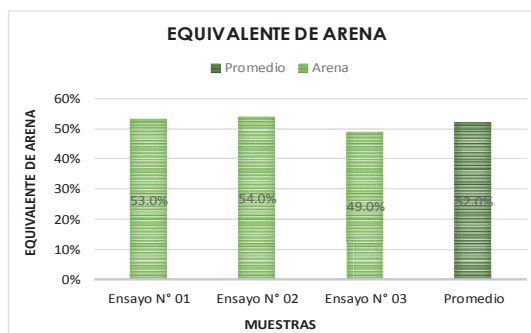
I) Datos Generales

CANTERA : Morro Blanco - Arena Chancada
 FECHA : 24/04/2018

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

$$\% \text{Equivalente de Arena} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100\%$$

DATOS DEL ENSAYO N°01	
Lectura de la Arcilla =	5.7 "
Lectura del Disco Indicador =	13.0 "
Lectura de la Arena =	3.0 "
Equivalente de Arena =	53%
DATOS DEL ENSAYO N°02	
Lectura de la Arcilla =	5.4 "
Lectura del Disco Indicador =	12.9 "
Lectura de la Arena =	2.9 "
Equivalente de Arena =	54%
DATOS DEL ENSAYO N°03	
Lectura de la Arcilla =	6.0 "
Lectura del Disco Indicador =	12.9 "
Lectura de la Arena =	2.9 "
Equivalente de Arena =	49%
Equivalente de Arena=	52%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD
 MTC E 114 - 2000, ASTM D 2419 Y AASHTO T 1762



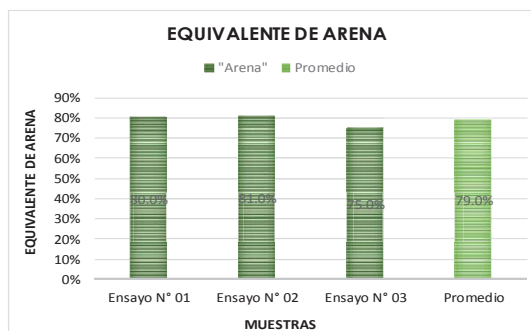
I) Datos Generales

CANTERA : Arena Kunyac - Arena fina
 FECHA : 24/04/2018

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

$$\% \text{Equivalente de Arena} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100\%$$

DATOS DEL ENSAYO N°01	
Lectura de la Arcilla =	5.3 "
Lectura del Disco Indicador =	14.2 "
Lectura de la Arena =	4.2 "
Equivalente de Arena =	80%
DATOS DEL ENSAYO N°02	
Lectura de la Arcilla =	5.1 "
Lectura del Disco Indicador =	14.1 "
Lectura de la Arena =	4.1 "
Equivalente de Arena =	81%
DATOS DEL ENSAYO N°03	
Lectura de la Arcilla =	5.2 "
Lectura del Disco Indicador =	13.9 "
Lectura de la Arena =	3.9 "
Equivalente de Arena =	75%
Equivalente de Arena=	79%



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO**

LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
 MARSHALL EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA
 PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 210 - 2000, ASTM D 5821

**I) Datos Generales**

CANTERA Morro blanco - Piedra Chancada 1/2"
FECHA 17/04/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

- A: Peso de la muestra (gr).
 B: Peso del material con caras fracturadas (gr).
 C: Porcentaje de caras fracturadas
 D: Porcentaje retenido gradación original.
 E: Promedio de caras fracturadas

Con una cara fracturada

Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	A(gr)	B(gr)	C	D (%)	E
3/4"	1/2"	419.00	69.00	16.47	34.01	560.12
1/2"	3/8"	515.00	46.00	8.93	30.95	276.48
Total					64.97	836.60
% con una cara fracturada						12.88%

Con dos caras fracturadas

Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	A(gr)	B(gr)	C	D (%)	E
3/4"	1/2"	419.00	300.00	71.60	34.01	2435.31
1/2"	3/8"	515.00	423.00	82.14	30.95	2542.42
Total					64.97	4977.73
% con una cara fracturada						76.62%
						13/77

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO**

LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 PESO ESPECIFICO Y UNITARIO DE MATERIALES BITUMINOSOS
 FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN EL LABORATORIO
 MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 304 - 2000, ASTM D 5

**I) Datos Generales**

MATERIAL Asfalto PEN 85/100
FECHA 25/05/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

Descripción	Unidad (decimas de milimetro)
1° Penetración	92.00
2° Penetración	87.00
3° Penetración	89.00

Descripción	Promedio	Unidad
Penetración	89.33	Decimas de milimetro



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS



FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN EL LABORATORIO DE MECANICA SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 306 - 2000, ASTM D 113-99

I) Datos Generales

MATERIAL Asfalto PEN 85/100
FECHA 25/05/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

Descripción	Unidad (cm)
1° Muestra	165.00
2° Muestra	170.00
3° Muestra	168.00

Descripción	Promedio	Unidad
Penetración	167.67	cm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC
 PESO ESPECIFICO Y UNITARIO DE MATERIALES BITUMINOSOS



FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN EL LABORATORIO DE MECANICA SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017
 MTC E 318 - 2000, ASTM D 70 Y NTL 122/99

I) Datos Generales

MATERIAL Asfalto PEN 85/100
FECHA 25/05/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A: Peso del asfalto 222.53
 B: Peso del picnometro más agua 1,027.55
 C: Peso del picnometro más agua más asfalto 1,031.42

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B + A - C}$$

Descripción	PASA	Unidad
Peso específico	1.018	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO

LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS Y MATERIALES-FAIC

PESO ESPECIFICO Y UNITARIO DE MATERIALES BITUMINOSOS

FILLER DE DIATOMITA EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MEDIANTE METODO MARSHALL, EN EL LABORATORIO DE MECANICA SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, CIUDAD DEL CUSCO, 2016-2017

MTC E 318 - 2000, ASTM D 70 Y NTL 122/99



I) Datos Generales

MATERIAL Diatomita
FECHA 30/10/2017

II) Datos Técnicos (calculado en laboratorio)

A: Peso de la diatomita 147.40
B: Peso del picnometro más agua 676.52
C: Peso del picnometro más agua más diatomita 760.18

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B + A - C}$$

Descripción	PASA	Unidad
Densidad Relativa	2.31	



MTC E 504

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo está destinado para su empleo con mezclas densas bituminosas de laboratorio y aquellas producidas en planta, con agregados hasta de 25 mm de tamaño máximo y para recompactación de muestras de pavimentos asfálticos.

- 2.2 Los especímenes de mezclas bituminosas compactadas, moldeadas por este procedimiento son empleados para varios ensayos físicos tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. El análisis de densidad y vacíos también es conducido sobre especímenes para diseño de mezcla y evaluación de la compactación en campo.

Nota 1. Las mezclas no compactadas son empleadas para la determinación del peso específico teórico máximo.

- 2.3 Los valores de estabilidad Marshall y flujo junto con la densidad, vacíos de aire de la mezcla total, vacíos en el agregado mineral ó simplemente vacíos ó ambos, llenados con asfalto; son empleados para el diseño de mezclas en laboratorio así como para la evaluación de mezclas asfálticas. Así también la estabilidad y flujo Marshall pueden ser empleados para monitorear los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta. También pueden ser empleados como referencia para evaluar diferentes mezclas y los efectos de acondicionamientos tales como con agua.

- 2.4 La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado así como su cantidad. Varias agencias establecen criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica ó inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida.

- 2.5 Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante. El rango de contenido de ligante generalmente es seleccionado en base a la experiencia y datos históricos de los materiales componentes, pero puede incluir también juicio y error para incluir el rango deseable de las propiedades de la mezcla. Las mezclas densas generalmente mostrarán un pico en la estabilidad a un determinado contenido de ligante. Este pico en el contenido de ligante puede ser promediado con otros contenidos de ligante tal como el contenido de ligante en el contenido de la máxima densidad de la curva ligante-densidad y el contenido de ligante en los vacíos de aire deseados y vacíos llenados.

- 2.6 La estabilidad y flujo Marshall efectuados en laboratorio de campo, obtenida de especímenes hechos de mezclas producidas en planta pueden variar significativamente de los valores de diseño obtenidos en el laboratorio debido a las diferencias del mezclado que hay entre una



PERU

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

planta y la efectuada en laboratorio. Esto también incluye la eficiencia en el mezclado y el envejecimiento producido.

- 2.7 Las diferencias significativas en la estabilidad y flujo Marshall de un grupo de ensayos a otro ó de un valor promedio de un grupo numerosos de datos ó especímenes preparados de una mezcla producida en planta puede indicar pobre mezclado, técnicas incorrectas de ensayo, cambio de gradación, cambio del contenido de ligante, ó mal funcionamiento del proceso de planta. La fuente de la variación deberá ser averiguada y el problema resuelto.
- 2.8 Los especímenes a menudo serán preparados empleando el método indicado aquí, pero pueden ser preparados empleando otros tipos de procedimientos de compactación. Otros tipos de compactación pueden hacer variar las características de resistencia en comparación con los preparados por el método Marshall.
- 2.9 Los valores de estabilidad y flujo Marshall pueden ser determinados también empleando núcleos provenientes de un pavimento para información y evaluación. Sin embargo estos resultados no pueden ser comparados con resultados de especímenes preparados en laboratorio y no deberán ser empleados para propósitos de especificación ó aceptación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM-D6926: "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus".
- 3.2 ATM D 6927: "Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES

- 4.1.1 Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión cumplirán con los detalles mostrados en la Figura 1.
- 4.1.2 Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción.
- 4.1.3 Martillos de Compactación:
 - 4.1.3.1 Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo 1) ó manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente ó a mano como se muestra en la Figura 2, tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm (ver la Figura 2 para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra en la Figura 2.

Nota 2. Los martillos manuales de compactación deberán ser equipados con una protección de seguridad para los dedos.

- 4.1.3.2 Martillo de Compactación con Manubrio Fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente (Tipo 3), deberá tener la cara circular de apisonado y un peso deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con una caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm. Posee un mecanismo de rotación en la base. La velocidad de rotación de la base y la razón de golpes será de 18 a 30 rpm y 64 ± 4 golpes por minuto respectivamente.

Nota 3. El aparato para martillo Marshall tipo 3 está disponible en versiones con más de un martillo. La operación múltiple de varios martillos afectará la densidad de un espécimen. Mejores resultados comparativos se obtendrán compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin la operación de ningún otro.

- 4.1.3.3 Pedestal de Compactación, Consistirá de un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor. Este podrá ser de roble, pino amarillo u otra madera que tenga un promedio de densidad de 670 a 770 kg/m³. El poste de madera estará asegurado por pernos a través de 4 ángulos a un bloque de concreto. La placa de acero deberá estar firmemente fijada al poste. El pedestal ensamblado será instalado de tal manera que el poste esté a plomo y la placa nivelada.
- 4.1.3.4 Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores de moldes de compactadores multimartillos necesariamente no estarán centrados. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.
- 4.1.3.5 Hornos, cacerolas para calentado ó placas calentadoras, Los hornos serán de aire circulante ó termostáticamente controlados, las cacerolas de calentamiento y las placas calentadoras serán proveídos para calentar los agregados, el material bituminoso, los moldes de especímenes, martillos de compactación y otros equipos a 3°C de las temperaturas requeridas para el mezclado y la compactación. Protecciones adecuadas ó baños de arena se emplearán sobre la superficie de las placas calentadoras para minimizar el sobrecalentamiento local.
- 4.1.4 Equipo Misceláneo
- 4.1.4.1 Aparatos de Mezclado, Se recomienda el mezclado mecánico. Cualquier tipo de mezclador mecánico puede ser empleado siempre y cuando la mezcla se mantenga a la temperatura de mezclado requerida y se produzca una mezcla homogénea y bien cubierta en la cantidad requerida y en un tiempo pertinente, así también que permita que toda la mezcla sea recuperada. Una bandeja de metal ó bato de suficiente capacidad para el mezclado a mano puede ser empleado.
- 4.1.4.2 Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano, ú otros adecuados.
- 4.1.4.3 Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso, ya sean latas tipo gill, vasos, potes de vaciado ú otras bandejas podrán ser empleadas.
- 4.1.4.4 Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas ó espátulas para batido y mezclado a mano.
- 4.1.4.5 Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio ó de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 3°C.
- 4.1.4.6 Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
- 4.1.4.7 Guantes, para maniobrar el equipo caliente.
- 4.1.4.8 Crayones de marcado, para identificar los especímenes.
- 4.1.4.9 Cucharón de base plana para bache los agregados.
- 4.1.4.10 Cuchará larga para colocar la mezcla en el molde de especímenes.
- 4.2 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO
- 4.2.1 Cabezal de Ruptura (ver Figura 3)
- 4.2.2 Máquina de Carga a Compresión (ver Figura 4).
- 4.2.3 Dispositivo de Medida de Carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf).
- 4.2.4 Medidor de Flujo.

- 4.2.5 Baño de Agua (precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$).
- 4.2.6 Horno, capaz de mantener la temperatura especificado $\pm 1^\circ\text{C}$.
- 4.2.7 Baño de Aire, para el caso de mezclas con asfaltos líquidos deberá ser automáticamente controlado y mantendrá la temperatura del aire a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
- 4.2.8 Termómetros, con precisión de $0,2^\circ\text{C}$.

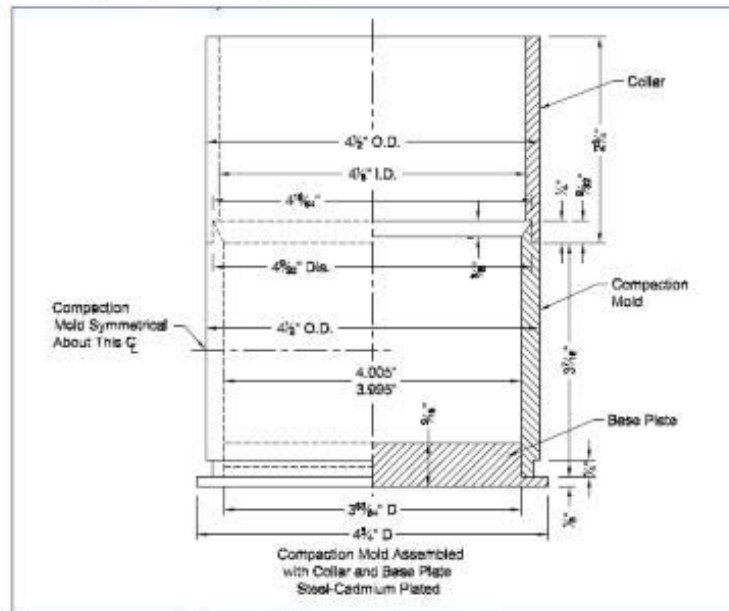


Figura 1. Molde de Compactación

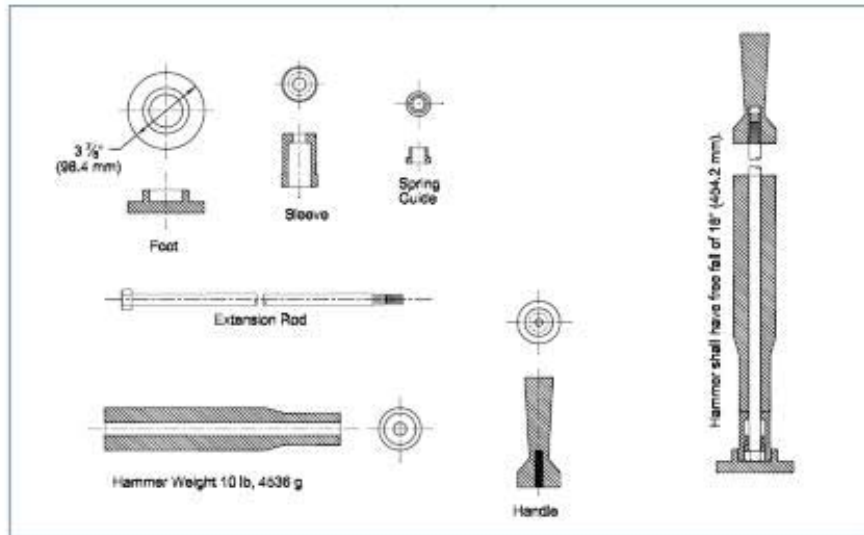


Figura 2. Martillo de Compactación

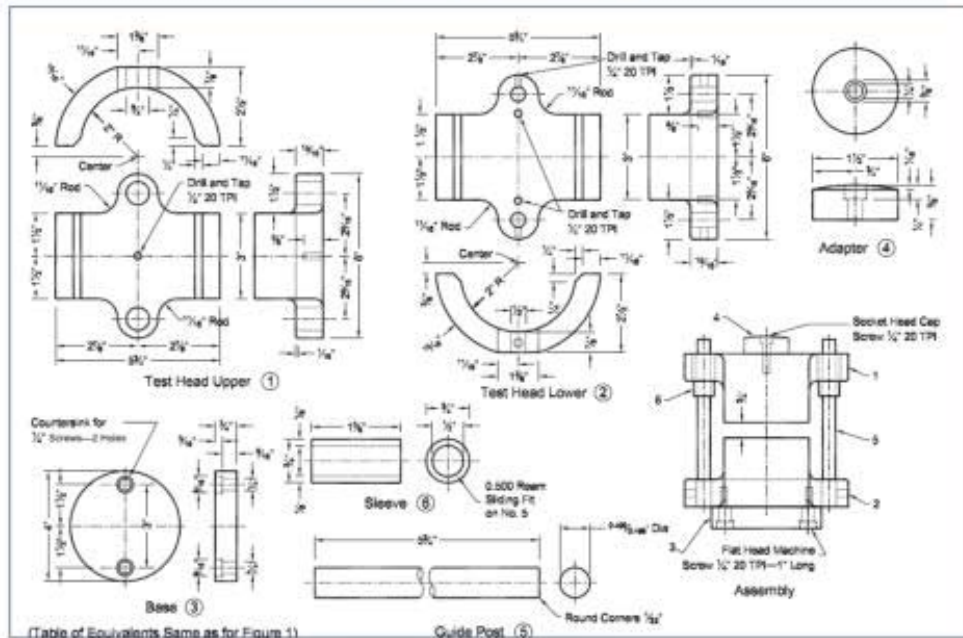


Figura 3. Cabezal de Rotura

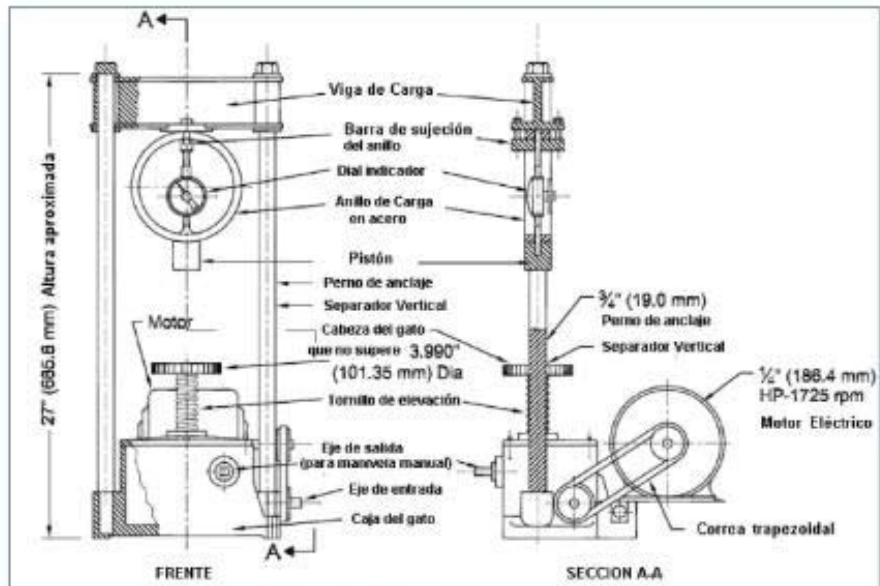


Figura 4. Máquina de Carga a Compresión

5.0 MUESTRA

5.1 No existe información al respecto para este método.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Especímenes de Ensayo

6.1.1 Preparación de Agregados, Secar los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho de 105 °C a 110 °C. Después del secado, separa los agregados por tamizado en seco en las fracciones deseadas. Las fracciones mínimas siguientes son las recomendadas:

- 25 a 19 mm (1 a ¾ pulg)
- 19 a 12,5 mm (¾ a ½ pulg)
- 12,5 a 9,5 mm (½ a 3/8 pulg)
- 9,5 a 4,75 mm (3/8 a N°4)
- 4,75 a 2,36 mm (N°4 a N°8)
- 2,36 mm (pasante la N°8)

6.1.2 Determinación de temperaturas de mezcla y compactación:

6.1.2.1 El cemento asfáltico empleado en preparar las muestras será calentado para producir viscosidades de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s para mezclado y compactado respectivamente. Un ejemplo de una carta viscosidad temperatura se da en la Figura 2 de D 2493.

Nota 4. La selección de las temperaturas de compactación y mezclado a viscosidades de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s, respectivamente no aplican a asfaltos modificados. El usuario contactará con el productor para establecer los rangos apropiados de temperaturas de compactación y mezclado.



- 6.1.2.2 Mezclas con Asfaltos Cut back, La temperatura a la cual un asfalto cut back será calentado para producir una viscosidad de 0,17 a 0,02 Pa.s será la temperatura de mezcla. La temperatura de compactación para mezcla de asfalto cut back se selecciona empleando una carta viscosidad versus porcentaje de solvente para asfaltos cut back. De la carta compuesta determine el porcentaje de solvente del asfalto cut back por peso a partir de su viscosidad a 60°C después que este haya perdido el 50% de su solvente (para asfaltos de curado medio y rápido) ó 20% de su solvente (para asfaltos de curado lento). La temperatura de compactación se determina de la carta viscosidad temperatura como aquella a la cual el asfalto cut back debe ser calentado para producir una viscosidad de 0,28 ± 0,03 Pa.s después de la pérdida de la cantidad especificada de solvente original.
- 6.1.2.3 Mezclas de Pavimentación Recompactadas, Los materiales obtenidos de un pavimento existente serán calentados en recipientes cubiertos en horno a 3°C de la temperatura de compactación deseada. El calentamiento durará lo suficiente como para obtener la temperatura deseada. Si la temperatura de compactación para una mezcla específica no se conoce, la experiencia ha mostrado que estas mezclas serán compactadas una temperatura entre 120 °C a 135 °C. Durante la preparación para el calentamiento a temperatura de compactación el material será calentado y trabajado hasta una condición de mezcla suelta. Cualquier agregado roto podrá ser removido. La estabilidad de mezclas recalentadas y recompactadas de pavimentos existentes es común que sea más alta que la original debido al endurecimiento del asfalto en servicio. El proceso de recalentamiento solo tendrá una menor influencia en el endurecimiento del asfalto.
- 6.1.3 Preparación de la Mezcla
- 6.1.3.1 Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas ó de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres ó cuatro especímenes.
- 6.1.3.2 Pesar en contenedores separados la cantidad de cada fracción de agregado requerida para producir una bachada que resultará en una, dos, tres o cuatro especímenes compactados de 63,5 ± 2,5 mm de altura (cerca de 1200, 2400, 3600 ó 4800 g respectivamente). Colocar los agregados de las bachadas en contenedores sobre una placa de calentamiento ó en horno y calentar a temperatura por encima de, pero sin exceder la temperatura de mezcla establecida en 6.1.2 por más de 28 °C para mezclas con cemento asfáltico y brea y 14 °C para mezclas con asfaltos cut back. Cargar el contenedor de la mezcla con el agregado caliente y mezclar en seco con cuchara (por 5 s, aprox.) con cuchara ó pala. Formar un cráter en el agregado mezclado seco y pese la cantidad requerida de material bituminoso a la temperatura de mezcla dentro de la mezcla. Para mezclas preparadas con asfaltos cut back introducir la espátula en el bowl de mezclado y determinar el peso total de los componentes de la mezcla más el bowl y la espátula antes de proceder con el mezclado. Se debe ejercer cuidado para prevenir la pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsecuente manipuleo. En este punto la temperatura de la mezcla deberá estar entre los límites de aquella determinada en 6.1.2. Mezclar los agregados y el material bituminoso rápidamente hasta que estén cubiertos totalmente por 60 s para bachadas simples y por 120 s para bachadas para especímenes múltiples.
- 6.1.3.3 Acondicionar las bachadas simples en contenedores de metal cubiertos en horno a 8 °C a 11 °C por encima de la temperatura de compactación establecida en 6.1.2 para un mínimo de 1 h y máximo de 2 h.
- 6.1.3.4 Para muestras de múltiples bachadas, colocar la bachada total en una superficie limpia no absorbente. Mezcle a mano para asegurar uniformidad y cuartear a un tamaño de muestra para conformar el espécimen de altura requerida. Para cementos asfálticos y alquitrán poner las muestras en contenedores de metal cubiertos y en un horno ventilado a la temperatura establecida en 6.1.3.2 para acondicionarlos por espacio mínimo de 1 h y máximo de 2 h. Curar la mezcla de asfalto cut back en el bowl de mezclado en un horno ventilado mantenido aproximadamente a 11 °C por encima de la temperatura de compactación. El curado debe ser continuado en el bowl de mezclado hasta una pérdida



PERU

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

precalculada de 50% en peso del solvente. La mezcla puede ser batida en el bowl de mezclador durante el curado para acelerar la pérdida de solvente. Sin embargo se debe tener cuidado para prevenir la pérdida de mezcla. Pesar la mezcla durante el curado a intervalos consecutivos de 15 min inicialmente y menos de 10 min conforme se aproxima al peso de la mezcla con el 50% de pérdida de solvente.

- 6.1.3.5 Otros materiales bituminosos ó producidos en planta pueden requerir técnicas especiales de curado.

Nota 5. Calentar las mezclas por un período de tiempo antes de la compactación puede resultar en especímenes que tengan propiedades diferentes de aquellos que son compactados inmediatamente después de su mezclado (el criterio Marshall Original está basado en un procedimiento sin curado).

- 6.1.4 Compactación de los Especímenes:

- 6.1.4.1 Limpiar completamente el molde ensamblado y la cara del martillo de compactación y calentarlos ambos en agua hirviendo en horno ó en una placa calentadora a temperatura entre 90 y 150 °C. Colocar un pedazo de papel no absorbente cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla. Colocar la mezcla en el molde, chusear vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Colocar otra pieza de papel no absorbente para que encaje en la parte superior de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar entre los límites de las temperaturas de compactación establecida en 6.1.2.

- 6.1.4.2 Colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y aplicar el número requerido de golpes con el martillo especificado de compactación. Remover la placa de base y el collar y voltear y reensamble el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara reversa del espécimen. Después de la compactación, remover el collar y la placa de base. Permitir que el espécimen se enfríe lo suficiente para prevenir algún daño y extraer el espécimen de su molde. El enfriar los especímenes en el molde puede ser facilitado por su inmersión en agua fría. Para facilitar la extracción, el molde y el espécimen pueden ser brevemente sumergido en agua en un baño de agua caliente para calentar el molde de metal y reducir la distorsión del espécimen. Cuidadosamente transfiera el espécimen a una superficie suave y plana y permita que se enfríen a temperatura de sala (puede ser toda la noche). Se puede emplear también un ventilador para facilitar el enfriado.

- 6.1.4.3 Cuando se lleva a cabo la compactación con el martillo operado manualmente, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la perpendicular de la base del molde ensamblado como sea posible. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico de cualquier tipo debe ser empleado para restringir el manubrio del martillo en posición vertical durante la compactación.

Nota 6. El vástago del martillo debe ser limpiado y aceitado ligeramente.

- 6.1.5 Ensayo de Estabilidad y Flujo.

- 6.1.5.1 Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

- 6.1.5.2 Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk de los especímenes para cada contenido de ligante estarán dentro de $\pm 0,020$ del promedio tal como se indica en D 6926.

- 6.1.5.3 Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507.



- 6.1.5.4 Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. O colocarlos en horno de 120 a 130 min.
- 6.1.5.5 Mantener el baño u horno a 60 ± 1 °C para cemento asfáltico, 49 ± 1 °C para alquitrán con caucho y 38 ± 1 °C para alquitrán.
- 6.1.5.6 Llevar los especímenes preparados con asfalto líquido a temperatura colocándolos en el baño de aire por 120 a 130 min. Mantener el baño de aire a 25 ± 1 °C.
- 6.1.5.7 Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
- 6.1.5.8 Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.
- 6.1.5.9 El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de $63,5 \pm 2,5$ mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la tabla 1 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera:

$$A = B \times C$$

Donde:

- A = Estabilidad corregida.
- B = Medida de la estabilidad (carga).
- C = Razón de correlación de la tabla 1.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Identificación de la muestra (número, si es mezcla de laboratorio ó de planta ó núcleo del pavimento).
- 7.2.2 Tipo de material bituminoso, fuente y grado.
- 7.2.3 Tipos de agregado, fuente y gradación.
- 7.2.4 Tipo y tiempo de curado antes de la compactación.



- 7.2.5 Tipo de martillo (sostenido manualmente, ó fijo, mecánicamente ó manualmente operado, pie de martillo plano ó sesgado).
- 7.2.6 Número de golpes por lado.
- 7.2.7 Temperatura de mezclado.
- 7.2.8 Temperatura de Compactación.
- 7.2.9 Tipo y tiempo de curado.
- 7.2.10 Peso específico bulk individual y promedio.
- 7.2.11 Altura de cada espécimen de prueba en milímetros aproximación de 0,25 mm.
- 7.2.12 Valores individuales y promedio de la estabilidad Marshall (corregidos y sin corregir, si se requiere) aproximación de 50 N.
- 7.2.13 Valores individuales y promedio del flujo Marshall en unidades de 0,25 mm.
- 7.2.14 Temperatura del Ensayo de estabilidad y flujo.

TABLA 1. Factores de Estabilidad de Correlación ^A

Volumen del espécimen, cm ^{3B}	Espesor del espécimen ^B		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76



PERU

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

^A Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para $2 \frac{1}{2}$ " (63,5 mm) del espécimen.

^B La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4" (101,6 mm).

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISIÓN

8.1.1 No se aplica una regla de precisión para esta práctica. Los especímenes deberán ser aceptados ó rechazados por otros ensayos basados en requerimientos del criterio que está siendo aplicado. Para la determinación de la estabilidad y flujo Marshall de acuerdo a la Práctica D 6926, emplee solo aquellos especímenes replicados que tienen peso específico bulk dentro de $\pm 0,02$ de su promedio.

Nota 7. Para dos especímenes preparados por laboratorios participantes en un programa de ensayo AMRL, un solo operador 1s y la deferencia aceptable de dos resultados, d_{2s} , para el peso específico bulk fue de 0,007 y 0,020 respectivamente. Los resultados de estos ensayos se encuentran disponibles como un reporte de investigación.



MTC E 505

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el valor del porcentaje de vacíos en mezclas bituminosas compactadas densas y abiertas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El porcentaje de vacíos, de mezclas bituminosas es usado como uno de los criterios tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM 3203: "Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures".

4.0 EQUIPO, MATERIALES Y REACTIVO

- 4.1 Equipos misceláneos

5.0 MUESTRA

- 5.1 Las muestras para este ensayo serán de mezclas compactadas en laboratorio y núcleos de mezclas compactadas obtenido en campo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Para mezclas asfálticas densas. Se determina el peso específico aparente de la mezcla compactada mediante las normas MTC E 514 ó MTC E 506. Se determina el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508, sobre una mezcla asfáltica comparable para evitar la influencia de la diferencia de gradación, del contenido de asfalto, etc.

- 6.2 Para mezclas asfálticas abiertas. Se determina el peso unitario de una probeta, conformada en forma regular, de una mezcla asfáltica compactada, a partir de su peso seco (en gramos) y de su volumen (en cm^3). Mídase la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo mídase su diámetro en cuatro sitios diferentes y calcúlese su promedio. Calcúlese el volumen de la muestra con base en la altura promedio y en la medida del diámetro.

Calcular el volumen del espécimen basado en promedio de alturas y medidas de diámetros.

Se convierte el peso unitario en peso específico aparente, dividiendo entre $0,99707 \text{ g/cm}^3$ o $997,07 \text{ kg/m}^3$, peso unitario del agua a 25°C . Determinese el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508, sobre una mezcla asfáltica comparable, para evitar la influencia de diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, etc.

- 6.3 Para Casos de frontera de una mezcla bituminosa será designado mezcla bituminosa de pavimento si los porcentajes de vacíos calculados estén basadas en el numeral 6.1 y 6.2 es 10% o más.

- 6.4 Para propósitos de arbitraje determine el peso específico bulk y la gravedad específica teórica máxima sobre porciones alícuotas de la misma muestra de mezcla compactada bituminosa de pavimento.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje de vacíos de una mezcla compactada bituminosa de pavimento como sigue:



Porcentaje de vacíos de aire = 100 x (1 - (pe bulk / pe teórico máximo))

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La precisión del método depende de la precisión de los métodos de ensayo de gravedad específico bulk y gravedad específico teórico máximo, esta computarizado por un proceso descrito en la práctica D 4460. Desde la computarización para el porcentaje de vacíos en 7.1.1 involucra el cociente de gravedad específica bulk dividido por el cociente de la gravedad específica teórica máxima usada en la siguiente formula.

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{Y}^2 \sigma_x^2 + \bar{X}^2 \sigma_y^2}{\bar{Y}^4}}$$

Donde:

$\sigma_{x/y}$ = desviación estándar para determinación de los límites de precisión de los resultados basados en los cocientes de los resultados de ensayos de los métodos MTC E-506, E-514, E-508.

\bar{X} = Promedio "X" resultados de ensayo de gravedad específica bulk, método de ensayo MTC E-506; E-514.

\bar{Y} = Promedio "Y" resultados de ensayo de gravedad teórica máxima, método de ensayo MTC E-508.

σ_x = Desviación estándar de X de los resultados de ensayos de gravedad específica bulk.

σ_y = Desviación estándar de Y de los resultados de ensayos de gravedad teórica máxima específica bulk.

8.1.2 Los criterios para juzgar y aceptar los resultados de porcentajes de vacíos se presentan de la siguiente forma.

	Desviación Estándar	Rango aceptable de dos resultados
Precisión del Operador	$\sigma_{x/y}$	$2,8 \sigma_{x/y}$



METROLOGIA E INGENIERIA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2612 - Lima C1 - Lima - Perú Central Telef.: (51) 1 713-3090 / (51) 713-8656 / 380 072 424
Consulta Técnica: (51) 1 713-5610 / 975 462 445 - RPM 4368 436 714
E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CF-0033-2018

Exp. 74256
Fecha de emisión: 2018-02-23
Página 1 de 2

1. **SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
2. **DIRECCIÓN** : Samuel Velarde 320 - Umacollo - Arequipa.
3. **EQUIPO MEDIDO** : **ANILLO DE CARGA**
- | | | | |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Marca | : BAKER | Alcance de indicación | : 50 kN |
| Modelo | : No indica | Tipo de indicación | : Analógico |
| N° de serie | : No indica | | |
| Código de identif. | : 547 (*) | | |
| Procedencia | : No indica | | |
| Ubicación | : No indica | | |
4. **FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN**
Calibrado el 2018-02-23 en el Laboratorio de Fuerza de METROIL S.A.C.
5. **MÉTODO DE CALIBRACIÓN**
La calibración se realizó por comparación indirecta, tomando como referencia el ME-002 Edición digital 01 "Procedimiento para la calibración de Instrumentos de Medida de Fuerza" del CEM de España.
6. **TRAZABILIDAD**
Los resultados son trazables a la unidad de medida del Sistema Internacional de Unidades (SI).
Se utilizaron los siguientes patrones

Trazabilidad	Patrón utilizado	
	Tipo de Patrón	Certificado de calibración
Patrones de Referencia INACAL - DM	Celda de Carga de 5 t	METROIL S.A.C. CF-0150-2017

7. **CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**
- | | | |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Temperatura ambiental | Inicial : 21,6 °C | Final : 21,6 °C |
| Humedad relativa | Inicial : 68,0 %H.R. | Final : 69,0 %H.R. |
| Presión atmosférica | Inicial : 1 001,0 mbar | Final : 1 001,0 mbar |
8. **OBSERVACIONES**
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
 - La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura k=2 con un nivel de confianza del 95%.
 - La periodicidad de las calibraciones está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.
 - El anillo de carga cuenta con un reloj comparador como indicador de Marca: BAKER; Modelo: J62A; Serie: P9046 y N° de certificado CL-0092-2018 de Metroil S.A.C.
 - El anillo de carga de carga se calibró hasta 35 kN a solicitud del cliente.
- (*) Grabado en el instrumento.

Ing. GERARDO A. GOICOCHEA DE LA CRUZ
Gerente Técnico
C.I.P.: 171505

Este documento no es válido sin el símbolo de acreditación. No se permite darlo de nuevo sin la acreditación otorgada por INACAL-DA.
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROIL S.A.C.



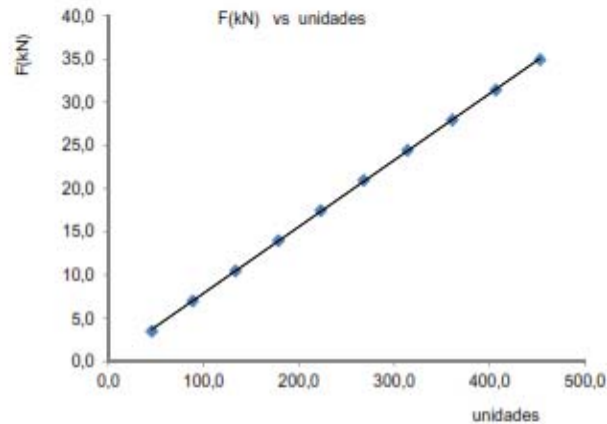
METROLOGIA E INGENIERIA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2618 Lima 01 - Lima - Perú Central Telef.: (51) 1 713-9030 / (511) 715-5656 / 080 072 424
Consulta Técnica: (511) 713-5610 / 975 472 445 / RPM 4350 436 714
E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe

Certificado de calibración N° CF-0033-2018
Página 2 de 2

9. Resultados

Fuerza de referencia	Deformación media con rotación	Incertidumbre típica combinada relativa	Incertidumbre relativa expandida
F(kN)	(unidades)	(%)	(%)
3,5	45,7	1,60	3,20
7,0	88,6	1,24	2,49
10,5	133,5	0,44	0,87
14,0	178,5	0,59	1,17
17,5	223,0	0,55	1,10
21,0	268,2	0,45	0,89
24,4	313,9	0,50	1,01
27,9	361,0	0,31	0,61
31,4	406,6	0,33	0,67
34,9	453,1	0,33	0,65



FIN DEL DOCUMENTO

Este documento es su propiedad. El símbolo de propiedad intelectual se encuentra dentro del marco de la propiedad intelectual otorgada por INACAL-DA.
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROIL S.A.C.

Ficha Técnica

Fecha Vigencia : 2017

DIACTIV 12

CARACTERISTICAS FISICAS TÍPICAS

Color		Blanco
Apariencia		Polvo
Origen		Diatomita Lacustre
Descripción		Filtrante calcinado con fundente
Densidad		
	Seca gr/cc (lbs/ft ³)	0.370 (23.1)
	Húmeda gr/cc (lbs/ft ³)	0.440 (27.5)
Retenido en malla 150, %		9.5
pH		8.6
Gravedad Especifica		2.3
Humedad %		< 1.0
Pérdida por calcinación		0.2
Permeabilidad, Darcy		0.96

ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO, %

SiO ₂	95.0
Al ₂ O ₃	1.5
Fe ₂ O ₃	0.5
P ₂ O ₅	0.2
TiO ₂	0.1
CaO	1.8
MgO	0.6
Na ₂ O + K ₂ O	1.5

Las propiedades físicas y químicas del producto aquí señalado, representan los promedios típicos obtenidos de acuerdo a pruebas y métodos aceptados y están sujetos a variaciones normales de todo proceso Industrial.

"Esta información no constituye una declaración o garantía, expresa o implícita, ni tampoco garantizamos los resultados que se lleguen a obtener. Imerys Minerales Arica Ltda., NO formula garantías de comercialización, ausencia de infracción o viabilidad de uso en relación con la venta de (de los) productos (s)."

Para mayor información consulte a nuestro servicio técnico.



PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERU

CLASE DE PRODUCTO		ASFALTO SÓLIDO		Fecha efectiva:		Enero 2014	
TIPO DE PRODUCTO		CEMENTO ASFÁLTICO		Reemplaza edición de:		Noviembre 2007	
NOMBRE DE PRODUCTO							
ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN							
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO				
	MIN.	MÁX.	ASTM	AASHTO			
PENETRACION	85	100	D-5	T-49			
a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm							
VOLATILIDAD							
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-62	T-48			
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228			
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51			
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % masa	99,0		D-2042	T-44			
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA							
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:							
Pérdida por calentamiento, % masa		1,0					
Penetración retenida, % del original	47+		D-5	T-49			
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	75		D-113	T-51			
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0			Francés RLB		
FLUIDEZ							
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar		D-2170	T-201			
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	170		D-2170	T-201			
REQUERIMIENTO GENERAL:							
El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.							
OBSERVACIONES:							
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.							

PETROPERU ... LA ENERGIA QUE MUEVE TU MUNDO