

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura Ingeniería Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS
UTILIZANDO EL METODO DEL ASFALTO ESPUMADO”.**

Tesis presentada por el Bachiller:

Gonzales Remond, Mario Hebert

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Febres Rosado, Olger

Arequipa- Perú

2017

“No es bueno si está terminado, está terminado si es bueno”

Adam Jones

*“no importa lo largo que el camino sea,
No importa lo lento que avances por él,
Lo importante es no quitar la vista de la meta”*

Jeremy Castillo

“...Y aquí la vida espera hoy, ¿Qué tienes para dar?”

Marcelo Corvalan

*“Sé muy bien de dónde vengo, pero no sé adónde voy,
Avanzando por instinto, estallado de pasión”.*

Marcelo Corvalan

“Hacia fuera de la espiral, sigue adelante”

Maynard James Keenan

AGRADECIMIENTOS

A Dios, al Señor de Huanca, a la
Virgen María y a San Pedro Claver.

Por su protección, bendición y por ser
mi fuente de fortaleza.

A la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil de la Universidad
Católica Santa María

Por la formación académica



DEDICATORIA

*A mi Papá, Mario
Por su motivación constante, consejos
Y por ser un pilar fundamental en mi vida
Y por darme la mejor arma
Para enfrentar a la vida:
Mi educación.*

*A mi Mamá, Patricia
Por su amor incondicional, Consejos,
Apoyo durante todos estos años,
Y por la formación para ser un hombre de bien*

*A mi hermano, Álvaro
Por ser amigo y
Por ser una fuente de respaldo
En todo momento
Con mucho cariño*

*A toda mi familia en especial
A mis abuelitas, Olga y Noemí
Porque sé que están orgullosas de mí
Cumpliré con mi promesa.*

*A Mía por tu amistad, cariño, por darme aliento,
Por tu apoyo incondicional que me demostraste todo este tiempo,
Por estar conmigo en las buenas y en las malas.
Simplemente gracias por todo.*

Resumen

Esta tesis trata en comparar las mezclas de asfalto en caliente convencional, con el asfalto espumado; demostrando los bondades que tiene esta nueva tecnología, por medio de ensayos de laboratorio, costos de ejecución y si es menos dañino al medio ambiente.

La concepción de esta tesis parte de la investigación, trabajo de laboratorio, los ensayos correspondientes de los agregados tanto finos como gruesos, trabajo de gabinete, los diseños de asfalto en caliente convencional y del asfalto espumado.

En el Primer capítulo, habla a manera de introducción conceptos del pavimento, sus tipos, etc. Planteamiento del problema, justificación, objetivos y limitaciones sobre esta tesis.

Para el segundo capítulo, trata del pavimento espumado, en que consiste, sus aplicaciones, ventajas y desventajas.

El tercer capítulo, consiste en el diseño de mezclas, en caliente y espumado, y todos los ensayos previos al diseño mencionado, el ensayo Marshall y todos los resultados obtenidos.

En el cuarto capítulo se hace una comparación sobre costos entre el asfalto en caliente convencional y el asfalto espumado, con sus respectivos presupuesto, costo unitarios, consumo y ahorro de combustible de una planta de asfalto.

Para el quinto capítulo, habla del medio ambiente y cómo influye la producción de asfalto en este, mencionando la ventaja que presenta el asfalto espumado frente al asfalto en caliente.

Finalmente se menciona las conclusiones que se han obtenido después de investigar, realizar los ensayos mencionados; y las recomendaciones.

Palabras Claves: Asfalto, Espumado, diseño

Abstract

This thesis tries to compare conventional hot asphalt blends with the new foamed asphalt technology; demonstrating the benefits of this, through laboratory tests, execution costs and if it is less harmful to the environment.

The conception of this thesis is part of research, laboratory work, corresponding tests of both fine and coarse aggregates, cabinet work, conventional hot asphalt design and foamed asphalt design.

In the first chapter, speaks of introduction concepts of pavement, types, Approach of the problem, justification, objectives and limitations on this thesis.

For the second chapter, it deals with the foamed pavement, in which it consists, its applications, advantages and disadvantages.

The third chapter consists of the design of pavements, hot and foam, and all the tests prior to the design mentioned, the Marshall test and all the results obtained.

In the fourth chapter a comparison is made of costs between conventional hot asphalt and foamed asphalt, with their respective budget, unit costs, consumption and fuel savings of an asphalt plant.

For the fifth chapter, talk about the environment and how the production of asphalt influences in this, mention the advantage that presents the asphalt foamed between asphalt in hot.

Finally the conclusions that have been obtained after investigating, carrying out the tests; and recommendations.

Key Words: Asphalt, foam, design

INDICE

	Pág.
Resumen	II
Abstract	III
INDICE	IV
LISTA DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE TABLAS	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	2
1.1. Definición y caracterización de los Pavimentos	3
1.1.1. Clasificación de los Pavimentos	4
1.1.2. Tipos de Pavimentos Flexibles.....	4
1.2. Reseña y antecedentes del pavimento espumado	6
1.3. Planteamiento del Problema	7
1.4. Justificación del Problema.....	8
1.5. Objetivos.....	9
1.5.1. Objetivo General	9
1.6. Limitaciones	10
CAPITULO II: EL PAVIMENTO ESPUMADO	11
2.1. Definición y caracterización de pavimentos espumados.....	12
2.2. Propiedades del pavimento espumado	14
2.2.1. Características de la razón de expansión y la vida media.....	15
2.3. Producción de asfalto espumado	17
2.4. Mezclas asfálticas Tibias (MAT) y el asfalto espumado	19
2.4.1. Tecnologías que producen mezcla asfáltica tibia.....	19
2.4.1.1. Proceso de espumación.....	19
2.4.1.1.1. Método Directo	20
2.5. Aplicaciones.....	20
2.6. Ventajas y desventajas	21
2.6.1. Ventajas	21
2.6.2. Desventajas.....	22
2.7. Experiencias realizadas con mezclas asfálticas tibias en otros países.....	22
CAPITULO III: DISEÑOS DE ASFALTOS EN CALIENTE CONVENCIONAL Y ESPUMADO	24
3.1 Objetivos del Estudio	25

3.2 Trabajos de Campo	25
3.2.1 Muestreo	25
3.3 Laboratorio.....	26
3.3.1. Ensayos y Requerimientos para el Agregado Grueso:	26
3.3.1.1. Ensayo de Durabilidad(al Sulfato de Magnesio) (MTC E 209)	27
3.3.1.2. Ensayo de Abrasión maquina Los Ángeles (MTC E 207).	32
3.3.1.3. Ensayo Índice de Durabilidad (MTC E 214)	35
3.3.1.4. Ensayo de Partículas Chatas y alargadas (ASTM 4791)	37
3.3.1.5. Ensayo de Caras fracturadas. (MTC E 210).....	40
3.3.1.6. Ensayo de Gravedad específica y absorción	42
3.3.1.7. Ensayo de pesos Unitarios.....	44
.3.3.2. Ensayos y Requerimientos para el Agregado Fino.....	46
3.3.2.1. Ensayo de equivalente de Arena (MTC E 114).....	47
3.3.2.2. Ensayo de Durabilidad Sulfato de Magnesio (MTC E 209).....	49
3.3.2.3. Ensayo de Índice de Durabilidad (MTC E 214).....	51
3.3.2.4. Limite líquido (MTC E 111).....	52
3.3.2.5. Limite Pastico (MTC E 111)	56
3.3.2.6. Ensayo de Gravedad específica y absorción	57
3.3.2.7. Ensayo de Pesos Unitarios	59
3.3.2.8. Ensayo Azul de Metileno (AASTHO TP 57).....	60
3.3.3. Ensayos de Granulometría (NTP 400.012).....	64
3.3.3.1. Granulometría para el Agregado Fino	64
3.3.3.2. Granulometría para el Agregado Grueso.....	67
3.3.3.3. Granulometría para mezcla de Agregados	69
3.4. Diseño de asfalto en caliente convencional.....	72
3.4.1. Cemento Asfáltico	73
3.4.2. Ensayo Marshall (método AASHTO T-245 y ASTM D-1559)	75
3.4.2.1. Ensayo de contenido óptimo de asfalto Pen	87
3.4.2.2. Ensayo de Pesos unitarios.....	89
3.4.2.3. Ensayo Porcentaje de vacíos.....	89
3.4.2.4. Prueba de Flujo	90
3.4.2.5. Ensayo de Estabilidad	90
3.4.2.6. Ensayo Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)(voids in the mineral aggregate)	90
3.4.2.7. Ensayo Porcentaje lleno con contenido Asfalto (V.F.A)(voids filled with asphalt)	91
3.5. Diseño de asfalto Espumado	95

3.5.1. Asfalto espumado al 1.0%.....	96
3.5.2. Asfalto espumado al 1.5%.....	97
3.5.3. Asfalto espumado al 2.0%.....	97
3.5.4. Asfalto espumado al 2.5%	97
3.5.5. Asfalto espumado al 3.0%.....	98
3.5.6. Ensayo Marshall para el Asfalto Espumado (método AASHTO T-245 y ASTM D-1559).....	98
3.5.6.1. Ensayo de Pesos unitarios.....	105
3.5.6.2. Ensayo Porcentaje de vacíos.....	105
3.5.6.3. Prueba de Flujo.....	105
3.5.6.4. Ensayo de Estabilidad.....	105
3.5.6.5. Ensayo Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA).....	105
3.5.6.6. Ensayo Porcentaje lleno con contenido Asfalto (V.F.A.).....	105
3.6. Conclusiones de Diseño	105
3.6.1. Diferencias entre diseño de mezcla asfáltica en caliente y mezcla de asfalto espumado.	108
CAPITULO IV: COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION DE ASFALTOS CALIENTE Y ESPUMADO PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA	109
4.2. Mezcla asfáltica en caliente	110
4.2.1. Análisis de costos unitarios de producción de asfalto en caliente.....	112
4.3. Mezcla de asfalto espumado.....	114
4.3.1. Análisis de costos unitarios de producción de asfalto espumado.....	115
4.3.2. Consumo y ahorro de combustible del asfalto espumado.....	116
4.3.3. Ganancia en la producción por año	117
4.4. Conclusiones	118
CAPITULO V: EL ASFALTO ESPUMADO Y EL MEDIO AMBIENTE.....	119
5.3. Conclusiones.	123
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
1. Conclusiones	125
2. Recomendaciones.....	127
BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS.....	128
1. Bibliografía.....	129
7.2. Anexo 1.....	133
7.3. Anexo 2.....	141
7.4. Anexo 3.....	143

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1: Capas de un pavimento flexible.	3
Figura 2: Pavimento Flexible en frio.....	5
Figura 3: Pavimento Flexible en caliente.....	6
Figura 4: Proceso de producción del asfalto espumado.....	13
Figura 5: Esquema del realizado por Ladis Csanyi.	14
Figura 6: Caracterización de Razón de Expansión y Vida Media	15
Figura 7: Dispositivo rociador y la espumacion	19
Figura 8: Proceso de expansion de la burbuja del Asfalto Espumado.....	20
Figura 9: Esquema de las distintas tecnologías asfálticas tibias.	19
Figura 10: Proceso De mezcla de los Procesos de espumación Con los agregados.	20
Figura 11: Ubicación de la cantera KM 19 - MTC.....	29
Figura 12: Sulfato de magnesio Heptahidratado	30
Figura 13: La solución de Sulfato de magnesio.....	31
Figura 14: recipientes de durabilidad al sulfato de magnesio.....	33
Figura 15: horno con las muestras.....	38
Figura 16: Maquina de Abrasión Los Ángeles.....	33
Figura 17: partícula alargada, ensayo de partículas chatas y alargadas.	37
Figura 18: Esquema de la cuchara de Casagrande	39
Figura 19: Representación del cierre de la ranura que forma la muestra.	55
Figura 20: Gráfica del índice de Plasticidad.....	56
Figura 21: Resultado del azul de Metileno.	57
Figura 22: Resultando del ensayo Azul de Metileno	64
Figura 23: Maquina Tamizadora mecánica	65
Figura 24: Curva granulométrica del agregado fino	67
Figura 25: Curva granulométrica del agregado grueso	69
Figura 26: Curva granulométrica de combinación de agregados	71
Figura 27: Cocina, olla y bandeja.....	74
Figura 28: Martillo compactador mecánico.....	77
Figura 29: Desmoldador de probetas.....	78
Figura 30: Molde de probetas	78
Figura 31: Máquina de Baño María.....	80
Figura 32: Máquina para ensayo Marshall y molde para probetas	80
Figura 33: Calentando Pen y los agregados	82
Figura 34: Asfalto en caliente convencional, obtenido en laboratorio.....	83
Figura 35: Chancado de probeta Asfalto en caliente, obtenido en laboratorio.....	84
Figura 36: Probeta Asfalto en caliente, obtenido en laboratorio	84
Figura 37: Probetas Asfalto en caliente parafinadas	85
Figura 38: Probetas listas para obtener el peso sumergido	86
Figura 39: Extracción de probetas del baño María.....	86
Figura 40: Toma de datos de estabilidad y flujo.....	87
Figura 41: Peso unitario vs Contenido de Asfalto.....	88

Figura 42: Estabilidad vs Contenido de Asfalto.....	94
Figura 43: Flujo vs Contenido de Asfalto.....	95
Figura 44: Porcentaje de vacíos vs Contenido de Asfalto	95
Figura 45: VMA vs Contenido de Asfalto.....	96
Figura 46: Agregado fino dosificado.....	96
Figura 47: Proceso de inyección de agua en el recipiente	101
Figura 48: Comportamiento a nivel micro de los componentes del asfalto espumado....	102
Figura 49: Materiales en proceso de mezclado.....	103
Figura 50: Mezcla de asfalto espumado.....	103
Figura 51: Planta de asfalto produciendo, emanando gases.....	122
Figura 52: Principales problemas ambientales al producir asfalto caliente.....	121
Figura 53: Consumo de energía, temperatura de los distintos tipos de asfalto... ..	122



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Requerimientos del Agregado grueso.	27
Tabla 2: tamices para la serie gruesa. Fuente: manual de ensayo de materiales 2016....	28
Tabla 3: Pesos de la serie gruesa. Fuente: manual de ensayo de materiales 2016	30
Tabla 4: Calculo del ensayo de durabilidad al Sulfato de Magnesio.....	32
Tabla 5: cargas del ensayo de abrasión.....	33
Tabla 6: gradaciones del ensayo de abrasión.....	34
Tabla 7: Calculo del ensayo de abrasión maquina Los Ángeles	35
Tabla 8: muestra en reposo, ensayo índice de durabilidad.	36
Tabla 9: Calculo de los pesos retenidos, ensayo partículas chatas y alargadas	40
Tabla 10: Calculo de partículas ni chatas ni alargadas, ensayo partículas chatas y alargadas	40
Tabla 11: Calculo de partículas chatas, ensayo partículas chatas y alargadas	40
Tabla 12: Calculo de partículas alargadas, ensayo partículas chatas y alargadas	42
Tabla 13: Calculo de porcentaje con una cara fracturada, ensayo caras fracturadas.....	41
Tabla 14: Calculo de porcentaje con dos caras fracturadas, ensayo caras fracturadas ...	41
Tabla 15: Calculo de gravedad específica, ensayo gravedad específica	43
Tabla 16: Calculo de la absorción, ensayo gravedad específica y absorción	43
Tabla 17: Calculo del peso unitario máximo, ensayo pesos unitarios.....	45
Tabla 18: Calculo del peso unitario mínimo, ensayo pesos unitarios	46
Tabla 19: Tabla resumen de los ensayos para el agregado grueso.	46
Tabla 20: Requerimientos del Agregado fino.	50
Tabla 21: Calculo del equivalente de arena	51
Tabla 22: Tamices para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.....	52
Tabla 23: Calculo para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio	51
Tabla 24: Calculo para el ensayo de índice de durabilidad	52
Tabla 25: Calculo para el ensayo de índice de plasticidad.....	60
Tabla 26: Calculo para la gravedad específica.....	61
Tabla 27: Calculo para la absorción del agregado fino.....	62
Tabla 28: Calculo para el peso unitario máximo del agregado fino	60
Tabla 29: Calculo para el peso unitario mínimo del agregado fino	60
Tabla 30: Tabla resumen de los ensayos para el agregado Fino.	64
Tabla 31: Calculo para la granulometría del agregado fino	70
Tabla 32: Calculo para la granulometría del agregado Grueso	72
Tabla 33: MAC-1.....	70
Tabla 34: Calculo para la granulometría de la combinación de agregados	71
Tabla 35: Características y propiedades del cemento asfaltico PEN 85/100.....	89
Tabla 36: Datos para expresar los cálculos del ensayo Marshall	87
Tabla 37: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.	90
Tabla 38: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.	90
Tabla 39: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.	90
Tabla 40: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.	90

Tabla 41: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.	88
Tabla 42: Cuadro resumen del ensayo Marshall.	92
Tabla 43: Contenido Optimo de asfalto.....	95
Tabla 44: Dosificación de materiales para asfalto espumado.....	96
Tabla 45: Contenido de agua 1.0%.....	96
Tabla 46: Contenido de agua 1.5%.....	97
Tabla 47: Contenido de agua 2.0%.....	97
Tabla 48: Contenido de agua 2.5%.....	100
Tabla 49: Contenido de agua 3.0%.....	106
Tabla 50: Datos para expresar los cálculos del ensayo Marshall del asfalto espumado.	104
Tabla 51: Tabla resumen de los ensayos Marshall para asfalto espumado.	105
Tabla 52: Tabla comparativa entre los asfaltos.....	107
Tabla 53: Para el asfalto en caliente costo de combustible por tonelada	116
Tabla 54: Para el asfalto espumado costo de combustible por tonelada.....	116
Tabla 55: Economía de combustible anual produciendo asfalto espumado.	117
Tabla 56: Comparación entre producción efectiva Asfalto caliente vs asfalto espumado	117
Tabla 57: Calculo de la ganancia en la producción por año con asfalto espumado.....	117



INTRODUCCIÓN

Las vías o carreteras a lo largo de la historia sirvieron para unir pueblos, generar comercio; en la actualidad continúan siendo muy importantes para el desarrollo de un país ya que brindan beneficios económicos, sociales, culturales, etc. Para optimizar sus funciones deben diseñarse, elaborarse y mantenerlas, con el fin de obtener los beneficios para el que fueron elaboradas.

Una de las principales preocupaciones de la actualidad es el cuidado del medio ambiente, y no se puede evitar hablar que dentro de estos proyectos se incluyen las vías de comunicación, que de alguna forma en el proceso de construcción de estos aporta al deterioro del medio ambiente. Esto ha despertado el interés por disminuir la incidencia en el daño ocasionado, implementando procesos y tecnologías que reducen este daño.

Es por esto que en la actualidad se están desarrollando metodologías que ayudan a la disminución del problema antes mencionado, una de estas metodologías es la fabricación y diseño de mezclas asfálticas con asfaltos espumados que brindan una serie de ventajas tanto económicas, sociales como ambientales que se mencionarán en la presente tesis.

La presente tesis se enfoca en la comparación del diseño, de una mezcla asfáltica en caliente y la mezcla asfáltica espumada (mezcla asfáltica tibia).

La Tesis se desarrollará en diferentes capítulos, iniciando con la información general del tema, el propósito de su realización, su justificación entre otra información. Se definirá de forma general las diferentes mezclas asfálticas existentes y de forma completa el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con el método Marshall y las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras (EG2013), ya que es una parte esencial para el desarrollo del diseño del asfalto espumado.

Con respecto al asfalto espumado, describiremos la tecnología de producción, las aplicaciones en el área de pavimentos y sus ventajas. En el caso de la investigación y las pruebas de laboratorio hechas con un diseño de mezcla asfáltica en caliente y las que tienen un diseño de mezcla asfáltica espumado, se mostrarán los resultados de dichas pruebas y se elaborarán las conclusiones y recomendaciones de dicho trabajo en laboratorio.



CAPITULO I: GENERALIDADES

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Definición y caracterización de los Pavimentos

El pavimento se define como, una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos, con el fin de mejorar el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas:

- Carpeta de rodadura: parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto (rígido), su función es de sostener directamente el tránsito.
- Base: es la capa inferior de la carpeta de rodadura, su función principal, es de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa puede ser de material granular.
- Sub-Base: capa que presenta espesor de diseño, su función es de soportar a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje. (<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2.pdf>)

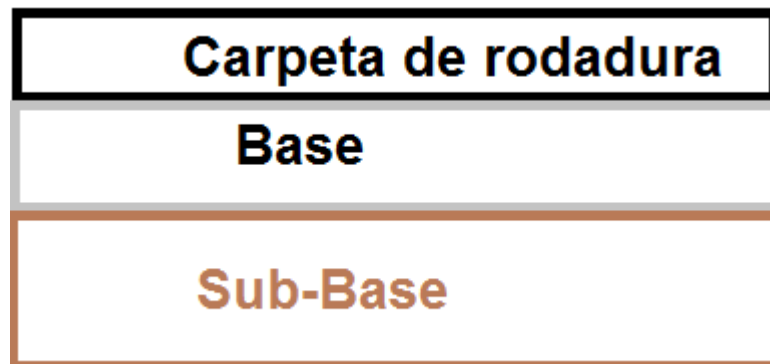


Figura 1: Capas de un pavimento flexible.
Fuente: Elaboración Propia

Un concepto más moderno define al pavimento como una estructura que se encuentra en carreteras, aeropuertos, calles, caminos, etc. constituida por un sistema de varias capas de espesores finitos (deforman, deflectan, desarrollan esfuerzos), asentados sobre un espacio considerado teóricamente elástico e infinito, llamado terreno de fundación. (Yamunaque, 2016)¹

1.1.1. Clasificación de los Pavimentos

En general se definen como pavimentos flexibles y rígidos, la principal diferencia es la forma en que distribuyen las cargas.

- Pavimento Flexible: aquellos formados por capas granulares (sub-base, base) y con la carpeta de rodadura conformada de materiales bituminosos como aglomerantes, agregados. Presenta dos tipos: mezclas asfálticas en frío y en mezclas asfálticas en caliente. La distribución de cargas está determinada por las características propias del sistema de capas.
- Pavimentos rígidos: formados por capas granulares y con una carpeta de rodadura de losa de concreto como: aglomerantes, agregados. Distribuyen las cargas en un área grande. (<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2.pdf>).

1.1.2. Tipos de Pavimentos Flexibles

- Pavimento Flexible en frío: es una mezcla de agregados (fino y grueso) con un ligante RC-250 o una emulsión asfáltica; la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente, presenta una menor durabilidad. (<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de-informacion-digital-on-line/07-02-13/2009/mezclas-asfalticas-en-frio-en-costarica.pdf>).

¹ Yamunaque Jorge Luis Ing, seminario sobre Asfaltos Cip sede Arequipa, julio 2016.



Figura 2: Pavimento Flexible en frío

FUENTE: Elaboración Propia.

- Pavimento Flexible en caliente: es una mezcla de un ligante con agregados (fino y grueso), su contenido óptimo de penetración varía entre 5.8% y 6.2%, la producción se realiza en una planta de asfalto, su producción se da a temperaturas de entre 140°C a 150°C, facilitando el proceso de mezcla. ²

Se utiliza en vías de gran tráfico, aeropuertos, etc.

². (<https://es.slideshare.net/leonel321/mezclas-asfalticas-2>)



Figura 3: Pavimento Flexible en caliente
FUENTE: Elaboración propia, planta de asfalto

- Pavimento flexible tibio o mezcla asfáltica tibia (MAT): es una variable del pavimento flexible en caliente, se produce a temperaturas entre 100°C y 135°C; resulta de utilizar nuevas tecnologías con materiales aditivados para mejorar su respuesta a favor del medio ambiente, mediante la economía de energía durante el proceso.

Los resultados obtenidos de estas mezclas en laboratorio y a corto plazo en campo muestran que las mezclas tibias adquieren un comportamiento igual o superior al de las mezclas convencionales, por consiguiente, no se tienen resultados en campo a largo plazo debido a su reciente empleo. Los más conocidos son: ⁵

- Asfalto espumado
- Asfalto con polímeros.
- Asfalto con aditivos químicos

2.1. Reseña y antecedentes del pavimento espumado

El Asfalto espumado, cuyo origen data del año 1956 con el Dr. Ladis H. Csanyi (Universidad del estado de Iowa –EEUU), mediante sus estudios demuestra la posibilidad de mezclar agregados (fino y grueso) con asfalto caliente, junto con agua; donde utilizó una inyección de vapor al mismo tiempo para formar espuma.

En el año de 1968 la empresa Mobil Oil desarrolló la primera cámara de expansión para mezclar agua fría en lugar de vapor con asfalto en caliente, para generar espuma; transformándose en un proceso más práctico, económico y menos riesgoso.

En 1971 Mobil Oil adquiere la segunda patente de la cámara de expansión, la tecnología fue expandida a 14 países.

La masificación del uso de la tecnología se da en 1991 (al expirar los derechos de las patentes), y tras varios estudios, nuevas tecnologías, comienza la primera generación de asfalto espumado. (Thenoux G. y Jamet, 2002)

¿Qué es el asfalto espumado?

Es una técnica que permite elaborar mezclas asfálticas, con procesos constructivos especializados, de muy alto rendimiento y un ahorro energético considerable, incluso pueden usarse en reciclado en frío de pavimentos asfálticos y estabilización de suelos.

El asfalto espumado puede utilizarse con una variedad de materiales, sean nuevos, reciclados e inclusive en aquellos que tienen un alto índice de plasticidad. El asfalto espumado puede ser aplicado por dos medios, en sitio que usualmente es el reciclado, o produciéndolo en una planta móvil.

Es un tipo de mezcla asfáltica tibia de la primera generación, cuya característica es tener menor temperatura de producción, y la adición de agua inyectada.

2.2. Planteamiento del Problema

La ciudad de Arequipa está en pleno auge, expansión y desarrollo, siendo catalogada como la ciudad más importante del sur del Perú. Al ser nombrada así, todas las vías de acceso deberían estar en óptimas condiciones; pero la realidad demuestra lo contrario.

Conforme avanza el tiempo, nuevas tecnologías se presentan para ayudar a la ingeniería civil, propiamente dicho a la ingeniería de transportes; el asfalto no es ajeno a estas innovaciones, la tecnología nos ayuda a mejorar el diseño; proporciona nuevas máquinas, diversos aditivos, entre otros; y de esta manera producir asfaltos más económicos, más amigables al medio ambiente, de fácil colocado, optimizar el diseño y asfaltar en el menor tiempo posible.

5 <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/campanas/pavimentos-verdes/ficha-1.pdf>

Es por esto; y, dada la necesidad de optimizar los recursos que se emplean en el diseño y ejecución; se plantea la investigación de una nueva forma de preparar la mezcla asfáltica tibia en nuestra ciudad. El asfalto espumado que no es sino, un asfalto en caliente que se le inyecta agua fría, al presentarse ese cambio de temperatura, se producen las espumas durante su producción, esto genera lubricación y que las partículas estén bien cubiertas, lo cual permite una mejor trabajabilidad en la muestra.

2.3. Justificación del Problema

Las vías pavimentadas de la región en varias ocasiones se ven afectadas desde la concepción del diseño por muchos factores; tales como:

a) Tráfico:

- Carga Bruta y presión de inflado
- Número de repetición de las cargas
- Radio de influencia de las cargas
- Configuración de ejes y llantas
- Velocidad, frenado, peralte, etc.
- Distribución transversal del tráfico.

b) Climáticos:

- Precipitaciones pluviales
- Cambios estacionales de temperatura
- Hielo-deshielo y humedecimiento-secado

c) Suelos:

- Propiedades de la sub-rasante y materiales de pavimentación
- Profundidad de la napa freática
- Hinchamientos y contracciones.

d) Posición:

- Secciones en corte y relleno
- Deslizamientos y problemas de geodinámica externa
- Depósitos profundos de suelos blandos

e) Construcción y mantenimiento:

- Compactación de la sub-rasante, sub-base y base
- Calentamiento inadecuado de los materiales

- Sub-rasante y sub-base rugosas
- Formación de encalaminados.

Los factores anteriormente mencionados afectan a los pavimentos, generado la presencia de fallas, grietas, baches y desplazamientos causando un sin número de problemas que causan malestar en el usuario.

En la ciudad de Arequipa, las autoridades elaboran proyectos de ejecución de nuevas vías, sin tener en cuenta el diseño y lo que pueda suceder en un futuro cercano; por lo que los pavimentos, tienen menor vida útil, deteriorándose en menor tiempo de lo previsto.

Por último se tiene el aspecto medio-ambiental, donde se busca generar un impacto positivo al medio ambiente, durante la producción de asfalto.

Es por esto, que nuestro interés para plantear una mejora en el uso de pavimentos asfálticos para optimizar las condiciones de trabajabilidad, economía y cuidado del medio ambiente; para tener más “autonomía” en lo que corresponda a producción y colocación de la carpeta asfáltica.

Es por estos motivos, que queremos plantear en nuestra tesis la propuesta para la mejora de los pavimentos asfálticos utilizando el método del asfalto espumado.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General

Investigar sobre el diseño del asfalto espumado para nuestra región, con el fin de ver si se mejora el comportamiento funcional y económico, frente a asfaltos en caliente convencionales.

2.4.2. Objetivos Específicos

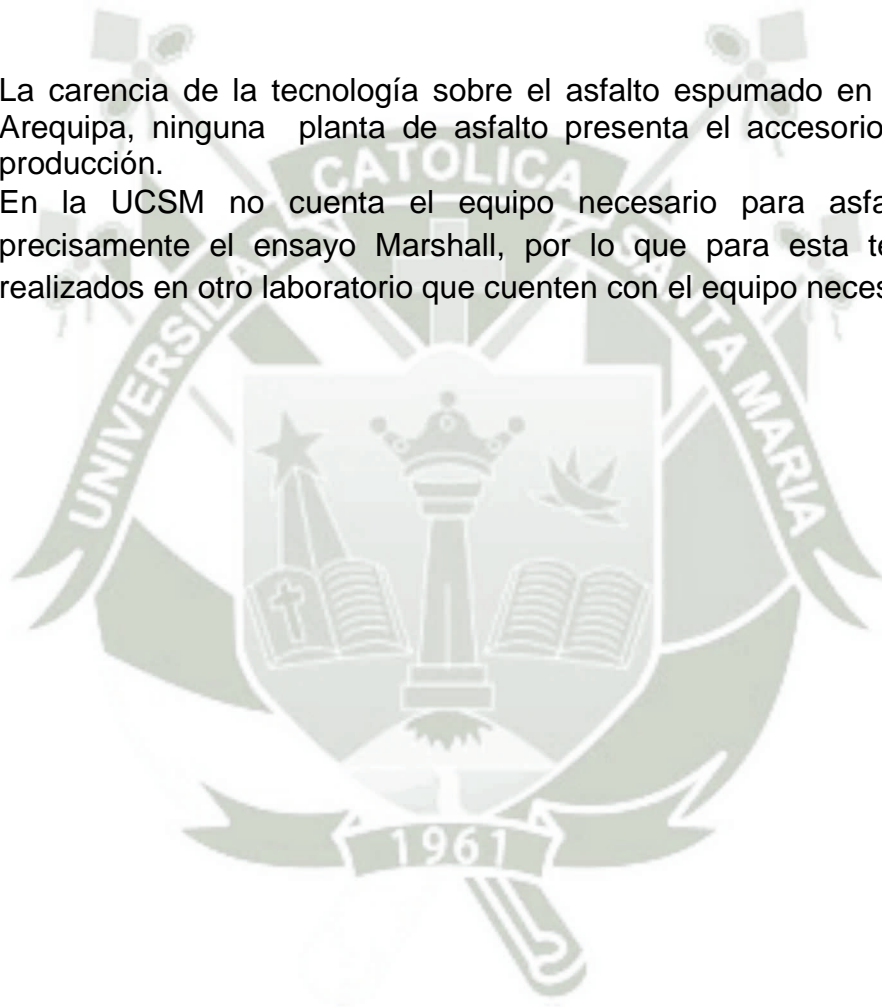
Efectuar las comparaciones entre el asfalto en caliente convencional y el asfalto espumado, para determinar los siguientes objetivos:

- Determinar el costo de ejecución y producción del asfalto espumado, comparándolo frente al asfalto convencional.

- Comparar si la producción del asfalto espumado es más amigable con el ambiente frente al asfalto convencional.
- Demostrar las ventajas del uso de asfalto espumado frente al asfalto en caliente convencional por medio de ensayos de laboratorio.
- Determinar su factibilidad de empleo en los procedimientos constructivos del asfalto espumado.

2.5. Limitaciones

- La carencia de la tecnología sobre el asfalto espumado en la región Arequipa, ninguna planta de asfalto presenta el accesorio para su producción.
- En la UCSM no cuenta el equipo necesario para asfaltos, más precisamente el ensayo Marshall, por lo que para esta tesis serán realizados en otro laboratorio que cuenten con el equipo necesario.





**CAPITULO II:
EL PAVIMENTO ESPUMADO**

CAPITULO II: EL PAVIMENTO ESPUMADO

2.1. Definición y caracterización de pavimentos espumados

Es un método que permite elaborar mezclas asfálticas, con procesos constructivos especializados, de muy alto rendimiento y sobre todo, un alto ahorro energético.

Puede utilizarse con una variedad de materiales, sean nuevos, reciclados e inclusive en aquellos que tienen un alto índice de plasticidad. El asfalto espumado puede ser aplicado por dos medios, en sitio o en una planta de asfalto.

El proceso consiste, en la cámara de mezclado de la planta de asfalto, donde los agregados (fino y grueso) en algunos casos el filler, se mezclan con la espuma, a una temperatura de 132°C. Se sostiene que este proceso economiza energía y asfalto.

Es un tipo de mezcla asfáltica tibia de la primera generación, cuya característica es tener menor temperatura de producción, y la adición de agua inyectada.

El asfalto espumado se obtiene cuando una pequeña cantidad de agua a temperatura ambiente (entre el 1% a 3% del peso del asfalto) es inyectada al asfalto caliente, estallando el ligante bituminoso en millones de burbujas. El contacto de las gotas de agua fría con el asfalto caliente produce un intercambio energético entre ambos materiales. De esta manera la temperatura de agua se eleva hasta 100° C, cambiando de fase de líquido a gaseoso en forma de vapor de agua, que inmerso en la masa de asfalto produce su expansión. Cabe destacar, que la cantidad de agua que se inyecta al asfalto es un porcentaje pequeño, deberá ser exacta su dosificación para asegurar el efecto de espumación, para así conseguir la cohesión estimada entre las partículas (Thenoux & Jamet, 2002).

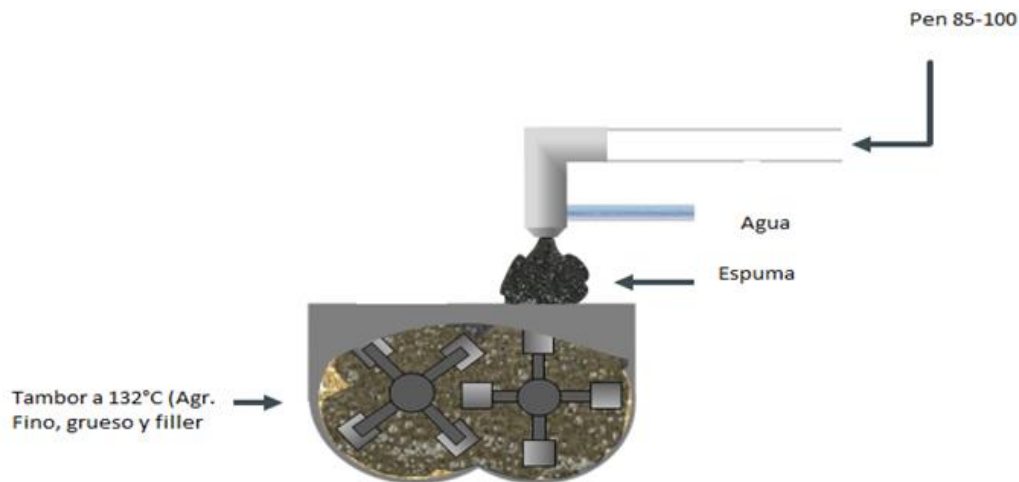


Figura 4: Proceso de producción del asfalto espumado
FUENTE: Bomag Marini

A continuación viene la desintegración de la burbuja o también llamada colapso de la burbuja, que se producen miles de gotitas de asfalto (espuma de asfalto), sin que se alteren las propiedades originales del asfalto.

Para la producción de asfalto espumado, el agregado tanto fino como grueso debe ser incorporado mientras el asfalto se encuentra en estado de espuma. Cuando se desintegra la burbuja en presencia del agregado, las gotitas de asfalto se aglutinan con las partículas más finas (con las fracciones menores a 0.075mm), produciendo una mezcla asfalto + agr. Fino, este proceso se denomina como la dispersión del asfalto; que hace de mortero entre las partículas gruesas.

El proceso de dispersión es considerado como primordial para la obtención de las propiedades mecánicas de las mezclas con asfalto espumado.

Cabe destacar que el Dr. Ladis Csanyi desarrolló la primera cámara de expansión que mezcla agua fría con asfalto para formar la espuma, convirtiéndose de esta manera en un proceso más práctico, económico y aplicable, como se aprecia en la figura 2.2.

Este principio es el mismo en que se basan las plantas de asfalto para producir asfalto espumado. (Thenoux et. al, 2002)

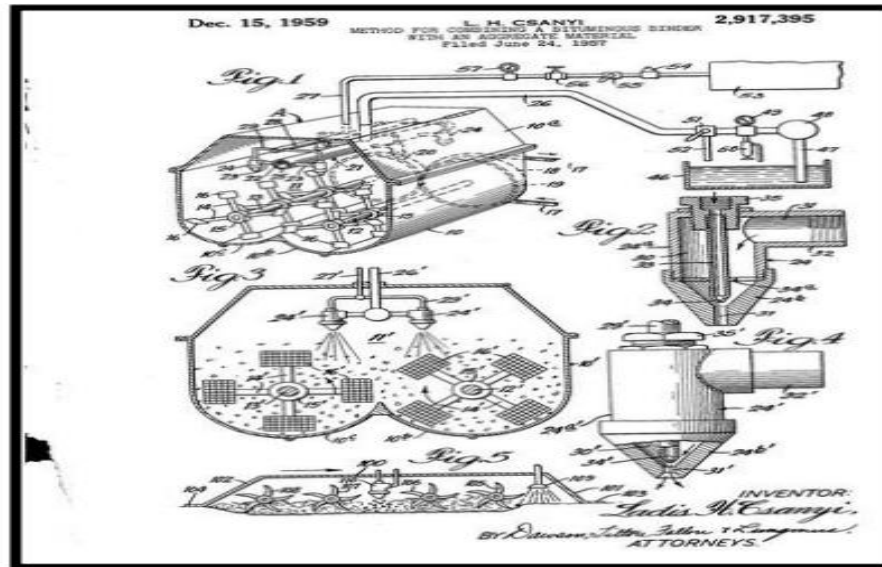


Figura 5: Esquema del realizado por Ladis Csanyi.

FUENTE: Csanyi L., *Method for Combining a Bituminous Binder with an Aggregate Material*

2.2. Propiedades del pavimento espumado

El asfalto espumado se caracteriza por presentar tres propiedades empíricas:

- Vida media: tiempo (en segundos), nos indica de la estabilidad de la espuma, y nos da una idea del tiempo disponible para mezclar el asfalto espumado con los agregados antes de que colapse la espuma. La metodología consiste en analizar el volumen máximo del asfalto espumado; a la par se registra el tiempo en el cual el volumen máximo expandido ha colapsado.
- Razón de expansión (Ex): razón entre el volumen de asfalto espumado y el volumen de asfalto original. Esta propiedad indica la trabajabilidad de la espuma, y la capacidad de mezclar y de cubrir a los agregados.
- Dosis de agua inyectada: Generalmente la Razón de Expansión aumenta, con un incremento en la cantidad de agua inyectada, mientras la Vida Media decrece.

2.2.1. Características de la razón de expansión y la vida media

Las propiedades de expansión y vida media, del asfalto espumado se ven afectadas por:

- Temperatura del asfalto: a mayor temperatura mayor cantidad de espuma (para este tipo de MAT el máximo de temperatura que puede llegar es a 135°C).
- Cantidad de agua a adicionar: al aumentar más agua el volumen de la espuma se incrementa, sin embargo la vida media se reduce, por tanto se debe buscar un equilibrio entre las propiedades y las características.

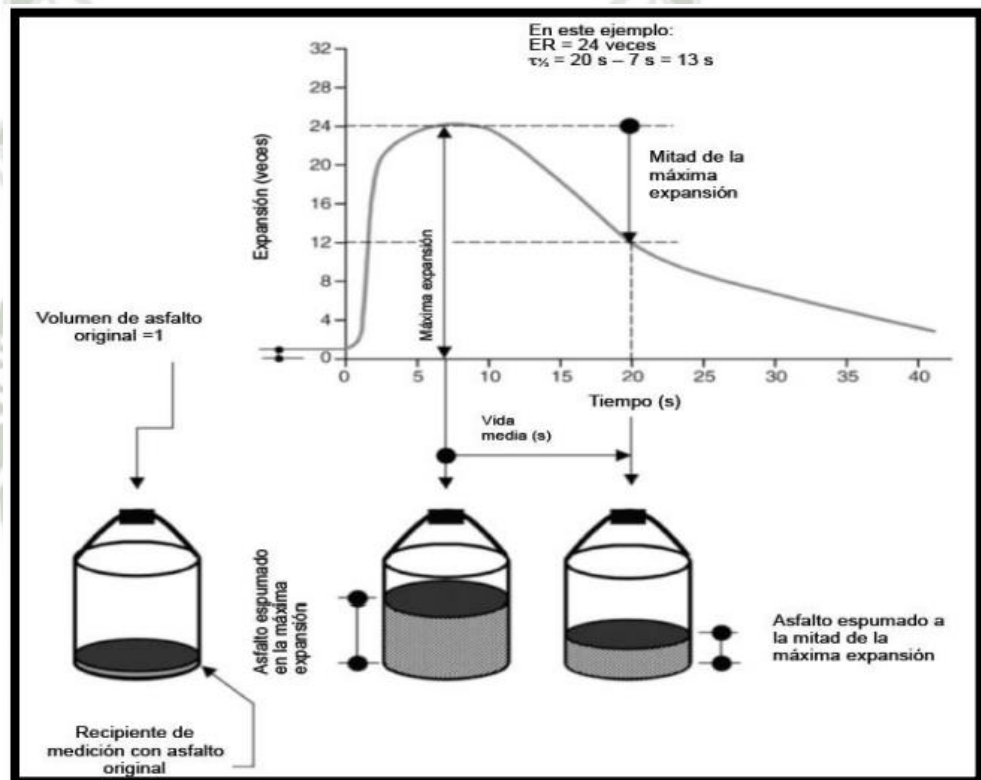


Figura 6: Caracterización de Razón de Expansión y Vida Media

FUENTE: Jiménez M., "Qué es el Asfalto Espumado, se puede utilizar en Costa Rica".
Boletín Técnico Vol. 2. N°13. Programa de Infraestructura del Transporte.

- Sin embargo, la vida media se reduce, por lo que estas dos características están inversamente relacionadas a la cantidad de agua añadida.

- Las especificaciones mínimas aceptables para una estabilidad afectiva del espumado son: Razón de expansión de 8 veces Vida media de 6 segundos. (Méndez , Moran y Pineda (2014))
- Todos los asfaltos que se pretenden usar para espumar deben ser ensayados en el laboratorio para determinar sus propiedades. El objetivo es encontrar la combinación de temperatura de asfalto y adición de agua a la que se consigue un espumado óptimo, es decir la mayor razón de expansión y vida media.

Durante su investigación en asfalto espumado a fines de los 90, el profesor Kim Jenkins desarrolló el concepto de “Índice de Espumación” para medir la combinación de razón de expansión y vida media. Definió el Índice de Espumación, en su investigación comparó el efecto del Índice de Espumación con la temperatura del material al tiempo de mezclado, concluyendo que a medida que la temperatura aumenta, un menor Índice de Espumación puede ser usado para alcanzar una estabilización efectiva. (Robles (2009)).

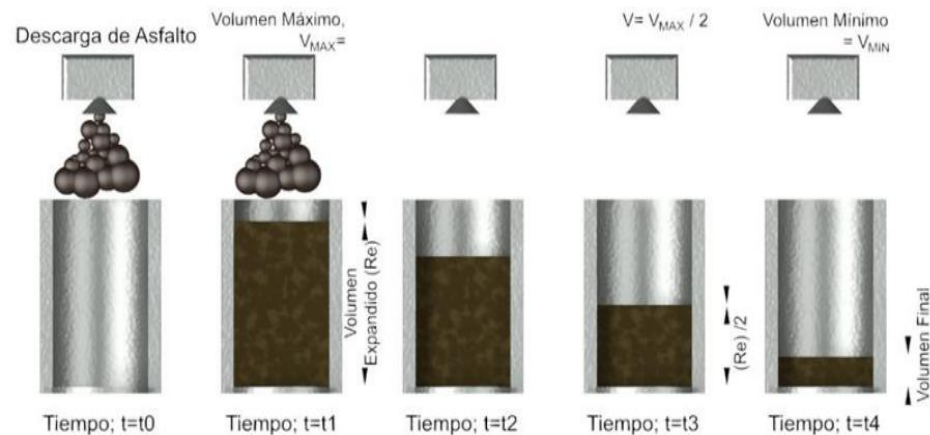


Figura 7: dispositivo rociador y la espumación

Fuente: Congreso mexicano del asfalto 2017

2.2.2. Volumen de expansión

Para calcular el volumen de expansión teórico de la espuma de asfalto en laboratorio, se requiere entender cómo se produce el intercambio energético dentro del sistema agua asfalto-recipientes. Se puede determinar el volumen de expansión; utilizando la ley universal de gases ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T$).

Teniendo un recipiente metálico medido con su peso respectivo con un 2.5% de agua, se obtiene un volumen V de vapor proveniente del agua inyectada, esto entrega una razón de expansión (razón entre el máximo volumen alcanzado y el volumen sin espumar), Las explicaciones para espumado El vapor de agua no es encapsulado en su totalidad y parte de este se escapa durante el proceso de espumado del asfalto. No toda el agua es utilizada para generar espuma, es decir se evapora. (Thenoux et. al, 2002)

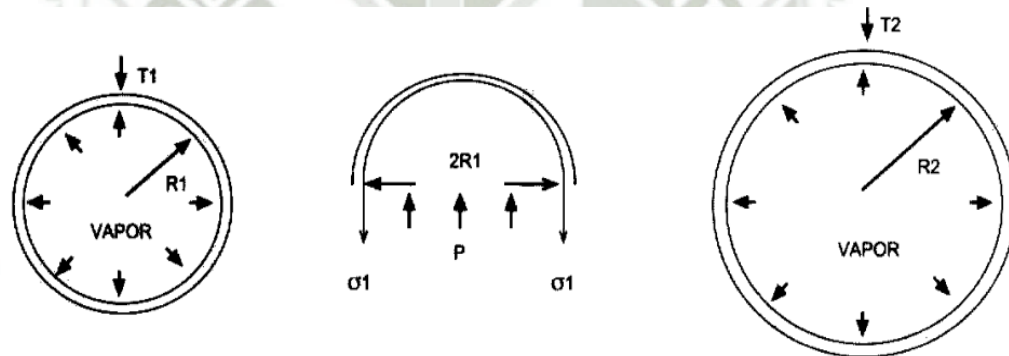


Figura 8: proceso de expansión de la burbuja de asfalto espumado

Fuente: Thenoux G. y Jamet A., Revista de Ingeniería de Construcción, volumen 17 N° 2, pág. 84 - 92

2.3. Producción de asfalto espumado

El proceso de producción de asfalto espumado es simple debido a que principalmente se trata de un proceso físico que es regido por leyes básicas de termodinámica.

Todo se genera cuando el asfalto virgen es expandido mediante un proceso de intercambio térmico. En dicho proceso se inyecta una pequeña cantidad de agua a temperatura ambiente (1 a 3% del peso del asfalto) más el asfalto caliente (entre 140°C a 150°C) dentro de una cámara de expansión, generando instantáneamente una expansión de gas en forma de espuma.

El proceso de expansión sucede de la siguiente manera: en el instante que las gotas de agua fría toman contacto con el asfalto caliente; se produce un intercambio de energía entre estos, lo que eleva la temperatura del agua hasta los 100°C.

La transferencia energética sobrepasa el calor latente del agua, generando vapor y una expansión explosiva de éste. Las burbujas de vapor son forzadas a introducirse en la fase continua del asfalto bajo la presión de la cámara de expansión, quedando encapsuladas.

El asfalto, junto con el vapor de agua encapsulada, es liberado de la cámara a través de una válvula (dispositivo rociador), el vapor de agua se expande formando burbujas de asfalto contenidas por la tensión superficial de este durante la expansión.

La tensión superficial de la delgada capa de asfalto contrarresta la disminución de la presión al interior de las burbujas de vapor. Hasta alcanzar un estado de equilibrio (Jenkins, 1999).

2.3.1. Evaluación y ajuste de la mezcla de diseño

- Al desarrollarse la mezcla de diseño, se necesitan realizar pruebas para corroborar que esta cumpla con todos los criterios de diseño. Las mezclas de prueba iniciales sirven para establecer una fórmula de trabajo y verificar que la graduación del agregado se encuentre dentro de los límites especificados, pudiéndose reproducir en una planta asfáltica.
- Al fallar las mezclas de prueba iniciales con los criterios de diseño, se hace necesaria la modificación o volver a rediseñar la mezcla. Lo más común, para corregir la deficiencia, es cambiar el porcentaje de los agregados ajustándolos, además de la cantidad del porcentaje de asfalto; para sí volver a obtener la cantidad de agua a inyectar a la mezcla.
- La temperatura de diseño para la compactación en laboratorio de la mezcla asfáltica espumada, es menor que la temperatura utilizada en una mezcla asfáltica en caliente, se indica que la mezcla asfáltica en caliente puede ser compactada entre 145 a 150°C y la mezcla asfáltica tibia a una temperatura de 132°C, esta ventaja se aprovecha para la colocación de obra del asfalto espumado, generando ventajas de producción, colocación y de salud para los obreros. (Méndez, et. Al. (2014)).

2.4. Mezclas asfálticas Tibias (MAT) y el asfalto espumado

2.4.1. Tecnologías que producen mezcla asfáltica tibia

Existen diferentes metodologías para volver tibia una mezcla asfáltica en caliente (MAC); con el paso del tiempo las tecnologías de las mezclas tibias han ido aumentando, no solo la adición de agua al asfalto, sino la mezcla de aditivos orgánicos a base de ceras, y aditivos químicos tal como se muestran en la siguiente figura ¹ ver anexo 2:

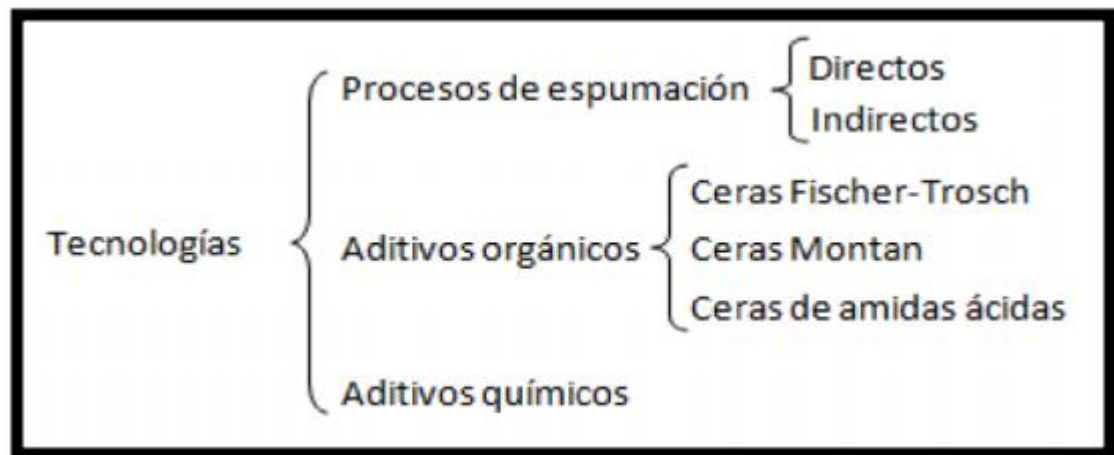


Figura 9: Esquema de las distintas tecnologías asfálticas tibias

FUENTE: Publicación realizada por España en su documento Investigación de Nuevas Mezclas de Baja Energía para la Rehabilitación Superficial.

A continuación solo se explicará la parte de proceso de espumación, del método directo, ya que es motivo de la tesis (asfalto espumado).

2.4.1.1. Proceso de espumación

La tecnología MAT se basa en el uso de pequeñas cantidades de agua, ya sea bien inyectada directamente en el asfalto caliente o bien añadido con los agregados al tambor de mezclado.

Estos métodos se han usado con ligantes de diferentes penetraciones (PEN), obteniéndose diversos resultados. Precauciones especiales tienen que tomarse para que la cantidad adicionada de agua sea la correcta, es decir, se debe añadir suficiente agua para asegurar el efecto de espumación, pero no demasiada de modo que se evite problemas de cohesión que se pudieran crear por la incorrecta evaporación de toda el agua. (Smith (2007)).

Es posible distinguir entre dos tipos diferentes: basadas en agua (método directo) y los que contienen agua (método indirecto) ^{2 ver anexo 2.}

2.4.1.1.1. Método Directo

El Método Directo agrupó a los productos, en los que el agua que se necesita para crear el efecto de espumación es inyectada directamente al flujo de asfalto caliente, realizándose en la mayoría de los casos a través de boquillas. El agua añadida rápidamente se evapora, produciendo un largo volumen de vapor, el cual lentamente va desapareciendo.

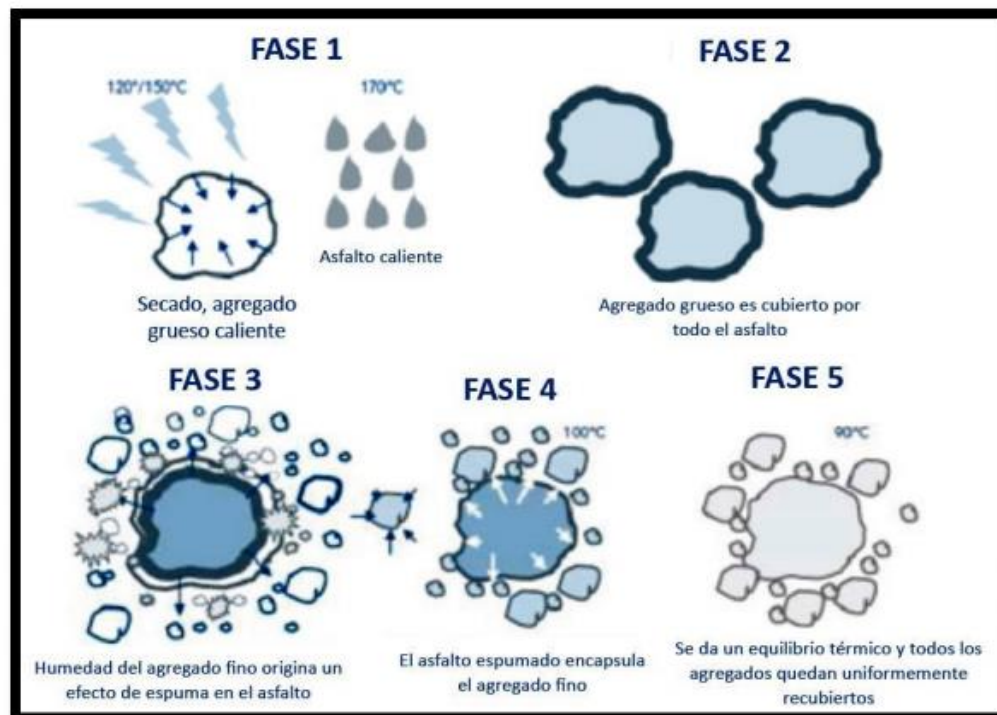


Figura 10: Proceso De mezcla de los Procesos de espumación Con los agregados

FUENTE: Ulloa A., "Mezclas Asfálticas Tibias (MAT)". Técnico Vol. 2. N°13. Programa de Infraestructura del Transporte.

2.5. Aplicaciones

- Para tener mayor envergadura (mayor distancia de colocación entre la obra y la planta de asfalto).
- Zonas con limitada disponibilidad de agregado grueso

- Para conseguir proyectos más económicos, con mejor calidad.
- Para lograr proyectos que no generan tanta contaminación ambiental.
- Para lograr proyectos donde se desea acabados con alto rendimiento de compactación.

2.6. Ventajas y desventajas

2.6.1. Ventajas

- Menor contaminación ambiental, amigable con el ambiente, reduce significativamente la emisión de gases como CO₂, CO y NO₂, en todo el proceso desde el mezclado hasta el curado, además de no presentar olores ni ningún tipo de aditivo químico que pueda contaminar el medio ambiente. Reducción del consumo de combustible de la planta de asfalto hasta en un 20%.
- La durabilidad de los pavimentos se potencia debido a la mejor compactación de la mezcla asfáltica que conduce a un menor volumen de vacíos.
- Menores velocidades de enfriamiento, lo que permite distancias más largas de transporte.
- Capas más flexibles que las tratadas con conglomerantes hidráulicos.
- Ahorro en los tiempos de puesta en servicio, pues se puede abrir al tránsito casi inmediatamente después de haber sido compactada la capa.
- Colocación del asfalto en regiones geográficas más frías (en bajas temperaturas).
- Aporte estructural, se mejoran las propiedades viscoelásticas del material produciendo una capa de material flexible y homogéneo, con alta resistencia a la deformación, frente a las exigencias de carga y condiciones climáticas adversas.
- Al contar con la presencia de agua en su composición, esta reduce el endurecimiento temprano de la mezcla.
- Posibilita la ejecución de parchados y aplicación de capas delgadas con mejor calidad y acabado (Bomag Marini (2015)).

2.6.2. Desventajas

- Que presenta una apariencia engañosa pues tiene un aspecto café más que negro y brillante, con el tiempo es que se pone de color negro (Bomag Marini (2015)).
- Por su simplicidad puede ocasionar que los controles de calidad sean menospreciados, pero como todo proyecto de pavimentación se requiere de la atención y cuidado de todo el proceso (Bomag Marini (2015)).
- Como toda nueva tecnología hay aspectos por investigar y acumular experiencia, además de su poca difusión; pero definitivamente sí es factible el uso de asfaltos espumados en nuestro país, región y ciudad de Arequipa.
- Debido a la poca difusión, es que ninguna planta de asfalto en la región Arequipa tiene el accesorio se requiere para producirlo.

2.7. Experiencias realizadas con mezclas asfálticas tibias en otros países

Las mezclas asfálticas tibias (MAT) son la nueva tendencia en la pavimentación eco eficiente de hoy día en Europa y en EEUU, cabe señalar que estos países nos llevan una amplia ventaja en los que respecta a este tipo de mezclas asfálticas, debido a la poca difusión de estas tecnologías en el país. Las mismas permiten una reducción significativa de las temperaturas de producción y colocación de mezclas asfálticas, reduciendo así costos de energía y emisiones a la atmósfera. A continuación se presentan experiencias de otros países

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se han llevado a cabo las primeras experiencias en sur américa de aplicación de MAT mediante el empleo de aditivos incorporados al asfalto que permiten compactar las mezclas a temperaturas menores que las mezclas convencionales, tanto para asfaltos de destilación directa como asfaltos modificados con polímeros elastoméricos. (Bolza, 2010)

Norma INVIAS y Especificación Técnica Pacific Rubiales Energy, Colombia.

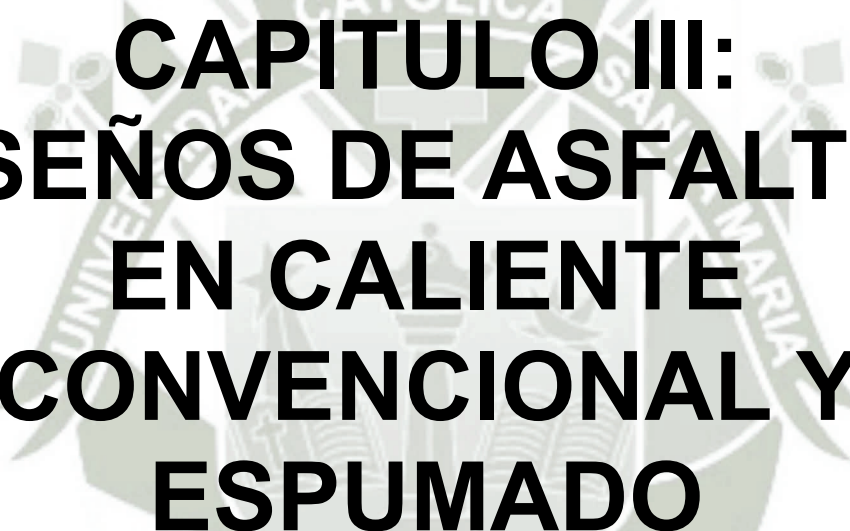
La norma INVIAS básicamente se basa en la norma de Sudáfrica de 1998 la cual hace un completo análisis y pruebas del asfalto espumado. Dicha

norma se centra en el desarrollo de un método de diseño de la mezcla de asfalto espumado, con base en el trabajo de investigación llevado a cabo en CSIR Transportek en nombre de SABITA (*The Southern African Bitumen Association*), organización establecida en 1979 sin fines de lucro que representa a los productores y aplicadores de productos bituminosos, ingenieros consultores y las instituciones educativas.

Esta norma, no considera los problemas de seguridad asociados con su uso ya que advierte que es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo. A continuación se muestra cuatro puntos importantes que la norma colombiana hace énfasis.

- Al igual que la norma Sudafricana se debe determinar el porcentaje de agua que optimiza las propiedades de espumado de un determinado asfalto.
- La presión de aire se ajusta a 100 kPa.
- Se mantiene el asfalto a una temperatura de diseño establecida durante todo el proceso de producción.
- Se requieren entre tres (3) a cinco (5) muestras de asfalto espumado para producir espuma con contenidos de agua entre 1% y 3%, en incrementos de 0.5%.

La norma sudafricana pone énfasis más en la seguridad industrial, en el proceso de producción, y que cumplan con el medio ambiente; por todo el resto es idéntica a la norma colombiana.



CAPITULO III: DISEÑOS DE ASFALTOS EN CALIENTE CONVENCIONAL Y ESPUMADO

CAPITULO III: DISEÑOS DE ASFALTOS EN CALIENTE CONVENCIONAL Y ESPUMADO

3.1 Objetivos del Estudio

En el laboratorio se efectuarán, ensayos que corresponden a la carpeta asfáltica, además del diseño respectivo; para cada tipo de asfalto diseñado se realizará su estudio correspondiente (caliente convencional, espumado al 1% y al 3%). Con el fin de demostrar las ventajas del uso de asfalto espumado frente al asfalto en caliente convencional por medio de ensayos de laboratorio.¹ (Thenoux et. Al. 2002).

3.2 Trabajos de Campo

3.2.1 Muestreo

Se realizó un muestreo de tres canteras, pero se trabajó con la que mejor resultados tiene para asfaltos, que es la que se presenta a continuación, de donde se tomó las muestras de los agregados fino y grueso².

- Nombre: cantera “Km19 – MTC”
- Ubicación: Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: Uchumayo
- Coordenadas: latitud: 16°26'54.65"S
Longitud: 71°41'15.26"O.
- Acceso: se toma la variante, hasta llegar al distrito de Uchumayo, pasando el peaje tomando la vía panamericana sur hasta llegar al kilómetro 19.

¹ Thenoux G. y Jamet A., Tecnología de Asfalto Espumado, 2002, el porcentaje de agua se basa en trabajos de investigación de laboratorio (procesos iterativos).

² Cantera “Km 19 – MTC”, los agregados no son porosos, ni presentan ceniza volcánica cumplen con los requerimientos de la norma; el laboratorio RFC recomienda que el material es ideal para producción de asfalto en caliente. Para las dos canteras restantes, ver anexo 1.



Figura 11: Ubicación de la cantera KM 19 - MTC. Fecha de captura: 15/06/17
FUENTE: Google Earth

3.3 Laboratorio

Se realizaron una serie de ensayos en el laboratorio tanto de la universidad UCSM, como en un laboratorio privado (Laboratorio RCF); todos estos ensayos se hicieron de acuerdo a la norma EG2013, tanto para el agregado fino y para el agregado grueso.

3.3.1. Ensayos y Requerimientos para el Agregado Grueso:

A continuación se muestra una tabla donde se muestra los requerimientos que deben cumplir el agregado Grueso de acuerdo al MTC y ASTM. Para zonas de menor altitud a 3000 m.s.n.m. donde se ubica la región Arequipa.

Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión 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	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Tabla 1: Requerimientos del Agregado grueso.
FUENTE: EG – 2013

3.3.1.1. Ensayo de Durabilidad(al Sulfato de Magnesio) (MTC E 209)

- a) Objetivo: sirve para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración de los agregados, por acción de soluciones saturadas del sulfato de magnesio. Este ensayo nos brinda información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de agentes atmosféricos.
- b) Aparatos, materiales y reactivos
- Tamices: se usaran tamices normados de acuerdo NTP 350.001. como se aprecia en el cuadro 3.3.1.1., para la serie gruesa.

ABERTURA SERIE FINA		ABERTURA SERIE GRUESA
NOMINAL	TAMIZ NORMALIZADO	TAMIZ NORMALIZADO
Nº 100	150 μ m	8,00 mm (5/16") 9,50 mm (3/8")
Nº 50	300 μ m	12,5 mm (1/2") 16,0 mm (5/8")
Nº 30	600 μ m	19,0 mm (3/4") 25,0 mm (1")
Nº 16	1,18 mm	31,5 mm (1 ¼")
Nº 8	2,36 mm	37,5 mm (1 ½") 50,0 mm (2")
Nº 5	4,00 mm	63,0 mm (2 ½")
Nº 4	4,75 mm	Tamaños mayores aumentan en 12,7 mm (1/2")

Tabla 2: tamices para la serie gruesa. Fuente: manual de ensayo de materiales 2016

FUENTE: EG – 2013

- Envases: empleados para sumergir las muestras de agregados
- Balanzas
- Horno de secado.
- Reactivos. Sulfato de Magnesio: se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio disolviendo la sal en el agua a la temperatura de 25°C a 30°C. Se agrega suficiente sal de la forma anhidra (MgSO₄) o la forma cristalina (MgSO₄ · 7H₂O) para este caso usaremos la solución cristalina como se aprecia en la figura, luego que se disuelva la solución se deja reposar en un recipiente 48h; cuando la solución va ser usada deberá tener un peso específico no menor a de 1295gr ni mayor de 1308gr.



Figura 7: Sulfato de magnesio Heptahidratado.
Fuente Propia laboratorio RCF.



Figura 8: La solución de Sulfato de magnesio.
Fuente Propia laboratorio RCF.

c) Procedimiento

- Se lava el agregado para eliminar polvo y otros materiales, una vez realizado este proceso, se seca completamente la muestra.
- Luego se seleccionan y separan en los diferentes tamaños indicados en la tabla 3 por medio del tamizado.

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Tabla 3: Pesos de la serie gruesa.

Fuente: Manual de ensayo de materiales 2016

- Una vez realizados los pasos anteriores, se sumen las muestras seleccionadas por los tamices en la solución de sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h y no más de 18 h.
- Como se aprecia en la figura, se tapan los envases, para disminuir la evaporación y evitar la adición de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas se mantendrán a una temperatura de 21°C.



Figura 9: recipientes de durabilidad al sulfato de magnesio

FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Se extrae el agregado grueso de la solución dejando escurrir durante 15min, para luego en un tiempo 4h en el horno. Se vuelve a repetir el proceso.



Figura 10: horno con las muestras
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- El número de ciclos, se repite el proceso durante 5 días.
- Al final de dar el último ciclo, después de llevarlo al horno, se registra el de las muestras. Para obtener el peso final.

d) Cálculos

- El resultado se obtiene de un peso inicial, y un peso final para determinar la pérdida frente al sulfato de magnesio del agregado grueso.
- El porcentaje de pérdida se obtiene de la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra, expresado como tanto por ciento del peso original. Tal como se muestra en la fórmula.

$$\% \text{ Pérdida} = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

Dónde:

P_i: peso inicial de la muestra

P_f: peso final de la muestra, al final del ensayo.

El porcentaje de pérdida corregido se obtiene del porcentaje de pérdida multiplicado por el peso retenido en las mallas (1/2", 3/8", N° 4). Tal como se aprecia en la fórmula.

$$\% \text{ Perdida corregido} = (\% \text{ perdida} \times A) / 100$$

Dónde:

A: peso retenido en las mallas (1/2", 3/8", N° 4)

Tamiz	Peso inicial (gf.)	Peso final (gf.)	% perdida	% perdida Corregido
1/2	696	653.6	0.0006	0.00023
3/8	331	317	0.0004	0.00015
#4	301	286.2	0.0005	0.00013
total:			0.0015	0.00051
				5.08

Tabla 4: Calculo del ensayo de durabilidad al Sulfato de Magnesio.

3.3.1.2. Ensayo de Abrasión máquina Los Ángeles (MTC E 207)

- a) Objetivo: el objetivo principal de este ensayo es determinar la resistencia al desgaste de los agregados, usando la máquina de Los Ángeles, con una carga abrasiva.
- b) Aparatos y Materiales
 - Balanza
 - Tamices (1" , 3/4" , 1/2" , 3/8")
 - Máquina Los Ángeles
 - Bandejas



Figura 11: Máquina de Abrasión Los Ángeles.

FUENTE: Elaboración propia, laboratorio de suelos y concreto UCSM

Nota: La carga abrasiva consisten en esferas de acero o de fundición, con un diámetro entre 46.38mm y 47.63mm y un peso comprendido entre 390gr. Y 445gr.

La carga depende de la granulometría del ensayo A, B, C y D. Como se muestra en la tabla 3.3.1.2.

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Tabla 5: cargas del ensayo de abrasión

FUENTE: Manual de ensayo de materiales 2016

Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	--	--	--
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	--	--	--
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	--	--
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	--	--
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	--	--	2 500 ± 10	--
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	--	--	2 500 ± 10	--
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	--	--	--	5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Tabla 6: gradaciones del ensayo de abrasión
FUENTE: Manual de ensayo de materiales 2016

c) Procedimiento

- Se coloca la muestra, para luego colocar la carga abrasiva correspondiente (para nuestro caso corresponde la gradación "B") en la máquina.
- A continuación se programa la máquina para que de un total de 500 vueltas y que su velocidad sea uniforme.
- Una vez terminada las vueltas, se extrae el agregado, para luego tamizarlo (malla nº12); el material más grueso que se queda retenido, se lava y se seca en el horno.
- Después de secarlo y habiendo eliminado el polvo y otros restos se pesa la muestra.

d) Cálculos

- El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra, expresado como tanto por ciento del peso original. Tal como se muestra en la formula.

$$\% \text{ Desgaste} = 100 * (P1 - P2) / P1$$

Dónde:

P1: peso de la muestra inicial

P2: peso de la muestra final, retenido en la malla Nº 12.

Malla		Gradación "B"
		11 esferas
Pasa	Retiene	Peso Retenido (gf.)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Peso total (gf.):		5000
Peso retenido (#12 en gf.):		4146.5
% de desgaste:		17.07

Tabla 7: Cálculo del ensayo de abrasión máquina Los Ángeles

3.3.1.3. Ensayo Índice de Durabilidad (MTC E 214)

- a) Objetivo: El ensayo de índice de durabilidad para el agregado grueso es un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos, de tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica.
- b) Aparatos, materiales y reactivos (el sistema es similar al ensayo de equivalente de arena- MTC E 114).
- Vaso mecánico de lavado
 - Empaquetadura debe ser de caucho de neopreno
 - Tubo irrigador de acero inoxidable
 - Tubo flexible de plástico y de caucho
 - Dos botellas de 1 galón de capacidad
 - Dispositivo de toma de lecturas
 - Embudo
 - Reactivos: la solución stock de cloruro de calcio (CaCl_2), que se prepara mezclando las siguientes soluciones: 454gr. de cloruro de calcio anhidro, 2050gr. de glicerina, 47gr. de formaldehído y agua destilada.

c) Procedimiento

- Se coloca el cilindro de plástico sobre una superficie libre de vibraciones durante el proceso de sedimentación, a continuación se vierte 7ml de solución de cloruro de calcio dentro del cilindro.
- Luego en el cilindro se introduce la muestra dentro, a continuación se vierte el agua destilada, y se ajusta la tapa.
- Durante 5 a 10 minutos, se agita el cilindro.
- Una vez asentada la muestra, se deja reposar durante un intervalo de un minuto y medio como muestra la figura.
- Al final del tiempo se toma medidas y se registra la altura de sedimentación con una aproximación de 2.5mm.



Figura 17: muestra en reposo, ensayo índice de durabilidad.

FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

d) Cálculos

Se calcula el índice de durabilidad para el agregado grueso, aproximándolo al entero más cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30.3 + 20.8 \times \cot(0.29 + 0.0059H)$$

Donde:

Dc: índice de durabilidad

H: altura del sedimento (mm) y la cantidad $(0.29 + 0.0059H)$ en radianes

$$Dc = 30.3 + 20.8 \times \cot(0.29 + 0.0059H)$$

Si $H = 3.0\text{mm}$

Entonces:

$$Dc (\%) = 96$$

3.3.1.4. Ensayo de Partículas Chatas y alargadas (ASTM 4791)

- a) Objetivo: determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso a estudiar. Este método provee el medio para verificar si se cumplen las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.
- b) Equipos
- Balanza
 - Vernier
 - Bandejas
 - Tamices (1", 3/4", 1/2", 3/8")
- c) Procedimiento
- Se requiere una muestra representativa aproximadamente 5000gr, llevarla al horno a temperatura de 110°C.
 - Se tamizar la muestra.
 - Se selecciona cada partícula de cada fracción medida y colocándolas en tres grupos: chatas, alargadas, ni chatas ni alargadas.
 - Se utiliza el vernier para clasificar las partículas en los grupos mencionados. Como se aprecia en la figura.
 - Luego de haber ensayado y clasificado la muestra en los grupos descritos, se procede a realizar los cálculos respectivos.



Figura 12: partícula alargada, ensayo de partículas chatas y alargadas
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio de suelos y concreto UCSM

d) Cálculos.

- Se calcula el porcentaje de partículas chatas y alargadas, este se obtiene del valor del peso retenido, hallando su valor en porcentaje retenido.
- Se hace una corrección del porcentaje retenido (porcentaje corregido).

Tamiz	abertura (mm)	Agregado Grueso		
		Peso Retenido (gf.)	% retenido	% pasante
1"	25.00			
3/4"	19.00			100
1/2"	12.50	3284.50	65.89	34.11
3/8"	9.50	1700.50	34.11	0.00
TOTAL:		4985	100.00	

Tabla 8: Calculo de los pesos retenidos, ensayo partículas chatas y alargadas

Tamiz	Partículas ni chatas, ni alargadas		
	Peso Retenido (gf.)	% retenido	% corregido
1"			
3/4"			
1/2"	3068.1	93.41	61.55
3/8"	1552.2	91.28	31.14
	4620.3		92.68

Tabla 9: Calculo de partículas ni chatas ni alargadas, ensayo partículas chatas y alargadas

Tamiz	Partículas Chatas		
	Peso Retenido (gf.)	% retenido	% corregido
1"			
3/4"			
1/2"	65.9	2.01	1.32
3/8"	103.1	6.06	2.07
	169		3.39

Tabla 8: Calculo de partículas chatas, ensayo partículas chatas y alargadas

Tamiz	Partículas alargadas		
	Peso Retenido (gf.)	% retenido	% corregido
1"			
3/4"			
1/2"	150.8	4.59	3.03
3/8"	45.2	2.66	0.91
	196		3.93

Tabla 9: Calculo de partículas alargadas, ensayo partículas chatas y alargadas

Peso total de la muestra (gf.)	Partículas chatas y Alargadas (%)
4985	7.32

3.3.1.5. Ensayo de Caras fracturadas. (MTC E 210)

- a) **Objetivo:** determinar el porcentaje, en pesos, del material que presente una, dos o más caras fracturadas de la muestra del agregado grueso. Una partícula se considerara como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.
- b) Materiales:
- Balanza
 - Tamices(1", 3/4", 1/2", 3/8")
 - Espátula para separar los agregados
 - Bandejas
- c) Procedimiento
- Se selecciona una muestra representativa para el ensayo.
 - Se realiza un análisis granulométrico colocando los tamices en el orden respectivo (1", 3/4", 1/2", 3/8"). El peso total de la muestra que se considero es de 3000gf.
 - En un área grande, el agregado se extiende e inspecciona las partículas.
 - Las partículas que presentan una cara fracturada y las partículas de dos a más caras fracturadas, se separan, en bandejas distintas.
 - La muestra con una cara fracturada y la muestra de dos o más caras fracturadas, se pesan respectivamente. Al final se toma nota del valor de los pesos de cada una.
- d) Cálculos
- La columna del peso de muestra se coloca el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas en el ensayo.
 - La columna del peso del material con una cara fracturada se coloca el peso mencionado para cada tamaño.
 - La siguiente columna representa el porcentaje de material con una cara fracturada para cada tamaño.

$$G = (F/E) * 100$$

- La columna H corresponde a los valores correspondientes del análisis granulométrico de la muestra original.
- Después de calcular la columna I = G x H y sumar los valores de cada columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así.

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{\text{Total I}}{\text{Total H}}$$

Tamaño agregado		Peso Muestra (gf.)	P. material con cara fracturada(gf.)	G = (F/E)*100	H (%)	I
Pasante	Retenido					G x H
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200	1155.50	96.29	65.47	6304.22
1/2"	3/8"	300	245.90	81.97	34.53	2830.31
TOTAL:					100	9134.52
Porcentaje con una cara fracturada (%)						91.00

Tabla 10: Calculo de porcentaje con una cara fracturada, ensayo caras fracturadas

Tamaño agregado		Peso Muestra (gf.)	P. material con caras fracturadas (gf.)	G = (F/E)*100	H (%)	I
Pasante	Retenido					G x H
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200	982.00	81.83	65.47	5357.63
1/2"	3/8"	300	176.50	58.83	34.53	2031.52
TOTAL:					100	7389.14
Porcentaje con dos caras fracturadas (%)						74.00

Tabla 11: Calculo de porcentaje con dos caras fracturadas, ensayo caras fracturadas

3.3.1.6. Ensayo de Gravedad específica y absorción

a) Objetivo: se aplica para determinar el peso específico aparente y la absorción.

b) Materiales y equipos

- Balanza
- Cesta con malla de alambre
- Balde o depósito de agua para sumergir la cesta con el agregado
- Estufa
- Bandeja

c) Procedimiento

- Se seca la muestra, una vez realizado el secado se procede a sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente durante un periodo de 24h, dentro de la cesta con malla.
- Se seca la muestra del agua, con un paño absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca.
- Después de pesar, se coloca la muestra saturada con superficie seca en la cesta y se determina su peso en agua.
- Finalmente se saca la muestra y se le lleva a la estufa a secarla a una temperatura de 100°C, después se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1h, una vez que el agregado se haya enfriado se pesa.

d) Cálculos

- Gravedad específica: para los cálculos, se emplea los datos tomados durante el proceso, y a continuación usamos la siguiente formula:

$$Ge = A/(A-S)$$

Dónde:

A: peso de muestra seca

S: peso de la muestra sumergida en agua

Ge: gravedad específica en gr/cm³.

Información	Peso (gf.)
P. muestra seca (A)	2560
P. en aire de la muestra (B)	2582
P. muestra sumergida en agua (S)	1637
Gravedad específica (gf/cm³)	2.77

Tabla 12: Calculo de gravedad específica, ensayo gravedad específica

- Absorción: con la siguiente formula y con los datos obtenidos en el ensayo se tiene:

$$\text{Abs} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Donde:

Abs: absorción del agregado grueso

B: peso de la muestra en el aire

A: peso de la muestra seca.

Información	Peso (gf.)
P. muestra seca (A)	2560
P. en aire de la muestra (B)	2582
Absorción del Ag. Grueso (%)	0.86

Tabla 13: Calculo de la absorción, ensayo gravedad específica y absorción

3.3.1.7. Ensayo de pesos Unitarios

a) Objetivo: determinar el peso suelto y compactado de la muestra a ensayar.

b) Materiales y Equipo

- Balanza
- Proctor o recipiente de metal.
- Varilla de metal, que servirá para compactar
- Regla de metal, que servirá para enrazar
- Bandeja
- cuchara

c) Procedimiento

Para Peso unitario suelto:

- Este proceso se repite para tres muestras
- Se coloca el proctor encima de una bandeja
- Con una cuchara se vierte el agregado grueso dentro del proctor desde una altura no mayor de 5cm hasta que rebose el recipiente
- A continuación se enrasa con una regla el agregado sobrante
- Finalmente se determina el peso del recipiente más el contenido (agregado). Después se pesa solo el proctor.

Para Peso unitario compactado:

- Al igual que el peso unitario se repite para tres muestras
- Se coloca el proctor encima de una bandeja
- Con la cuchara se vierte el agregado dentro del proctor desde una altura no mayor de 5cm, pero llenando hasta la tercera parte del recipiente, con la varilla metálica apisonamos de manera uniforme la capa del agregado con 25 golpes.
- Se vierte nuevamente el agregado llenando los 2/3 del recipiente, repitiendo el mismo proceso de los 25 golpes.

- Finalmente llenamos el recipiente hasta que rebose el recipiente, dando los 25 golpes respectivos, se enrasa con la regla, el agregado sobrante.
- Para terminar el ensayo, se pesa el recipiente más el contenido, y luego el peso del proctor.

d) Cálculos

- Al trabajar con tres muestras se saca un promedio entre las tres
- Se calcula el peso unitario suelto y compactado con la siguiente formula.

$$Pu = (A - M)/V$$

Dónde:

Pu: peso unitario

A: peso del proctor más el agregado

M: peso del proctor

V: volumen del recipiente

Agregado Grueso	1	2	3
P. molde + agr. (gf.)	9652	9655	9653
Promedio(A) (gf.)		9653.33	
Vol. Del molde(V)(cm ³)		2130.6	
Peso del molde (M)(gf.)		6338.3	
		3315.03	
Peso unitario (gr/cm³):	1.556		

Tabla 14: Calculo del peso unitario máximo, ensayo pesos unitarios

Agregado Grueso	1	2	3
P. molde + agr. (gf.)	9240	9247	9244
Promedio(A) (gf.)		9243.67	
Vol. Del molde(V)(cm ³)		2130.6	
Peso del molde (M)(gf.)		6338.3	
		2905.37	
Peso unitario. (gr/cm³):	1.364		

Tabla 15: Calculo del peso unitario mínimo, ensayo pesos unitarios

Ensayos	Norma	Agregado Grueso Cantera KM 19 MTC	Altitud(m.s.n.m.) > 3000
Durabilidad(al sulfato de magnesio)	MTC E 209	5.08%	15 % max.
Abrasion Los Angeles	MTC E 207	17.07%	35% max.
Indice de Durabilidad	MTC E 214	96%	35% min
Particulas chatas y Alargadas	ASTM 4791	7.32%	10% max
Caras fracturadas	MTC E 210	91.00/74.00	90/70
Absorcion	MTC E 206	0.86%	1.0% max
Gravedad especifica (gf/cm ³)		2.770	
Peso unitario Max(gf/cm ³)		1.556	
Peso unitario Min(gf/cm ³)		1.364	

Tabla 16: Tabla resumen de los ensayos para el agregado grueso.

Nota: El agregado grueso de la cantera cumple en todos los ensayos, pero en el caso de caras fracturadas se encuentra al límite, se continuó con el diseño, porque esta tesis se hace hincapié al diseño, no al desempeño del agregado.

3.3.2. Ensayos y Requerimientos para el Agregado Fino

A continuación se muestra una tabla donde se muestra los requerimientos que deben cumplir el agregado Grueso de acuerdo al MTC y ASTM. Para zonas de menor altitud a 3000 m.s.n.m. donde se ubica la región Arequipa.

Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
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	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Tabla 19: Requerimientos del Agregado fino.
FUENTE: EG - 2013

3.3.2.1. Ensayo de equivalente de Arena (MTC E 114)

- a) Objetivo: determinar la proporción relativa del contenido de polvo nocivo, o material arcilloso, en los agregados finos.
- b) Materiales, equipo y reactivos
 - Vaso mecánico de lavado
 - Empaquetadura debe ser de caucho de neopreno
 - Tubo irrigador de acero inoxidable
 - Tubo flexible de pastico y de caucho
 - Dos botellas de 1 galón de capacidad
 - Dispositivo de toma de lecturas
 - Embudo
 - Reloj o cronometro para toma de tiempo
 - Reactivos: la solución stock de cloruro de calcio (CaCl_2), que se prepara mezclando las siguientes soluciones: 454gr. de cloruro de calcio anhidro, 2050gr. de glicerina, 47gr. de formaldehido y agua destilada.

c) Procedimiento

- Se prepara la muestra de agregado fino, una porción representativa.
- Se coloca el cilindro de plástico sobre una superficie libre de vibraciones durante el proceso de sedimentación, a continuación se vierte 7ml de solución de cloruro de calcio dentro del cilindro.
- Se inserta la muestra dentro del cilindro, luego se el agua destilada,
- En el lapso de 5 a 10 minutos, se agita el cilindro.
- Para botar las burbujas que se forman en la muestra, se golpea el fondo.
- En el proceso de irrigación, se coloca el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, aflojando la pinza de la manguera, se aplica un poco de presión y, mientras la solución fluye por la boca del Irrigador. Esto impulsa hacia arriba el material fino y lo pone en suspensión.
- A continuación se deja reposar durante 20min, tomando tiempo después de retirar el tubo.
- Luego del reposo de 20min, se procede a tomar la medida del nivel de medida de la arcilla suspendida.
- Después de medir la lectura de la arcilla, se introduce el dispositivo de toma de medidas, bajando suavemente hasta llegar a la arena. Cuando este sobre la arena, se toma la medida de la arena de acuerdo a lo que marcar el disco indicador del dispositivo de toma de medidas.
- Luego de tomar nota las dos medidas, se realizan los cálculos respectivos.

d) Cálculos

- Se calcula el equivalente de arena del agregado fino, usando la siguiente ecuación.

$$D = (B/A) \times 100$$

Donde:

D: Equivalente de Arena

B: altura de la arena

A: altura del material fino o arcilla.

- Al final se saca un promedio de las tres muestras ensayadas.

Datos	1	2	3
hora de inicio (h)	12:50	12:52	12:54
salida saturación (h)	13:00	13:02	13:04
H. entrada decantación(h)	13:04	13:05	13:06
Salida de captación (h)	13:24	13:25	13:26
altura material fino(pulg)	4.20	4.55	4.00
altura arena(pulg)	3.65	3.80	3.50
Eq. Arena (B/A x 100%)	86.90	83.52	87.50
Promedio (%):	85.97		

Tabla 17: Cálculo del equivalente de arena

3.3.2.2. Ensayo de Durabilidad Sulfato de Magnesio (MTC E 209)

- a) Objetivo: sirve para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración de los agregados, por acción de soluciones saturadas del sulfato de magnesio. Este ensayo nos brinda información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de agentes atmosféricos.
- b) Aparatos, materiales y reactivos
- Tamices: se usaran tamices normados de acuerdo NTP 350.001. como se aprecia en el cuadro, para la serie fina.

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

Tabla 18: Tamices para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

FUENTE: EG - 2013

- Envases: empleados para sumergir las muestras de agregados
- Balanzas
- Horno de secado.
- Reactivos. Sulfato de Magnesio: se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio disolviendo la sal en el agua a la temperatura de 25°C a 30°C. Se agrega suficiente sal de la forma anhidra ($MgSO_4$) o la forma cristalina ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) para este caso usaremos la solución cristalina como se aprecia en la figura, luego que se disuelva la solución se deja reposar en un recipiente 48h; cuando la solución va ser usada deberá tener un peso específico no menor a de 1295gr ni mayor de 1308gr.

c) Procedimiento.

- La muestra de agregado fino debe tener un peso de 400gr.
- Se lava completamente el agregado fino, para luego secar en el horno.
- Una vez que está seco completamente se tamiza en las mallas (Nº8, Nº 16, Nº 30, Nº 50).
- El proceso del ensayo es similar al del agregado grueso.

d) Cálculos

- La formulas son aplicables para los dos casos, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso.

$$\% \text{ Perdida} = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

Donde:

P_i : peso inicial de la muestra

P_f : peso final de la muestra, al final del ensayo.

- El porcentaje de perdida corregido se obtiene del porcentaje de perdida multiplicado por el peso retenido en las mallas (Nº8, Nº 16, Nº 30, Nº 50). Tal como se aprecia en la formula.

$$\% \text{ Perdida corregido} = (\% \text{ perdida} \times A) / 100$$

Donde:

A: peso retenido en las mallas (Nº8, Nº 16, Nº 30, Nº 50).

Tamiz	Peso inicial (gf.)	Peso final (gf.)	% perdida	% perdida Corregido
#8	100	80	0.002	0.00014
#16	100	80	0.002	0.00024
#30	100	73	0.003	0.00013
#50	100	50	0.005	0.00035
Total:			0.012	0.00086
				8.64

Tabla 19: Calculo para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

3.3.2.3. Ensayo de Índice de Durabilidad (MTC E 214)

- a) Objetivo: El ensayo de índice de durabilidad para el agregado fino es un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos, de tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica.
- b) Aparatos, materiales y reactivos (el sistema es similar al ensayo de equivalente de arena- MTC E 114).
 - Vaso mecánico de lavado
 - Empaquetadura debe ser de caucho de neopreno
 - Tubo irrigador de acero inoxidable.
 - Tubo flexible de pastico y de caucho
 - Dos botellas de 1 galón de capacidad
 - Dispositivo de toma de lecturas
 - Embudo
 - Reactivos: la solución stock de cloruro de calcio (CaCl_2), que se prepara mezclando las siguientes soluciones: 454gr. de cloruro de calcio anhidro, 2050gr. de glicerina, 47gr. de formaldehido y agua destilada.
- c) Procedimiento
 - Se Cuarteo el agregado fino, una porción representativa del material que pasa por el tamiz (Nº 4).
 - Se seca la muestra a 110°C , luego se deja enfriar a temperatura ambiente.
 - Este ensayo se realiza para dos muestras

- El proceso a continuación es similar al del Agr. Grueso.

d) Cálculos.

- Se calcula el índice de durabilidad del agregado fino, usando la siguiente ecuación.

$$D = (B/A) \times 100$$

Donde:

D: índice de Durabilidad

B: altura de la arena

A: altura del material fino o arcilla

- Al final se realiza un promedio entre los dos índices de durabilidad de las muestras ensayadas.

Datos	1	2
hora de inicio (h)	12:06	12:07
salida saturación (h)	12:16	12:17
H. entrada decantación (h)	12:18	12:19
Salida de decantación (h)	12:38	12:39
altura material fino(mm) (A)	86.50	87.00
altura arena(mm) (B)	82.00	84.00
Ind. De Durabilidad (B/A x 100%)	94.80	96.55
Promedio (%):		96

Tabla 20: Calculo para el ensayo de índice de durabilidad

3.3.2.4. Limite líquido (MTC E 111)

- a) Objetivo: sirve para expresar el contenido de humedad, en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

b) Equipo

- Recipiente de almacenaje
- Cuchara de Casagrande
- Acanalador
- Balanzas
- Horno.

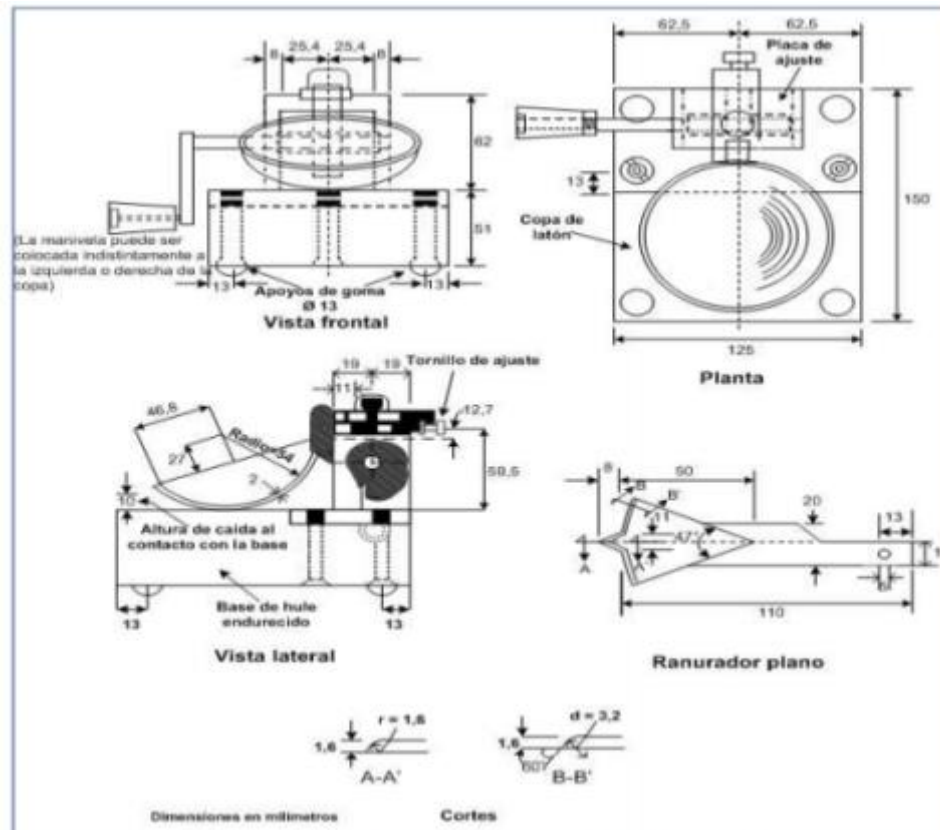


Figura 1: Aparato manual para límite líquido

Figura 13: Esquema de la cuchara de Casagrande.

FUENTE: EG – 2013

c) Procedimiento

- Se Coloca una porción de la muestra, previamente humedecida con agua en la cuchara de Casagrande; y se esparce formando una superficie horizontal.
- Utilizando el acanalador, se divide la muestra tal como se muestra en la figura, dividimos el contenido de la cuchara, haciendo una ranura en el medio de la muestra.

- Con la cuchara girando el manubrio, se levanta y se suelta, hasta que las dos mitades estén en contacto en la base de la ranura de longitud de (1/2 pulg.).
- Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta del suelo se sigue deslizando en la cuchara o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 2, se registrara que el limite no pudo determinarse, por tanto el suelo se clasificara como no plástico, sin realizar el ensayo de limite plástico.
- Se registra el número de golpes, N necesarios para cerrar la ranura.
- El proceso se repite para tres muestras más de suelo.
- Al final se halla el contenido de humedad de cada espécimen de la muestra de suelo estudiado, los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo.



Figura 20: Representación del cierre de la ranura que forma la muestra.
FUENTE: EG – 2013

d) Cálculos

- Sobre un gráfico semilogarítmico se representará la relación entre el contenido de humedad, y el número de golpes correspondientes, el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Se traza la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos gráficos.
- Se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea de la abscisa de 25 golpes como límite líquido del suelo.
- Nota: Para la muestra estudiada se clasifica en un suelo no plástico (NP), ya que el límite no pudo determinarse, porque el número de golpes para cerrar la abertura fue menor a dos.

De acuerdo a la norma para las mezclas asfálticas, la arena no debe presentar elementos arcillosos, por tanto arenas no plásticas.

# muestra	1	2	3
# golpes	6	3	2
Peso Lata (gf.)	11.10	11.20	11.10
P. Lata + suelo hum (gf.)	84.00	85.50	78.60
P. Lata + suelo seco (gf.)	71.50	70.00	64.50
P. suelo húmedo (gf.)	72.90	74.30	67.50
P. suelo seco (gf.)	60.40	58.80	53.40
Contenido de Humedad (%)	26.40	26.36	20.70
LIMITE LIQUIDO (%)	NP		
LIMITE PLASTICO (%)	NP		
INDICE DE PLASTICIDAD	NP		

Tabla 21: Calculo para el ensayo de índice de plasticidad

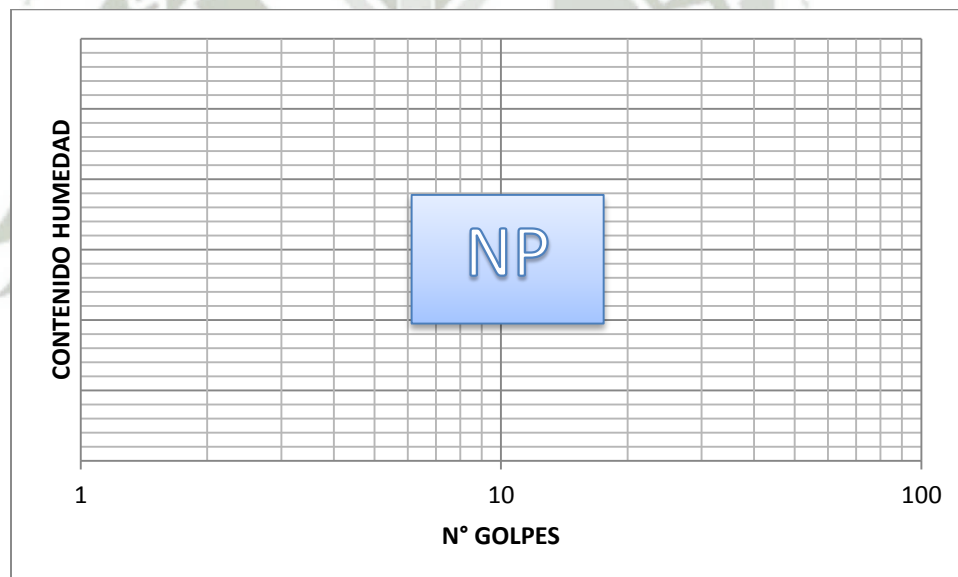


Figura 21: Gráfica del índice de Plasticidad

3.3.2.5. Limite Pastico (MTC E 111)

- a) Objetivo: se denomina limite plástico (LP) a la humedad más baja que puede formarse barritas de suelo de unos 3.2mm de diámetro, que se forman rodando dicho suelo con las manos y una superficie lisa. Esto sirve para determinar qué tan plástico es el suelo a estudiar.
- b) Equipo
- Recipiente para almacenar
 - Agua
 - Vidrio
 - Balanza
 - Horno
 - Superficie de rodadura
- c) Procedimiento:
- Se toma una porción de muestra representativa, a continuación se humedece el suelo.
 - Moldeamos la muestra de forma elipsoidal, y a continuación se rueda con los dedos sobre una superficie lisa.
 - Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2mm, no se ha desmoronado, se vuelve a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone con dicho diámetro.
 - La porción así obtenida se coloca en vidrios, hasta reunir unos 6gr. de suelo, para luego determinar su humedad.
- d) Cálculos
- El cálculo se obtiene de sacar el promedio de dos contenidos de humedad
 - El límite se expresa como porcentaje de humedades.

- Índice de Plasticidad: se define como la diferencia entre su límite líquido y límite plástico:

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

- Para la muestra estudiada, al igual que el límite líquido, no se pudo determinar, entonces el límite plástico es (NP).

3.3.2.6. Ensayo de Gravedad específica y absorción

- a) **Objetivo:** se aplica para determinar el peso específico aparente y la absorción del agregado fino.
- b) **Materiales y equipos**
 - Balanza
 - Tamiz n° 4
 - Fiola
 - Estufa
 - Bandeja
- c) **Procedimiento**
 - Se tamiza el material por la malla n°4 (se trabaja con todo el material que pasa la malla).
 - Se ingresa el material cuidadosamente a la fiola, debe estar con agua aproximadamente unos 500cm³.
 - Se elimina toda presencia de aire que se encuentre en la fiola, para luego dejar reposar durante 1h.
 - A continuación se pesa la fiola + peso del agua + peso de muestra
 - Se extraemos el material, con cuidado y de tal manera que no quede nada en la fiola, colocándolo en una bandeja y luego se pesa.
 - Finalmente la muestra, se lleva a la estufa a secarla a una temperatura de 100°C. Después se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1h, una vez que el agregado se haya enfriado se pesa para obtener el peso de la muestra al aire.

d) Cálculos

- Gravedad específica: para los cálculos, se emplea los datos tomados durante el proceso, y a continuación usamos la siguiente formula:

$$Ge = A / (F + A - B)$$

Donde:

Ge: gravedad específica del agregado fino en gr./cm³

A: Peso muestra seca

F: peso de la fiola

B: peso fiola + agua + muestra.

Información	Peso (gf.)
P. muestra seca (A)	345.3
P. fiola + agua + muestra (B)	877.9
P. fiola (F)	657.2
Volumen de muestra (V) (cm ³)	124.6
Gravedad específica (gf/cm³)	2.77

Tabla 22: Cálculo para la gravedad específica

- Absorción: con la siguiente formula y con los datos obtenidos en el ensayo se tiene:

$$Abs = (A - B) / B \times 100$$

Información	Peso (gf.)
P. inicial de la muestra (A)	355.7
P. muestra seca (B)	354.2
Absorción del Ag. Fino (%)	0.42

Tabla 23: Cálculo para la absorción del agregado fino

3.3.2.7. Ensayo de Pesos Unitarios

a) Objetivo: determinar el peso suelto y compactado de la muestra a ensayar.

b) Materiales y Equipo

- Balanza
- Proctor o recipiente de metal.
- Varilla de metal, que servirá para compactar
- Regla de metal, que servirá para enrazar
- Bandeja
- cuchara

c) Procedimiento

- El proceso es similar para determinar el peso unitario del agregado grueso, tanto para el suelto como para el compactado.

d) Cálculos

- Al trabajar con tres muestras se saca un promedio entre las tres
- Se calcula el peso unitario suelto y compactado con la siguiente formula.

$$Pu = (A - M)/V$$

Donde:

Pu: peso unitario

A: peso del proctor más el agregado

M: peso del proctor

V: volumen del recipiente.

Agregado Fino	1	2	3
P. molde + agr. (gf)	9997	9993	9995
Promedio(A) (gf)		9995.00	
Vol. Del molde(V) (cm ³)		2130.6	
Peso del molde(M) (gf)		6338.3	
		3656.70	
Peso unitario. (gf/cm³):	1.716		

Tabla 24: Cálculo para el peso unitario máximo del agregado fino

Agregado Fino	1	2	3
P. molde + agr. (gf)	9841	9838	9839
Promedio(A) (gf.)		9839.33	
Vol. Del molde(V) (cm ³)		2130.6	
Peso del molde(M)(gf)		6338.3	
		3501.03	
Peso unit. (gf/cm³):	1.643		

Tabla 25: Cálculo para el peso unitario mínimo del agregado fino

3.3.2.8. Ensayo Azul de Metileno (AASTHO TP 57)

- a) Objetivo: determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en el agregado fino.
- b) Materiales y Equipo
 - Balanza
 - Agitador magnético
 - Varilla de vidrio
 - Bandeja
 - Cronometro
 - Vaso de precipitados (3 aproximadamente)
 - Papel filtro
 - Matraz
 - Tamiz (nº200)
 - Bureta de 50ml
 - Agua destilada

- Horno
- Agua destilada
- Azul de metileno: el reactivo, debe estar protegido de la luz del sol

c) Procedimiento

- Se Coloca 10.0 gf de material pasante del tamiz (No 200), seco con masa constante, en un vaso volumétrico de 500 ml.
- Se adiciona 30 ml de agua destilada, y se bate con el agitador hasta tener una lechada.
- Con la bureta se agrega solución de Azul de Metileno a la lechada de suelo 0.5 ml, para que luego se agite durante un minuto.
- Se extrae con la varilla agitadora de vidrio una gota de lechada y se deja caer sobre el papel filtro.
- Se observa la gota en el papel filtro. Si no se forma alrededor de la gota un anillo o aureola azul, se continúa el ensayo adicionando a la lechada de suelo incrementos de 0.5 ml de solución de Azul de Metileno, y se agita durante un minuto para cada incremento, para que se coloque la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota.

Después de alcanzar este punto se continúa agitando durante 5 minutos y se repite la prueba en el papel filtro, como método de confirmación. Si se continúa presentando el aro azul se da por terminado el ensayo y se procede a realizar el cálculo de Valor de Azul. Si, por el contrario, desaparece el aro, se debe continuar con la titulación como se aprecia en la figura.

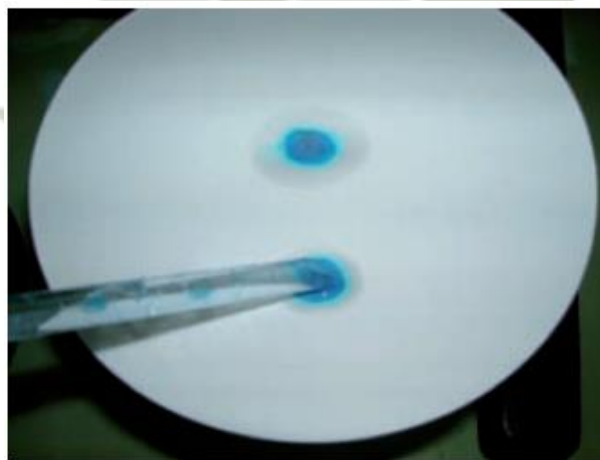


Figura 22: Resultado del azul de Metileno.
FUENTE: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AzulMetileno.pdf>

d) Cálculos:

- Los cálculos se obtienen a partir de la siguiente formula:

$$MB = \frac{V}{M} \times 10$$

Donde:

MB: valor de azul de metileno expresado en mg de colorante por gramos de la fracción granulométrica. (mg/gr.)

V: volumen de la solución (ml)

M: peso de la muestra para el ensayo (gr.)





000001

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4 2 9 - 2014 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONSORCIO VIAL AREQUIPA	MUESTRA	: Agregado
DOMICILIO LEGAL	: Av. Nicolás Ayllón 2632, N° 2634 Z. I. Lotiz. Ind. Santa Rosa - Ate - Lima	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Construcción de Vía Troncal Interconectora entre los Distritos de Miraflores, Alto Selva Alegre, Yanahuara, Cayma, Cerro Colorado de la Provincia de Arequipa, Tramo II (Augusto Galazar Bondy) Tramo V (Ramón Castilla Carmen Alto)	CANTIDAD	: 8 kg
REFERENCIA	: REC N° 273-2014-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Bolsa plástica
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2014.11.10	FECHA DE ENSAYO	: 2014.11.12

AASHTO TP-57 (2004)* VALOR DE AZUL DE METILENO PARA ARCILLAS, RELLENOS MINERALES Y FINOS

Identificación	Resultado (mg/g)
Cantera La Poderosa - Arequipa; agregado fino	8,0

Observaciones:

- (*) Referencia: Methylene Blue Value of Clays, Mineral Fillers and Fines
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante, procedencia: Arequipa
- Fecha de orden de ensayo 2014.11.10
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



LABORATORIO DE
QUIM. ALINA MAGUINA ASTETE
Lima, 12 de Noviembre del 2014

Figura 14: Resultando del ensayo Azul de Metileno.

FUENTE: Resultado de muestra de Obra de Acceso "Puente Chilina" - Laboratorio de MTC

Ensayos	Norma	Agregado Fino Cantera KM 19 MTC	Altitud(m.s.n.m.) > 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	86.00%	70% min
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	8.64%	18% max
Indice de Durabilidad	MTC E 214	96%	35% min
Indice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Indice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	NP	NP
Absorción	MTC E 206	0.42%	0.5% max
Ensayo de Azul de metileno	AASTHO TP 57	8.00%	8.00 % max
Gravedad específica (gf/cm ³)		2.770	
Peso unitario Max(gf/cm ³)		1.716	
Peso unitario Min(gf/cm ³)		1.643	

Tabla 29: Tabla resumen de los ensayos para el agregado Fino.

3.3.3. Ensayos de Granulometría (NTP 400.012)

A continuación se presentara los ensayos de granulometría que se hicieron tanto para el agregado fino como para el grueso, además de la combinación de estos.

3.3.3.1. Granulometría para el Agregado Fino

- a) Objetivo: determinar por una serie de tamices, la distribución de partículas de agregado fino en una muestra seca de peso conocido
- b) Materiales y Equipo
 - Balanzas
 - Horno
 - Bandejas
 - Tamices (#4, #8,#10, #16, #30, #40, #50,#80, #100, #200)
 - Tamizador mecánico



Figura 15: Máquina tamizadora mecánica.

FUENTE: Elaboración propia, laboratorio de suelos y concreto UCSM

c) Procedimiento

- Se cuartea la muestra.
- Dependiendo de las características de los finos, se lava la muestra.
- Luego en el horno a una temperatura constante de 110°C , se seca la muestra en una bandeja,
- Una vez que la muestra esté lista, se coloca la muestra en los tamices (#4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #80, #100, #200). Para se coloquen en la maquina tamizadora.
- Se prende la maquina tamizadora durante 1 a 2 min.
- Se apaga la máquina, y a continuación en la balanza se pesan los pesos retenidos de cada tamiz.

d) Cálculo

- El cálculo se obtiene de los pesos retenidos, su suma debe dar la cantidad total de la muestra.
- Se calcula el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos sobre cada tamiz con aproximación al 0.1% sobre la base del peso total de la muestra inicial seca.

- El resultado se expresa en una gráfica semilogarítmica entre la abertura y el porcentaje pasante.

Tamiz	Abertura(mm)	Peso Ret. (gf)	% retenido	% pasante
3/8"	9.50			100
#4	4.75	8.00	1.00	99.00
#8	2.36	139.40	17.34	81.67
#10	2.00	48.10	5.98	75.68
#16	1.19	107.50	13.37	62.31
#30	0.595	131.00	16.29	46.02
#40	0.425	61.30	7.62	38.40
#50	0.250	115.90	14.42	23.98
#80	0.180	94.80	11.79	12.19
#100	0.150	15.50	1.93	10.26
#200	0.075	29.20	3.63	6.63
fondo	-	53.30	6.63	0.00
		804	100.00	

Tabla 26: Cálculo para la granulometría del agregado fino

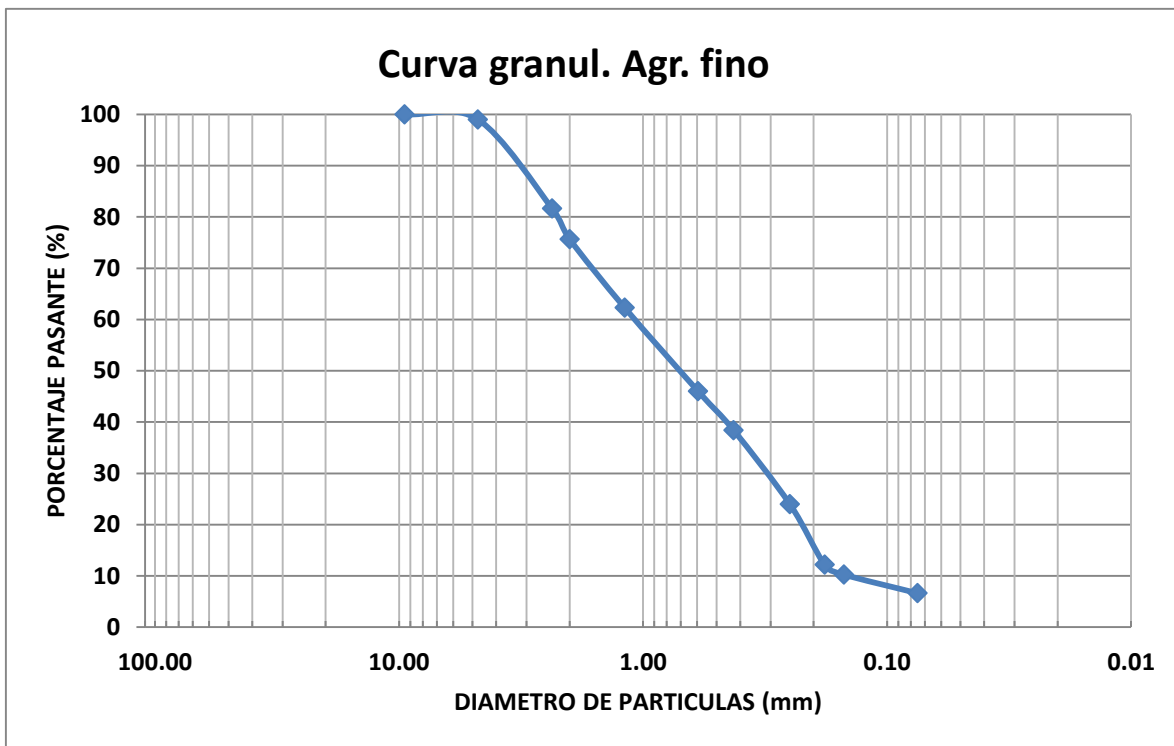


Figura 16: Curva granulométrica del agregado fino

3.3.3.2. Granulometría para el Agregado Grueso

- a) Objetivo: determinar por una serie de tamices, la distribución de partículas de agregado grueso en una muestra seca de peso conocido.
- b) Materiales y Equipo
 - Balanzas
 - Horno
 - Bandejas
 - Tamices (2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4,#10)
 - Tamizador mecánico

c) Procedimiento

- Se cuartea la muestra de agregado grueso.
- Se lleva la muestra al horno, a una temperatura de constante de 110°C.
- El proceso a continuación es idéntico al del agregado fino, solo con la diferencia de que los tamices que usamos son (2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #10).

d) Cálculos

- Los cálculos realizados para la granulometría del agregado grueso es la misma al del agregado fino. Como se muestra en el cuadro.

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido (gf)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.50	274.5	22.88	22.88	77.13
3/8"	9.50	358	29.83	52.71	47.29
N°04	4.75	560	46.67	99.38	0.63
N°10	2.00	7.5	0.63	100.00	0.00
fondo		0.00	0.00	100.00	0.00
		1200.00	100.00		

Tabla 27: Cálculo para la granulometría del agregado Grueso

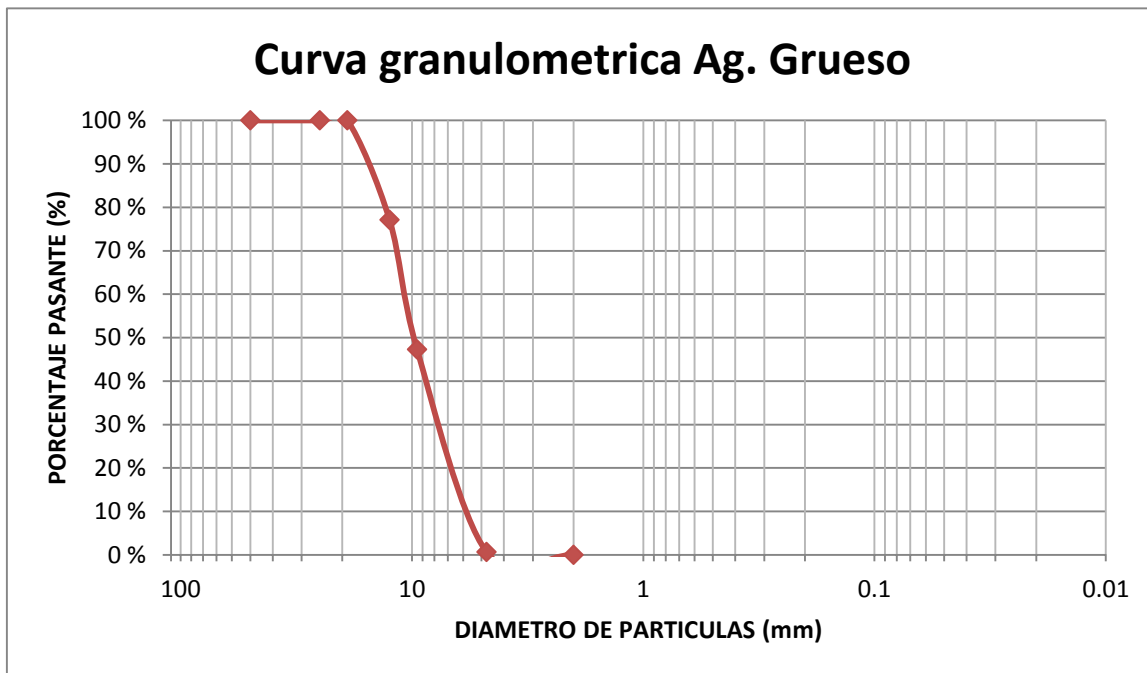


Figura 17: Curva granulométrica del agregado grueso

3.3.3.3. Granulometría para mezcla de Agregados

- a) Objetivo: el objetivo principal de la combinación es que cumpla con las especificaciones de una mezcla asfáltica, para luego poder elaborar un diseño.
- b) Procedimiento.
 - El procedimiento ya no se realiza en laboratorio, sino por medio de un procedimiento teórico (cálculos).
 - Los cálculos resultan del porcentaje de los pesos.
- c) Cálculos
 - En base a los porcentajes de los pesos de cada agregado
 - La columna de las gravas, se colocan todos los porcentajes.
 - La columna de las arenas, se colocan el agregado fino, más el porcentaje de filler.

- Una vez tenidos los datos mencionados, se trabaja realizando los cálculos sé que realizan a una granulometría simple.
- Para la gráfica, esta debe entrar en el uso granulométrico para nuestro caso emplearemos la gradación MAC-1. 3

Tamiz	Abert(mm)	MAC-1
3"	76.2	
2"	50.8	
1 1/2"	38.1	
1"	25.4	100
3/4"	19.1	80 - 100
1/2"	12.7	67 - 85
3/8"	9.52	60 - 77
Nº 4	4.76	43 - 54.
Nº 8	2.38	
Nº 10	2	29 - 45
Nº 16	1.19	
Nº 30	0.59	
Nº 40	0.425	14 - 25
Nº 50	0.3	
Nº 80	0.18	8 - 17
Nº 100	0.15	
Nº 200	0.074	4 - 8
FONDO		

Tabla 28: MAC-1

3 Se utilizó la gradación MAC -1, ya que el material de la cantera presenta un tamaño máximo de partículas de 3/8". Solo pasaría la gradación MAC – 1 .

Tamiz	Abert(mm)	Grava	Arena combinada	% retenido	% pasante	MAC-1	Descripción
3"	76.2						
2"	50.8						Grava: 48% Arena: 49.8 % Filler: 2.2. %
1 1/2"	38.1				100.0		
1"	25.4			0.0	100.0	100	
3/4"	19.1	5.0		2.4	97.6	80. - 100	
1/2"	12.7	42.9		20.6	77.0	67. - 85	
3/8"	9.52	26.3		12.6	64.4	60. - 77	
Nº 4	4.76	25.5	1.00	12.8	51.6	43. - 54.	Tamaño máx. 3/4"
Nº 8	2.38	0.3	16.62	8.8	42.8		
Nº 10	2		5.73	3.0	39.8	29. - 45	
Nº 16	1.19		12.81	6.7	33.1		
Nº 30	0.59		15.61	8.1	25.0		Índice de plast. NP
Nº 40	0.425		7.30	3.8	21.2	14. - 25	
Nº 50	0.3		13.82	7.2	14.0		
Nº 80	0.18		11.30	5.9	8.1	8. - 17	
Nº 100	0.15		1.85	1.0	7.1		
Nº 200	0.074		3.52	1.8	5.3	4. - 8	
FONDO			10.47	5.4	0.0		
		100.0	100.00	100.0			

Tabla 29: Calculo para la granulometría de la combinación de agregados

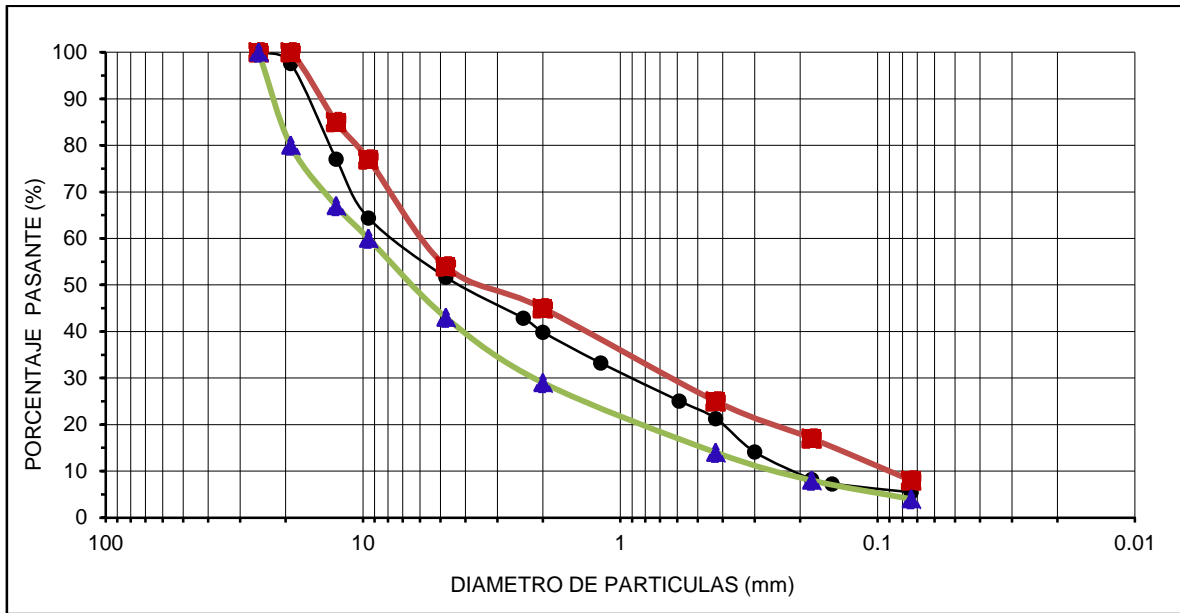
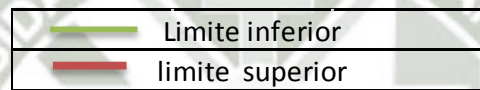


Figura 18: Curva granulométrica de combinación de agregados



3.4. Diseño de asfalto en caliente convencional

Para una mezcla de pavimento flexible en caliente, los agregados y el asfalto son combinados en proporciones exactas; que a su vez, determinan las propiedades físicas de la mezcla.

Existen dos métodos de diseño utilizados, para determinar las proporciones de diseño. El método Marshall y el método Hveem.

Para el diseño de mezclas, que consiste en la elaboración de probetas, utilizamos el método Marshall, porque es el más usado en nuestra región.

Este método es aplicable tanto para el diseño en laboratorio, como para el control de la mezcla durante una obra de pavimentación.

Son dos aspectos principales que ahonda este método para muestras asfálticas compactadas que son:

- Análisis densidad-vacíos.
- Ensayo de estabilidad- fluencia

3.4.1. Cemento Asfáltico

Los asfaltos se producen por la refinación del petróleo en unidades de destilación primaria y de vacío. El producto obtenido es destilado a 26 mm Hg. de presión de vacío y alta temperatura de 370° C.

Son preparados especialmente por presentar cualidades y consistencias propias para su uso directo en la construcción de pavimentos asfálticos.

Los cementos asfálticos se utilizan principalmente en aplicaciones de infraestructura vial (construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías), donde forman parte de la capa estructural de una vía, brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aún en presencia de los diferentes agentes externos tales como el clima, la humedad, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico.

A temperatura ambiente son sólidos; se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad dinámica o absoluta. En nuestro país se utiliza la clasificación por penetración a 25°C.

Para la elaboración de las probetas de las mezclas asfálticas tanto caliente convencional, como asfalto espumado se utilizó cemento asfáltico PEN 85/100.³

Usos

- Pavimentos (Asfalto en caliente) Construcción de vías asfaltadas (pistas, autopistas, etc.).
- Industria impermeabilizante y pinturas asfálticas.
- Revestimiento de diques y canales
- Materia prima para las emulsiones asfálticas.

³ Pen 85/100 según la norma, ideal para trabajos para zonas como Arequipa



PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO		<i>Fecha efectiva:</i> Enero 2014		
TIPO DE PRODUCTO CEMENTO ASFÁLTICO		<i>Reemplaza edición de:</i> Noviembre 2007		
NOMBRE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN				
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	85	100	D-5	T-49
VOLATILIDAD				
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	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:			D-1754	T-179
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.				

Tabla 30: Características y propiedades del cemento asfáltico PEN 85/100
FUENTE: PETROPERU

3.4.2. Ensayo Marshall (método AASHTO T-245 y ASTM D-1559)

Este método es muy usado para el diseño en asfalto en caliente; es un experimento que consiste en diseño de una mezcla asfáltica por medio del análisis de la estabilidad, flujo y densidad.

El método Marshall consiste en una serie de procedimientos donde se ensayan muestras normalizadas (Probetas). En donde una serie de probetas, cada una con la misma dosificación de agregado pero con diferentes contenidos de asfalto.

a) Objetivo: El objetivo de diseño por este método es determinar una proporción adecuada de Pen en el diseño con la finalidad de garantizar una estabilidad que satisfaga la exigencia del servicio.

Se busca una obtención de un pavimento durable, por medio de un buen recubrimiento entre las partículas (agregados fino y grueso) y el Pen, ligando e impermeabilizando las mismas entre sí, con una compactación adecuada.

La trabajabilidad, es la propiedad presente en todos los pavimentos, que permite una eficiente colocación en el terreno donde se esparcirá, evitando la segregación de la mezcla; además que presenten los suficientes vacíos con aire la mezcla compactada, que a su vez brindan espacios que impidan exudación y pérdidas de estabilidad al producirse una pequeña compactación adicional bajo las cargas de tránsito, sin olvidarse de mencionar los aumentos de volumen del pavimento a altas temperaturas.

b) Equipos:

- Recipientes
- Horno
- Moldes de acero, para las probetas de diámetro de 4" y de altura 3"
- Termómetro
- Cocina
- Olla
- Espátulas
- Cuchara
- Martillo mecánico de 10lb. de peso
- Desmoldador
- Máquina de baño María.
- Máquina Marshall.



Figura 19: Cocina, olla y bandeja.
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 20: Martillo compactador mecánico
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 30: Desmoldador de probetas
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 31: Molde de probetas
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 32: Máquina de Baño María
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 21: Máquina para ensayo Marshall y molde para probetas
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

c) Procedimiento:

Diseño de mezclas:

- Previamente a la elaboración de las probetas, es importante de que los materiales cumplan con los requerimientos y especificación dadas por la norma vigente.
- Una vez que cumplan los requerimientos los agregados, se dispone a confeccionar varias probetas normalizadas, cada una con un porcentaje de asfalto diferente (3 muestras por cada porcentaje de asfalto).
- Por medio del diseño, se tiene los pesos de los agregados fino y grueso, el filler y el contenido de Pen. Además de tener en cuenta de la temperatura que se trabajara, para nuestro caso se diseñó con una temperatura de 140°C para el proceso de mezclado y compactación de las probetas.
- Cabe mencionar que este procedimiento se hace utilizando una temperatura mayor a los 100°C, se debe de tomar las precauciones del caso, utilizando guantes, chaleco y otros implementos de seguridad, con el fin de evitar accidentes.
- Para comenzar se dosifica el agregado fino, grueso y el filler, pesando y colocando en recipientes; luego se llevan al horno junto con los moldes de acero, durante unos 10 minutos.
- Pasado el tiempo, se saca los agregados y se coloca en un recipiente más grande donde se vierte el agregado fino y el grueso, además del filler; el recipiente debe estar precalentado en la cocina, para lograr llegar a la temperatura de 140°C, siempre controlando con el termómetro.
- Mientras se van calentando los agregados en la otra hornilla de la cocina, se calienta el asfalto en otro recipiente controlando de que la temperatura no pase los 140°C con el termómetro.



Figura 22: Calentando Pen y los agregados
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Cuando los agregados están próximos a la temperatura de mezclado, y el asfalto también, este se dosifica en peso; este proceso se realiza colocando el recipiente de los agregados en una balanza, se tara y a continuación, se vierte la cantidad requerida de asfalto; cubriendo todo el agregado, siempre manteniendo la temperatura de mezclado.
- Ahora continuación, el proceso de mezclado propiamente dicho, con una espátula se revuelve la mezcla, hasta que todos los agregados se tiñan de negro por completo.



Figura 23: Asfalto en caliente convencional, obtenido en laboratorio
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Paralelamente, se saca el molde de acero del horno, le colocamos grasa para evitar que se pegue la mezcla en las paredes.
- Si se aprecia de que la mezcla presenta un total color negro, esto indica que la mezcla esta lista, se ha obtenido asfalto en caliente; se procede a verter en el molde con la ayuda de la cuchara, para evitar que se pierda mezcla.
- Después que se ha vertido al molde la mezcla, se lleva la mezcla a compactar con el martillo mecánico.
- Se coloca el molde en la máquina, luego se ajusta para que no se mueva, para evitar una mala compactación de la mezcla. Una vez listo se programa el martillo, 75 golpes por lado.



Figura 24: Chancado de probeta Asfalto en caliente, obtenido en laboratorio
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Después de realizar este proceso, se saca el molde de la máquina, y se lleva a un lugar donde reposa durante 24 horas.
- Pasadas las 24 horas, se procede a desmoldar la muestra, con el desmoldador mecánico, teniendo cuidado de no dañar la probeta.
- Este proceso se repite de acuerdo al número de muestras que se requieran (3 probetas por cada porcentaje de asfalto).
- Finalmente, se rotulan, se pesan las probetas y se toman medidas de diámetros y alturas, de cada una.



Figura 25: Probeta Asfalto en caliente, obtenido en laboratorio
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

Preparación de las probetas para el ensayo de estabilidad y de flujo.

- En la cocina, se calienta en un recipiente parafina, durante unos 15 minutos.
- Una vez que la parafina está caliente, se espera a que enfríe durante unos 5 minutos, pasado este tiempo, se coloca la probeta en el recipiente, de tal manera que se cubra completamente en parafina, si la probeta presenta huecos estos se deben de cubrir.
- Se deja secar la probeta cubierta en parafina, finalmente se pesan.



Figura 26: Probetas Asfalto en caliente parafinadas
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- A continuación se pesan las probetas en agua, por medio de una balanza que presenta una canasta que se sumerge en el agua una por una de las probetas, al final se toman los pesos de cada una.



Figura 27: Probetas listas para obtener el peso sumergido
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Paralelamente, se prende la máquina de baño María, se llena con agua, esperando que caliente hasta que llegue a una temperatura de 60°C.
- Una vez que la maquina se encuentra a la temperatura mencionada, se colocan las probetas.
- Las probetas deben estar en la maquina durante 30 minutos.
- Pasado los 30 minutos, se extraen de la máquina de baño María, y se llevan al ensayo de flujo y estabilidad.



Figura 40: Extracción de probetas del baño María
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

Ensayo de Estabilidad y flujo para probetas de asfalto en caliente convencional:

- Con el equipo de ensayo prendido y listo, se cuadra en cero el medidor del dial de carga, para el medidor de flujo.
- Retirada la probeta del baño María, se le seca la superficie.
- Se ubica y se centra la probeta en la mordaza inferior, luego se coloca la mordaza superior, para luego centrar en el aparato de carga.

- A continuación, se aplica la carga de prueba a una velocidad constante de 2" por minuto, hasta que la probeta falle.
- El punto de falla: se define como la lectura de la carga máxima obtenida al ser sometida la probeta.
- Al momento de que falla se debe para el dial de flujo, para obtener el resultado.
- Para el obtener el dato de estabilidad se observa la pantalla que presenta la máquina, tal como se aprecia en la foto.



Figura 41: Toma de datos de estabilidad y flujo
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Los datos que se obtienen después de realizar el ensayo Marshall son: toma de diámetros, alturas, peso de la probeta, peso de probeta + parafina, peso probeta + parafina sumergida, estabilidad y flujo. Como se aprecia en el cuadro 3.4.2

M - 1	Peso(gf)	Peso + paraf.(gf)	Peso sumerg. + paraf.(gf.)
		1190	1203.30
	Diámetros(cm)	Alturas (cm)	Estabilidad (kg)
1	9.90	6.20	847.40
2	9.90	6.20	
3	9.90	6.22	Flujo(mm)
4	9.90	6.25	2.2

Tabla 31: Datos para expresar los cálculos del ensayo Marshall

3.4.2.1. Ensayo de contenido óptimo de asfalto Pen

Para determinar el contenido óptimo de asfalto en caliente para nuestra tesis, se elaboraron una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de manera que, cuando se grafica los valores obtenidos después de ser ensayadas, obtenemos nuestro valor óptimo.

Para cada probeta establecida se elaboran cinco porcentajes de asfalto, comenzando desde 1.0 % hasta llegar a 7.0%. Se elaboran tres probetas para cada porcentaje de asfalto; hasta tener un total de 15 probetas.⁴

Se determina el contenido de asfalto en caliente óptimo, promediando los porcentajes de asfalto que nos da la estabilidad máxima, densidad máxima y el valor promedio del porcentaje de huecos de la mezcla.

Para nuestro caso de estudio los porcentajes comenzaron desde 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5% como indican las tablas que a continuación se muestran.⁵

Componente	% de asfalto: 4.5
Arena (gf.)	602.9
Grava (gf.)	514.7
Filler (gf.)	26.2
Pen (gf.)	56.2
total:	1200.0 gf

Tabla 32: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.

⁴ De acuerdo a la norma, es el rango que varía el porcentaje de contenido de asfalto de 1% a 7% (procesos iterativos).

⁵ En base a una serie de diseños realizados en laboratorio para esta tesis, se seleccionó estos datos debido a los resultados satisfactorios con el ensayo Marshall

Componente	% de asfalto: 5.0
Arena (gf.)	599.6
Grava (gf.)	511.9
Filler (gf.)	26.1
Pen (gf.)	62.4
total:	1200.0 gf

Tabla 33: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.

Componente	% de asfalto: 5.5
Arena (gf.)	594.4
Grava (gf.)	511.0
Filler (gf.)	26.0
Pen (gf.)	68.6
total:	1200.0 gf

Tabla 34: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.

Componente	% de asfalto: 6.0
Arena (gf.)	593.1
Grava (gf.)	506.3
Filler (gf.)	25.8
Pen (gf.)	74.8
total:	1200.0 gf

Tabla 39: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.

Componente	% de asfalto: 6.5
Arena (gf.)	589.8
Grava (gf.)	503.5
Filler (gf.)	25.6
Pen (gf.)	81.1
total:	1200.0 gf

Tabla 35: Contenido de asfalto y pesos de los materiales.

3.4.2.2. Ensayo de Pesos unitarios.

De los datos obtenidos anteriormente, este cálculo resulta de dividir el peso de la probeta al aire entre el volumen de la probeta por desplazamiento (volumen de la probeta + parafina – volumen de parafina).

$$P. \text{ unitario probeta} = W \text{ aire} / Vd$$

Dónde:

P. unitario probeta: peso unitario de la probeta en gf/cm³

W aire: peso de la probeta al aire en gf.

Vd: volumen de desplazamiento en cm³ (volumen de probeta + parafina – volumen parafina)

3.4.2.3. Ensayo Porcentaje de vacíos

Se determinan los valores por medio de una formula, que resulta de dividir la resta de la densidad máxima teórica y el peso unitario de la probeta, entre la densidad teórica; todo esto por 100%.

$$\% \text{ de vacíos} = 100 * (Dm - P. \text{ unit. Probeta}) / Dm$$

Donde:

% de vacíos: porcentaje de vacíos de la probeta en %.

Dm: densidad máxima teórica en gf/cm³

P. unit. Probeta: peso unitario de la probeta en gf/cm³.

3.4.2.4. Prueba de Flujo

La prueba de flujo es la deformación total expresada en unidades de 0.25mm (0.01pulg.) que experimenta la probeta desde la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

Aquellas muestras que presentan valores con alto contenido de fluencia se consideran demasiado plásticas y tienden a deformarse con facilidad frente a las cargas de tránsito.⁶

3.4.2.5. Ensayo de Estabilidad

El ensayo de estabilidad Marshall es la carga máxima en Kilogramos que soporta la probeta, cuando se le aplica una carga en sentido diametral.

El objetivo de este ensayo es medir la resistencia a la deformación de la mezcla compactada.

Las mezclas que tienen bajos valores de flujo y altos valores de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.⁷

3.4.2.6. Ensayo Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)(voids in the mineral aggregate)

Este ensayo consiste en realizar cálculos, en base a los datos, obtenidos del ensayo Marshall.

Son los espacios disponibles en los agregados para la adición del Pen.

El porcentaje VMA es el volumen de los agregados dividido entre el peso unitario del agregado total.

$$VMA = (100 - ((G + F + Fi) * PuB) / Puag.$$

⁶ Flujo y estabilidad <http://www.fceia.unr.edu.ar/laboratoriovial/Ensayos/mezcla.php>

⁷ Ibid

Donde:

VMA: porcentaje de vacíos de agregado mineral

G: porcentaje del agregado grueso

F: porcentaje del agregado fino

Fi: porcentaje del filler

PuB: peso unitario de la probeta (gf/cm³)

Puag: peso unitario del agregado total

3.4.2.7. Ensayo Porcentaje lleno con contenido Asfalto (V.F.A)(voids filled with asphalt)

Este ensayo, al igual que el anterior se realiza en base a los datos obtenidos en el ensayo Marshall.

El VFA, es el porcentaje de los vacíos intergranulares entre las partículas de los agregados que se encuentran llenos de asfalto.

Se calcula restando el VMA menos el porcentaje de vacíos, dividido entre el VMA, todo eso expresado en porcentaje.

$$\text{VFA} = (100 * (\text{VMA} - \text{Va}) / \text{VMA})$$

Donde:

VFA: porcentaje lleno de contenido de asfalto

VMA: porcentaje de vacíos de agregado mineral

Va: porcentaje de vacíos.

Nº	DATOS	Nº DE BRIQUETA				
		2	3	4	5	6
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
2	% de Agregado Grueso	42.98	42.75	42.53	42.30	42.08
3	% de agregado Fino	50.34	50.07	49.81	49.55	49.28
4	% de Filler	2.19	2.18	2.17	2.15	2.14
5	P.e. del C.A (gf/cm ³)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gf/cm ³)	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
7	P.e. del Agregado Fino (gf/cm ³)	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
8	P.e. del Filler (gf/cm ³)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gf/cm ³)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso Unit. de la Briqueta (gf/cm³)	2.29	2.31	2.33	2.32	2.33
11	Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.56	2.54	2.52	2.50	2.48
12	% de Vacíos	10.74	8.60	6.60	6.81	4.16
13	Estabilidad corregida (Kg)	847.40	884.63	1042.93	984.30	1001.98
14	Flujo (mm)	2.35	2.50	2.50	3.07	3.70
15	P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
16	V.M.A.	20.68	20.49	20.30	20.88	21.01
17	% de Vacíos llenados por C.A.	48.92	56.73	61.80	66.17	76.58

Tabla 36: Cuadro resumen del ensayo Marshall.

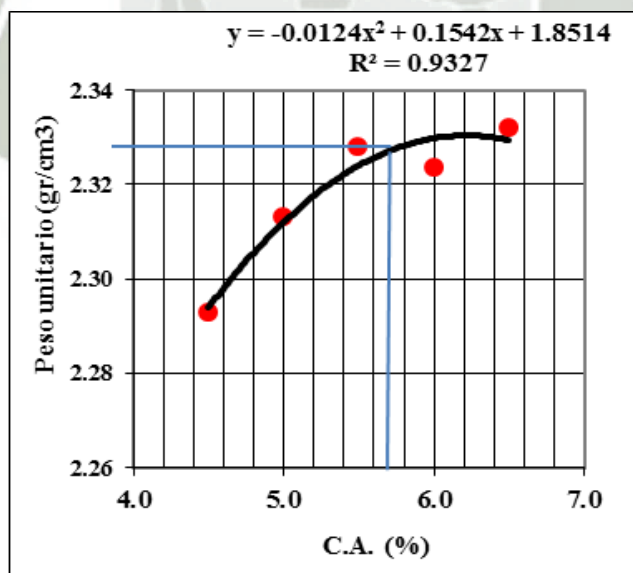


Figura 42: Peso unitario vs Contenido de Asfalto.

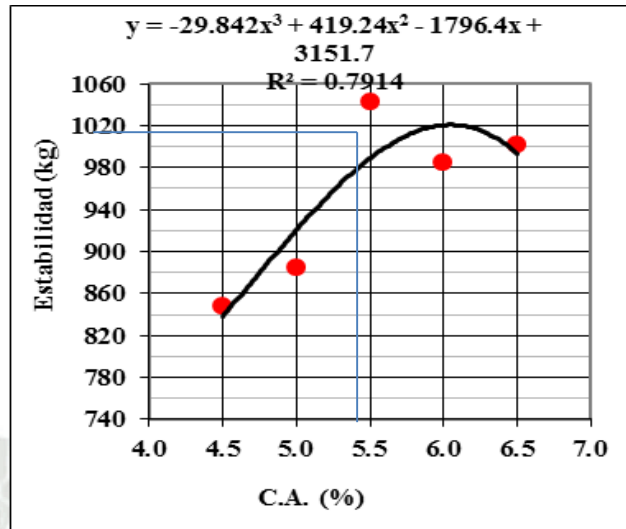


Figura 28: Estabilidad vs Contenido de Asfalto.

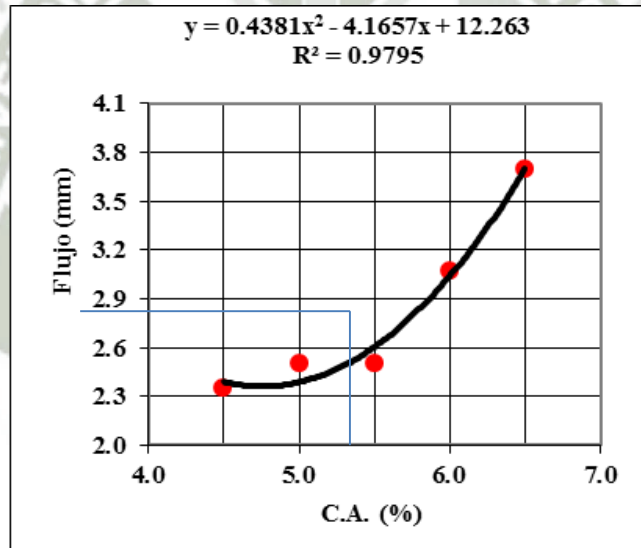


Figura 29: Flujo vs Contenido de Asfalto

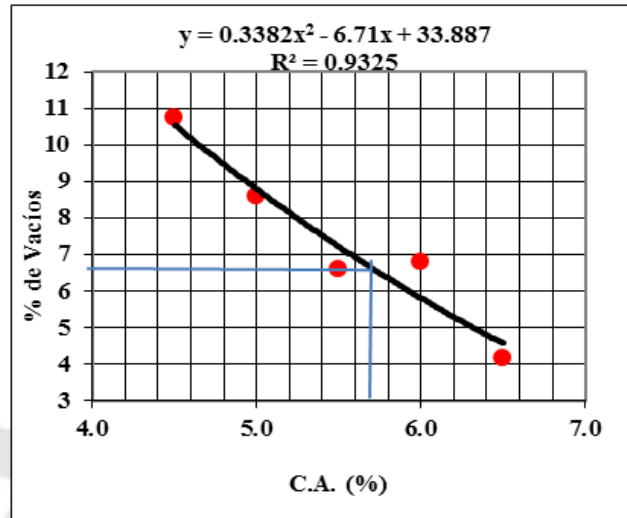


Figura 30: Porcentaje de vacíos vs Contenido de Asfalto

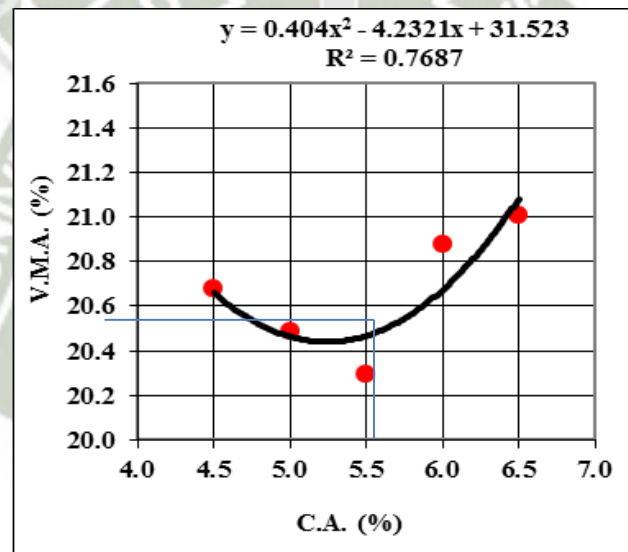


Figura 31: VMA vs Contenido de Asfalto

Nª GOLPES	75
% DE CEMENTO ASFALTICO	5.72
PESO ESPECÌFICO (gf/cm3)	2.33
ESTABILIDAD (kg)	1018.8
FLUJO (mm)	2.8
VACIOS (%)	6.6
VMA (%)	20.58
ESTABILIDAD / FLUJO (kg/cm)	361
TEMP. DE LA MEZCLA	140°C

Tabla 37: Contenido Optimo de asfalto

3.5. Diseño de asfalto Espumado

Para diseñar con asfalto espumado, se pasó por una serie de etapas desde los ensayo previos de diseño de asfalto en caliente, el propio diseño de asfalto en caliente convencional y la obtención del contenido óptimo de asfalto; con el fin de, tener una base para el diseño del asfalto espumado. Cabe resaltar que para poder diseñar en asfalto espumado, se tuvieron en cuenta los siguientes puntos:

- Se trabajó con los mismos agregados (fino y grueso) de la cantera del Km 19.
- El filler que se utilizó es el mismo que se adiciona para el asfalto en caliente.
- Para el asfalto se trabajó con el contenido óptimo de asfalto, que resultado del diseño de asfalto en caliente.
- En base al contenido óptimo de asfalto, los materiales se dosificaron, de acuerdo al resultado de este, como se aprecia en la tabla 3.5.
- Se realizó el mismo procedimiento de diseño, de asfalto en caliente convencional, la única diferencia es la adición del contenido de agua, además de la temperatura de trabajo 132°C.
- Para las probetas de asfalto espumado se realizó el ensayo Marshall.

El procedimiento básico para el diseño de mezclas con asfalto espumado se resume en los siguientes pasos:

- Diseño de asfalto espumado, obtenido en laboratorio.
- Caracterización de las propiedades mecánicas de la mezcla.
- Determinación del contenido Óptimo del porcentaje de agua.

material	Peso (gf.)	Porcentaje (%)
Arena	563.8	47.0
Grava	543.1	45.3
Filler	24.5	2.0
Pen	68.6	5.7
total:	1200	100.0

Tabla 38: Dosificación de materiales para asfalto espumado

3.5.1. Asfalto espumado al 1.0%

Para obtener el porcentaje de agua, se le saca un porcentaje a la mezcla asfáltica (agr. Fino, agr. Grueso, filler y pen), de acuerdo sea el caso.

Para cada porcentaje de agua, se elaboran tres probetas de asfalto espumado, y si los porcentajes son (1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0%), entonces se tendrán 15 probetas.

Asfalto Espumado		% de Agua
materiales	Pesos (gf.)	1.00%
Agr. Fino	563.8	
Agr. Grueso	543.1	
Filler	24.5	
Pen	68.6	
Total:	1200.0	
Agua	12.00	0.01

Tabla 39: Contenido de agua 1.0%.

3.5.2. Asfalto espumado al 1.5%

Asfalto Espumado		% de Agua
materiales	Pesos (gf.)	1.50%
Agr. Fino	563.8	
Agr. Grueso	543.1	
Filler	24.5	
Pen	68.6	
Total:	1200	
Agua	18.0	0.015

Tabla 40: Contenido de agua 1.5%

3.5.3. Asfalto espumado al 2.0%

Asfalto Espumado		% de Agua
materiales	Pesos (gf.)	2.00%
Agr. Fino	563.8	
Agr. Grueso	543.1	
Filler	24.5	
Pen	68.6	
Total:	1200.0	
Agua	24.0	0.02

Tabla 41: Contenido de agua 2.0%.

3.5.4. Asfalto espumado al 2.5%

Asfalto Espumado		% de Agua
materiales	Pesos (gf.)	2.50%
Agr. Fino	563.8	
Ag. Grueso	543.1	
Filler	24.5	
Pen	68.6	
Total:	1200.0	
Agua	30.0	0.025

Tabla 42: Contenido de agua 2.5%.

3.5.5. Asfalto espumado al 3.0%

Asfalto Espumado		% de Agua
materiales	Pesos (gf.)	3.00%
Agr. Fino	563.8	
Ag. Grueso	543.1	
Filler	24.5	
Pen	68.6	
Total:	1200.0	
Agua	36.0	0.03

Tabla 43: Contenido de agua 3.0%.

3.5.6. Ensayo Marshall para el Asfalto Espumado (método AASHTO T-245 y ASTM D-1559).

Para el ensayo Marshall, se realizó los mismos pasos que para ensayo de asfalto en caliente convencional.

- a) Objetivo: El principal objetivo de diseño por este método es demostrar si el asfalto espumado cumple con los requerimientos de acuerdo a la norma en cuanto a diseño y exigencia del servicio además de determinar proporción adecuada de agua en el diseño.

La trabajabilidad, propiedad presente en todos los pavimentos, que permite una eficiente colocación en el terreno donde se esparcirá, evitando la segregación de la mezcla.

- b) Equipos:

- Recipientes
- Horno
- Moldes de acero, para las probetas de diámetro de 4" y de altura 3"
- Termómetro
- Cocina
- Espátulas
- Jeringas
- Cuchara
- Martillo mecánico de 10lb. De peso
- Desmoldador

- Máquina de baño María.
- Maquina Marshall.

c) Procedimiento:

Diseño de mezclas:

- Previamente a la elaboración de las probetas, y habiendo obtenido los ensayos previos, habiendo obtenido el contenido óptimo de asfalto. Se elaboran probetas normalizadas, cada una con un porcentaje de agua diferente (3 muestras por cada porcentaje de agua); en total 15 probetas.
- Al igual que el diseño de asfalto en caliente convencional, se tienen los pesos de los agregados fino y grueso, el filler, contenido de Pen el peso del agua, obtenido del porcentaje total de la muestra. para nuestro caso se diseñó con una temperatura de 132°C para el proceso de mezclado y compactación de las probetas.



Figura 32: Agregado fino dosificado.
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 33: Agregado fino dosificado.

FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Se dosifican los agregados, además del filler, se pesan y se colocan en recipientes; luego se les lleva al horno junto con los moldes de acero, durante unos 10 minutos.
- Se extraen los agregados del horno, y se colocan en un recipiente más grande junto con el filler; el recipiente debe estar precalentado en la cocina, para lograr llegar a la temperatura de 132°C, siempre controlando con el termómetro; el Pen se debe calentar a la misma temperatura que los agregados.
- Con la jeringa, se dosifica la cantidad de agua requerida, dependiendo de su porcentaje de agua.
- Cuando los agregados están próximos a la temperatura de mezclado, y el asfalto también, se procede a verter la cantidad requerida de asfalto; cubriendo todo el agregado, siempre manteniendo la temperatura de mezclado.
- Luego que se tiene la mezcla lista, se tapa el recipiente, y con la jeringa en la abertura de la tapa, se inyecta el agua a la mezcla.



Figura 34: Proceso de inyección de agua en el recipiente

FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- En este momento es cuando se producen las espumas en la mezcla, a nivel micro, las partículas se adhieren entre sí, el agua les da esa propiedad, además de lubricarlas (esta ventaja se aprovecha para la trabajabilidad de la muestra).

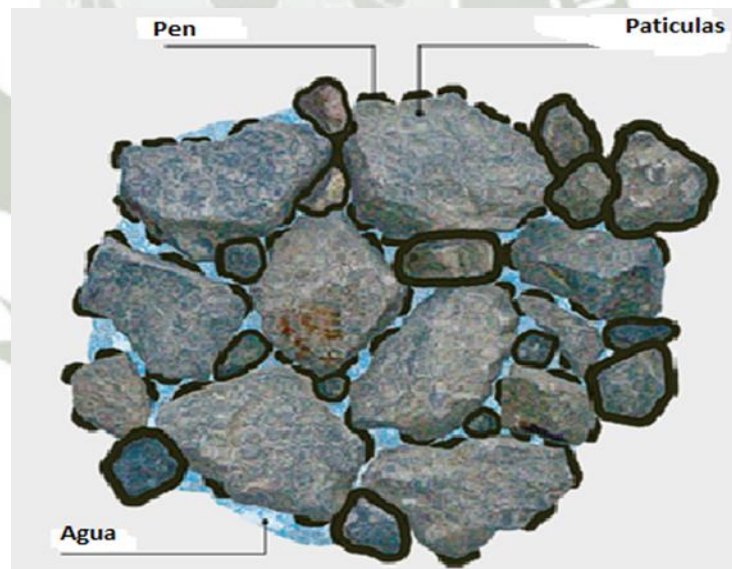


Figura 50: Comportamiento a nivel micro de los componentes del asfalto espumado

FUENTE: Elaboración propia

- Inmediatamente después de inyectar el agua a la mezcla, se sacude recipiente, en este caso la olla, durante un intervalo de tiempo.
- Se retira la tapa del recipiente con mucho cuidado, porque está caliente, además del vapor que se genera.
- Continuando con el proceso de mezclado, con una espátula se revuelve la mezcla, hasta que todos los agregados se tiñan de negro por completo, cabe destacar que para este tipo de asfalto el tiempo que se revuelve la mezcla toma más tiempo, hasta conseguir que la mezcla se tiña de color negro.



Figura 51: Materiales en proceso de mezclado
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF



Figura 52: Mezcla de asfalto espumado
FUENTE: Elaboración propia, laboratorio RCF

- Se procede a colocar la mezcla en el molde ayudándonos de la cuchara, evitando perder mezcla. Una vez que se ha vertido al molde; se lleva la mezcla para compactarla con el martillo mecánico.
- Se coloca el molde en la máquina, se ajusta para que no se mueva, y así evitar una mala compactación de la mezcla. Una vez listo se programa el martillo, 75 golpes por lado.
- Se retira el molde de la máquina, y se lleva a un lugar donde los reposa durante 24 horas. Pasado el tiempo de reposo, se desmolda la muestra, con el desmoldador mecánico.
- Finalmente, se pesa la probeta, y se toma medidas diámetros y alturas.

Preparación de las probetas para el ensayo de estabilidad y fluencia

- Se repite el proceso de parafinado, para luego cubrir la probeta completamente.
- La probeta cubierta en parafina se deja secar, finalmente se obtiene su peso.

- Las probetas sumergidas en agua, se pesan para obtener el peso sumergido.
- la máquina de baño María, deberá estar a una de temperatura de 60°C.
- Una vez que la maquina se encuentra a la temperatura mencionada, se colocan las probetas durante 30 minutos.

Ensayo de Estabilidad y flujo probetas de asfalto espumado:

- Se extraen las probetas del baño María, se les seca, y una por una se les ubica y se les centra en la mordaza inferior, luego se coloca la mordaza superior, centrando en el aparato de carga.
- A continuación, se aplica la carga de prueba a una velocidad constante de 2" por minuto, hasta que la probeta falle.
- Al momento de que falla se debe detener el dial de flujo, para obtener el resultado; y para la estabilidad se observa la pantalla que presenta la máquina.
- Al igual que en asfalto en caliente convencional, después de realizar el ensayo Marshall se tienen los siguientes datos: toma de diámetros, alturas, peso de la probeta, peso de probeta + parafina, peso probeta + parafina sumergida, estabilidad y flujo. Como se aprecia en el cuadro.

	Peso(gf)	Peso + paraf.(gf)	Peso sumerg. + paraf(gf)
		1186	1197.6
M - 1	Diámetros(cm)	Alturas (cm)	Estabilidad(kg)
1	9.88	5.90	1125
2	9.90	5.90	
3	9.90	6.15	Flujo(mm)
4	9.90	6.15	4.0
Prom:	9.90	6.03	

Tabla 49: Datos para expresar los cálculos del ensayo Marshall del asfalto espumado.

3.5.6.1. Ensayo de Pesos unitarios

3.5.6.2. Ensayo Porcentaje de vacíos

3.5.6.3. Prueba de Flujo

3.5.6.4. Ensayo de Estabilidad

3.5.6.5. Ensayo Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

3.5.6.6. Ensayo Porcentaje lleno con contenido Asfalto (V.F.A.)

Nota: Para los ensayos anteriores, se repitió el mismo procedimiento que para el diseño de asfalto en caliente convencional, toma de datos, formulas, numero de muestras por norma (15 probetas por cada porcentaje), etc. Que a continuación presentaremos en un cuadro resumen.⁸

DATOS	1.00%	1.50%	2.00%	2.50%	3.00%
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.37	2.38	2.4	2.43	2.43
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	5.35	5.23	4.49	3.25	3.26
Estabilidad corregida (Kg)	966.00	984.26	1071.25	1091.04	1185
Flujo (mm)	3.53	3.45	3.25	3.9	3.3
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	18.34	18.38	17.76	18.18	19.4
% de Vacíos llenados por C.A.	68.73	71.58	74.75	76.15	80.97

Tabla 44: Tabla resumen de los ensayos Marshall para asfalto espumado.

3.6. Conclusiones de Diseño

A continuación se presentaran las conclusiones de los ensayos previos, del diseño de asfalto en caliente convencional y del diseño de asfalto espumado:

8. Ver Anexo 2 y 3, sección 3.1 y 3.2.

a) Ensayos Previos:

- Todos los ensayos previos que se hicieron nos sirven para determinar la naturaleza del agregado de la cantera “KM 19 –MTC”, y conocer sus propiedades. Tanto la resistencia a la abrasión, resistencia frente a agentes químicos, su cantidad de finos, presencia de materiales orgánicos, plasticidad, etc. De acuerdo a los datos mencionados poder realizar un diseño asfáltico.

b) Diseño del asfalto en caliente convencional

- La temperatura ideal para calentar el Pen debe ser de 140°C, ya que si nos pasamos unos grados más, el Pen empieza a burbujear debido al calor y comienza a evaporarse; si se trabajara con esta mezcla, esta se volvería difícil de compacta y presentaría poca cohesión.
- Si trabajáramos con menor temperatura que los 140°C, sería muy difícil compactarla, se volvería demasiado rígida la mezcla.
- El diseño de mezclas debe ser dosificado de tal manera que las proporciones del material no excedan, ya que si la mezcla presenta exceso de material N° 200 esta presentara segregaciones; si presenta demasiado agregado grueso, la mezcla se vuelve seca y difícil de compactar; si presenta demasiada arena, la mezcla se vuelve muy trabajable, se presentarían problemas en la estabilidad.
- La presencia del filler en la mezcla asfáltica brinda durabilidad, rigidez e impermeabilidad en esta.
- El porcentaje de cemento asfáltico es de 5.72%, y en base a este resultado, es que se tiene la muestra patrón; la cual no servirá para diseñar el asfalto espumado.
- La estabilidad de la muestra patrón es de 1018.80kg.
- El flujo de la muestra patrón es de 2.8 mm.
- Nuestro porcentaje de vacíos de la muestra patrón es de 6.5% esto nos da entender que a mayor contenido de asfalto, menor porcentaje de vacíos presentarían las probetas.
- El resultado del ensayo VMA es de 20.58%.
- El resultado del ensayo VFA es de 63.50%

c) Diseño del asfalto espumado

- Para el asfalto espumado la temperatura ideal para calentar el Pen debe ser de 132°C, ya que si nos pasamos y calentamos a mayor temperatura de la mencionada, al inyectarle el agua probablemente no obtengamos, los resultados esperados.
- Para el proceso de mezclado de los materiales para obtener el asfalto espumado, se empleó la dosificación de la muestra patrón.
- Nuestro porcentaje óptimo de agua es de 2.30%
- La estabilidad de la muestra patrón es de 1081.15kg.
- El flujo de la muestra patrón es de 3.59mm.
- Nuestro porcentaje de vacíos es de 3.80%
- El resultado del ensayo VMA es de 17.95%.
- El resultado del ensayo VFA es de 75.50%.
- Comparando los resultados anteriores con los del asfalto en caliente convencional; concluimos que los ensayos han mejorado, por la adición de agua en la mezcla, en algunos casos como el flujo y la estabilidad han mejorado, el porcentaje de vacíos se incrementó.

Datos	ASFALTOS	
	Caliente	Espumado
temperatura(°C)	140	132
% de cemento asfáltico	5.72	5.72
% óptimo de agua		2.30
Estabilidad (Kg)	1018.80	1081.15
Flujo (mm)	2.80	3.59
% vacíos	6.50	3.80

Tabla 45: Tabla comparativa entre los asfaltos

3.6.1. Diferencias entre diseño de mezcla asfáltica en caliente y mezcla de asfalto espumado.

A continuación presentaremos las diferencias encontradas durante el diseño de los dos tipos de asfalto, en caliente convencional y el espumado:

- Cuanto al diseño; en la parte de la dosificación, para el asfalto en caliente convencional se realizó el diseño en base a los ensayo previos. Mientras que para el asfalto espumado se diseñó con la muestra patrón del asfalto en caliente.
- Durante el procedimiento en el laboratorio; para el asfalto en caliente se trabajó a una temperatura de 140°C en cambio para el asfalto espumado una temperatura de 132°C.
- En el proceso de mezclado se aprecia la diferencia en el asfalto en caliente convencional con el asfalto espumado, la inyección de agua.
- Otra diferencia en el proceso de mezclado, es que cuando se mezcla los agregados, filler y el Pen, en el asfalto caliente su batido demora unos cuantos minutos. En el proceso de mezclado del asfalto espumado el batido de la mezcla si toma su tiempo aproximadamente más de 5 minutos.
- La mezcla de asfalto espumado, aguanta el cambio de clima más tiempo que el asfalto en caliente convencional, esto ya es una ventaja, ya que si se quiere producir para llevarlo a una distancia fuera de la ciudad, tranquilamente la mezcla llega lista para ser trabajada, no a su vez el asfalto en caliente, que disminuye su temperatura y es difícil trabajarlo ya que se endurece.
- Una última diferencia durante el proceso de mezclado en el asfalto espumado, el color del asfalto es un poco más claro.

CAPITULO IV: COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION DE ASFALTOS CALIENTE Y ESPUMADO PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

CAPITULO IV: COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION DE ASFALTOS CALIENTE Y ESPUMADO PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

4.1. Generalidades

Para el siguiente capítulo se elaboraron dos presupuesto para ver cuál de los dos asfaltos genera mayor economía en su producción, teniendo en cuenta: la mano de obra, maquinaria pesada, planta de asfalto, fletes y materiales; los cuales entran en una obra de pavimentos. Tomando en cuenta los siguientes ítems para realizar cada presupuesto:

- Se elaboró un análisis de costos unitarios de partidas de una obra de asfaltado (solo carpeta asfáltica).
- El costo directo: es la suma de costo de materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria, y otros elementos necesarios que se requieren para una obra de este tipo.
- Los gastos generales (costo indirecto): son los costos derivados de la actividad empresarial (los cuales no son incluidos dentro de las partidas de la obra); comprenden: movilidad, oficina técnica y administrativa, etc.
- El costo Total: resulta de la suma del costo directo, gastos generales y el impuesto general de ventas (IGV 18%).

4.2. Mezcla asfáltica en caliente

Para el siguiente presupuesto se asumió que tenemos un proyecto en la ciudad de Arequipa, y el proyecto consiste en asfaltar 1000m²; a continuación se presentara los costos (costos unitarios y presupuesto) para la mezcla asfáltica en caliente convencional.

Solo se tomara en cuenta el proceso de producción del asfalto, y así saber cuánto cuesta producir asfalto en una planta.

PRESUPUESTO

Presupuesto:

102001 **PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS UTILIZANDO EL METODO DEL ASFALTO ESPUMADO**

Subpresupuesto:

1 Pavimentos

cliente:

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

costo al : 26/04/17

lugar:

AREQUIPA - AREQUIPA

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
1	PAVIMENTOS				
1.2	Producción de mezcla asfáltica en caliente	M3	1000.00	554.76	554760.00

Costo directo	554760.00
Gastos generales (10%)	55476
Utilidad (10%)	55476
Subtotal	665712.00
Impuesto (IGV 18%)	119828.16
Total presupuesto	785540.16

son: Setecientos ochenta y cinco mil quinientos cuarenta y 16/100 nuevos soles

1961

4.2.1. Análisis de costos unitarios de producción de asfalto en caliente

1. Produccion de mezcla asfaltica en caliente							S/.	554.76
1.1. Partida: Piedra para mezcla asfaltica							Rendimiento: m3/dia	
<i>Descripcion Insumo</i>		<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
carguio de agregados		m3		1.000	1.69	1.69		
Transporte de agregados a planta(DM 0.50km)		m3		1.000	5.20	5.2		
extraccion y apilamiento de agregados en cantera		m3		1.000	3.92	3.92		
zarandeo de agregados en cantera		m3		1.000	6.13	6.13		
chancado de agregado grueso		m3		1.000	32.66	32.66		
							49.60	
1.2. Partida: Arena para mezcla asfaltica							Rendimiento: m3/dia	
<i>Descripcion Insumo</i>		<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
carguio de agregados		m3		1.000	1.69	1.69		
Transporte de agregados a planta(DM 0.50km)		m3		1.000	5.2	5.2		
extraccion y apilamiento de agregados en cantera		m3		1.000	3.92	3.92		
zarandeo de agregados en cantera		m3		1.000	6.13	6.13		
							16.94	

1.3. Mezcla asfáltica en caliente E= 5cm					Rendimiento:m3/día		MO: 150.0
							EQ: 150.0
<i>Descripción Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
Mano de Obra							
Capataz	HH	1.000	0.0533	22.11	1.18		
Operario	HH	2.000	0.1067	20.10	2.14		
Oficial	HH	1.000	0.0533	16.51	0.88		
Peon	HH	2.000	0.1067	14.85	1.58		
							5.79
Materiales							
Arena gruesa(para mezcla asfáltica)	m3		0.5500	16.94	9.32		
Piedra chancada 3/4" - 1/2"(para mezcla asfáltica)	m3		0.8000	49.60	39.68		
PEN 85-100	Gln		32.0000	7.20	230.40		
Filler	Kg		31.5000	1.80	56.70		
Petroleo	Gln		8.0000	10.59	84.72		
							420.82
Equipo							
Herramientas manuales	%MO		0.0500	9.77	0.49		
Planta de Asfalto en caliente 60 -115Tn/h	HM	1.000	0.0533	560.00	29.87		
Cargador frontal 125 - 155HP 3yd3	HM	1.000	0.0533	160.00	8.53		
Grupo Electrogenero 250 HP 450KW	HM	1.000	0.0533	160.00	8.53		
							47.42
							474.03
1.4. Partida: Transporte de Cemento asfáltico (DM = 22.3Km)					Rendimiento: m3/día		
<i>Descripción Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
Transporte (DM = 22.3Km)	m3		1.000	14.19	14.19		
							14.19

4.3. Mezcla de asfalto espumado

A continuación se presenta el presupuesto para la mezcla del asfalto espumado. Al igual que la mezcla en caliente pondremos como ejemplo el proyecto de los 1000m², para la ciudad de Arequipa.

PRESUPUESTO

Presupuesto: 102002 **PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS UTILIZANDO EL METODO DEL ASFALTO ESPUMADO**

Subpresupuesto: 2 Pavimentos

cliente: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA costo al : 26/04/17

lugar: AREQUIPA - AREQUIPA

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
2	PAVIMENTOS				
2.1	Producción de asfalto espumado	M3	1000.00	468.31	468310.00
	Costo directo				468310.00
	Gastos generales (10%)				46831
	Utilidad (10%)				46831
	Subtotal				561972.00
	Impuesto (IGV 18%)				101154.96
	Total presupuesto				663126.96

son: Seiscientos sesenta y tres mil ciento veintiséis y 96/100 nuevos soles

4.3.1. Análisis de costos unitarios de producción de asfalto espumado

2. Produccion de asfalto espumado						S/.	468.31
2.1. Partida: Piedra para mezcla de Asfalto Espumado						Rendimiento: m3/dia	
<i>Descripcion Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
carguio de agregados	m3		1.000	1.69	1.69		
Transporte de agregados a planta(DM 0.50km)	m3		1.000	5.20	5.2		
extraccion y apilamiento de agregados en cantera	m3		1.000	3.92	3.92		
zarandeo de agregados en cantera	m3		1.000	6.13	6.13		
chancado de agregado grueso	m3		1.000	32.66	32.66		
							49.60
2.2. Partida: Arena para mezcla de asfalto Espumado						Rendimiento: m3/dia	
<i>Descripcion Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
carguio de agregados	m3		1.000	1.69	1.69		
Transporte de agregados a planta(DM 0.50km)	m3		1.000	5.20	5.2		
extraccion y apilamiento de agregados en cantera	m3		1.000	3.92	3.92		
zarandeo de agregados en cantera	m3		1.000	6.13	6.13		
							16.94
2.3. Mezcla asfaltica en caliente E= 5cm						Rendimiento:m3/dia	MO: 150.0 EQ: 150.0
<i>Descripcion Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>		
Mano de Obra							
Capataz	HH	1.000	0.0533	22.11	1.18		
Operario	HH	2.000	0.1067	20.10	2.14		
Oficial	HH	1.000	0.0533	16.51	0.88		
Peon	HH	2.000	0.1067	14.85	1.58		
							5.79
Materiales							
Arena gruesa(para mezcla asfaltica)	m3		0.5500	16.94	9.32		
Piedra chancada 3/4" - 1/2"(para mezcla asfaltica)	m3		0.8000	49.60	39.68		
PEN 85-100	Gln		32.0000	7.20	230.40		
Filler	Kg		31.5000	1.80	56.70		
Petroleo (30% ahorro de combustible)	Gln	0.300	8.0000	10.59	25.42		
							361.51
Equipo							
Herramientas manuales	%MO		0.0500	9.77	0.4885		
Planta de Asfalto en caliente 60 -115Tn/h (9.11%)	HM	1.000	0.0533	560.00	2.72		
Cargador frontal 125 - 155HP 3yd3	HM	1.000	0.0533	160.00	8.53		
Grupo Electrogenero 250 HP 150KW	HM	1.000	0.0533	160.00	8.53		
							20.28
							387.58

2.4. Partida: Transporte de la mezcla (DM = 22.3Km)						Rendimiento: m3/día	
Descripcion Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial		
Transporte (DM = 22.3Km)	m3		1.000	14.19	14.19		
						14.19	

4.3.2. Consumo y ahorro de combustible del asfalto espumado.

A continuación se tiene un cálculo del consumo de una producción de asfalto espumado, en una planta de asfalto.

Se demostrara que al producir con menor temperatura, se consume y a su vez se ahorra combustible.

Se tiene en cuenta los datos reales.

Datos	valores
Precio (\$/.) galón	13
precio (\$) galón	3.99
Equivalencia de gl a litro	3.79
Precio por litro	1.05
Litros/tonelada	6

Asfalto en caliente (150°C)	
Costo de combustible por tonelada (\$)	6.31

Tabla 46: Para el asfalto en caliente costo de combustible por tonelada
FUENTE: Bomag Marini

Asfalto espumado (132°C)	
Ahorro de combustible	30%
Costo de combustible por tonelada (\$)	1.89

Tabla 47: Para el asfalto espumado costo de combustible por tonelada
FUENTE: Bomag Marini

<i>Economía de combustible por tonelada</i>	1.89
<i>Producción/ año (toneladas)</i>	118,800
<i>Economía del combustible anual (\$):</i>	224,532

Tabla 48: Economía de combustible anual produciendo asfalto espumado.
FUENTE: Bomag Marini

4.3.3. Ganancia en la producción por año

Con los datos que nos brinda el productor de plantas de asfalto se presenta la siguiente tabla donde se muestra la ganancia de producción anual con el asfalto espumado en toneladas.

Datos	Asfalto en caliente	Asfalto Espumado
Temperatura (°C)	150	132
Capacidad nominal (Ton/h)	140	140
Humedad (%)	3	3
Altitud(m)	500	500
Granulometría (% pasante #8)	40	40
Producción efectiva (ton/h)	119.70	130.50

Tabla 49: Comparación entre producción efectiva Asfalto caliente vs asfalto espumado
FUENTE: Bomag Marini

Ganancia de producción por hora	11
Horas/día	10
Días/mes	22
Mes/Año	12
<i>Ganancia de producción por año (Ton)</i>	28512

Tabla 50: Calculo de la ganancia en la producción por año con asfalto espumado.
FUENTE: Bomag Marini

4.4. Conclusiones

- El presupuesto de producción de asfalto en caliente, es de S/. 785,540.16.
- El presupuesto de producción de asfalto espumado, es de S/. 663,126.96
- La diferencia entre los dos presupuestos es de S/. 122,413.20; esto es debido, a que al producir asfalto espumado en una planta, se ahorra combustible, y entonces, energía; debido a que se produce a menor temperatura. Esto implica un ahorro para la empresa.
- Al ahorrar combustible con la producción de asfalto espumado se tiene, que al año una planta ahorrara S/. 524,991.50 en combustible.
- En lo que respecta a la ganancia de producción, produciendo asfalto espumado es de 28512 toneladas anuales de asfalto.



CAPITULO V: EL ASFALTO ESPUMADO Y EL MEDIO AMBIENTE

CAPITULO V: EL ASFALTO ESPUMADO Y EL MEDIO AMBIENTE

5.1. Generalidades

La construcción de obras de infraestructura de transporte, en este caso las vías y las carreteras, ocupan áreas importantes de territorio, esto genera y afecta al medio ambiente de muchas maneras, durante:

- Inicio del proyecto
- Movimiento de tierras
- Producción de asfalto
- Construcción.

Pero centrémonos en la parte que más nos compete, la etapa de producción, más precisamente en la producción, de las plantas de asfalto.

Se estima que una planta con capacidad para producir 130 toneladas de asfalto, por hora produce al menos 312 mil toneladas de asfalto al año, solo si se trabajara 200 de los 365 días. Cálculos hechos en los Estados Unidos, para nuestro país, podrían ser datos aproximados pero no menos despreciables; estos datos nos dan a entender que una planta de asfalto de esa capacidad de producción emitirá 76.300 kilogramos de contaminantes gaseosos por año, además de la contaminación del suelo.

Asimismo, pueden generar, gases y vapores conteniendo sustancias letalmente tóxicas, por ejemplo: el sulfuro de hidrogeno y el anhídrido carbónico, además del polvo de los agregados al manipularlos.

En la producción durante el proceso de combustión, es en ese momento ocurre la formación de SO_2 y es debido por el azufre en el combustible. Hablamos de combustión, es una cuestión importante, ya que a partir de esta reacción química nacen muchos de los problemas asociados con los humos y las emisiones.

5.2. Principales problemas ambientales al producir asfaltos

No solo las emisiones de gases tóxicos se generan en la producción de asfaltos, otro problema ambiental es la contaminación sonora que es producto del ruido de las máquinas y de la planta de asfalto.



Figura 53: Planta de asfalto produciendo, emanando gases
FUENTE: <http://lahora.com.ec/index.php/noticia>

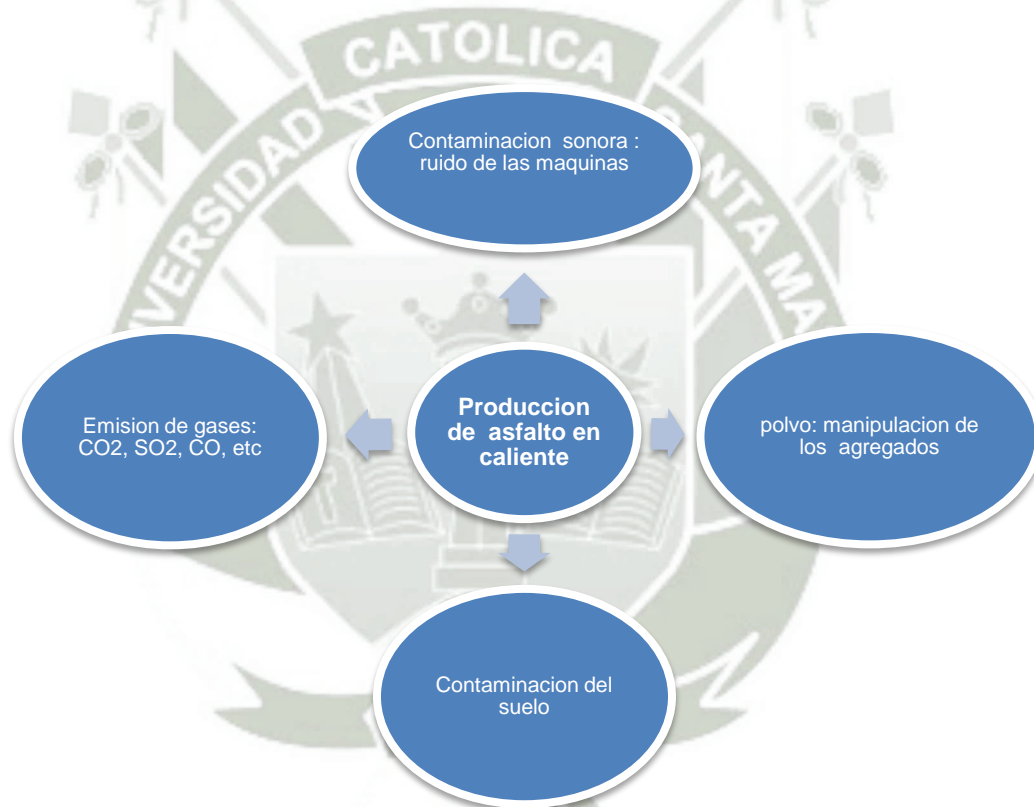


Figura 35: Principales problemas ambientales al producir asfalto caliente
FUENTE: Elaboración propia

¿Qué sucede cuando la misma planta de asfalto, produce asfalto espumado?

La respuesta es simple; a continuación se mencionara lo que sucede:

- En lo que respecta a la manipulación de los agregados, será la misma situación, se genera polvo.; pero se puede lograr una reducción de este entre 25% a 55% en las partículas de polvo. (Ortega y Paternina, 2012)
- El ruido estará presente también por las maquinas, y la misma planta.
- La diferencia de la producción de asfalto en caliente con el espumado, es que, el asfalto espumado se produce a menor temperatura como se menciona en capítulos anteriores 132°C con una diferencia de 18°C, frente al asfalto en caliente convencional (150°C). Por tanto, esto genera un ahorro de energía importante (ahorro de energía 25Kw/Ton)¹⁰, no solo eso, se consumirá menos combustible (un ahorro de 30% de combustible), y en su efecto es que se emitirá menos gases al medio ambiente.

Esta diferencia es importante ya que con la producción de asfalto espumado ya muestra un beneficio al medio ambiente, frente al asfalto en caliente convencional; menos emisión de gases tóxicos a la capa de ozono.



Figura 36: Consumo de energía, temperatura de los distintos tipos de asfalto

FUENTE: Bomag Marini

⁹ Osvaldo José Ortega Cuan, Luis Alfredo Paternina Medina "Propuesta para la implementación de mezclas asfálticas tibias en la ciudad de Medellín", Universidad de Medellín, 2012

¹⁰ Dato extraído de las diapositivas de Bomag Marini

- Con estas afirmaciones no quiere decir que al producir asfalto espumado no emita gases la planta; si los emitirá pero en menor cantidad que cuando se produce el asfalto en caliente, de los 76.300kg, lo más probable es que genere la mitad al producirlo 38.150kg. Esto ya es un gran avance y una ayuda al medio ambiente.

5.3. Conclusiones.

- La producción de asfalto espumado, presenta la ventaja de generar menor contaminación de aire, por su consumo de energía y de combustible. Esto se aprecia en la emanación de gases, el asfalto espumado emana 38.150kg de gases contaminantes, y el asfalto en caliente convencional emana el doble 76.300kg de gases a la capa de ozono.
- Concluimos que al producir asfalto espumado en una planta, genera ahorro de energía importante, ya que se produce a menor temperatura 132°C, en una planta esto se traduce en ahorro de energía de 25Kw/Ton, esto es un ahorro de 30% de combustible.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- Los agregados fino y grueso, de la cantera “KM 19 – MTC” que han sido estudiados en laboratorio, son los que mejor cumplen los requisitos solicitados en la norma para producción de asfaltos, debido a sus buenos resultados; frente a la resistencia al desgaste (abrasión: 17.07%), frente a los de las Canteras de Chiguata (abrasión: 40.11 %) y Quebrada del Pato (A.S.A.) (abrasión: 36.22%). Además de la resistencia a los agentes químicos (sulfatos), cantidad de fino y presencia de material orgánico.
- Los Agregados de la cantera “KM 19 – MTC” cumplen en lo que respecta al ensayo de absorción (Ag. Fino: 0.42%, Ag. Grueso: 0.86%), de acuerdo a la norma (Ag Fino: 0.50% MAX, Ag. Grueso: 1.0% MAX). En el caso de las canteras de Chiguata (Ag. Fino: 0.85%, Ag. Grueso: 3.03%) y Quebrada del Pato (A.S.A.) (Ag. Fino: 0.22%, Ag. Grueso: 2.96%) no cumplen.
- Concluimos, que este método de asfalto espumado no necesita el uso de cementos asfálticos especiales, ni aditivos; a los que actualmente se producen en las refinerías (Pen 60-70, 85-100, 120-130).
- El Diseño de Mezclas debe ser dosificado de tal manera que las proporciones de los materiales no excedan de lo permitido; ya que si la mezcla presenta exceso de material que pasa la malla N° 200 esta presentara segregaciones, si presenta mucha grava, la mezcla se vuelve seca y difícil de compactar, por el contrario si tiene demasiada arena, la mezcla presentaría problemas en la estabilidad.
- Para la producción de asfalto espumado la temperatura ideal para calentar el Pen y los agregados debe ser de 132°C; ya que si se trabaja a mayor temperatura de la mencionada, al inyectar el agua, probablemente no obtengamos los resultados esperados, y no se produzca la espumación que requiere el método.
- Con respecto al ensayo Marshall, el asfalto espumado presento un incremento en la estabilidad; de 1081.15kg frente a 1018.80kg del

asfalto en caliente convencional. En el flujo de 3.59mm, frente a 2.80mm.

- La mezcla de asfalto espumado tiene mayor trabajabilidad, porque, a nivel micro las partículas se encuentran completamente lubricadas, por la presencia del agua, en la mezcla. Es debido a esta característica, que la mezcla presenta mayor trabajabilidad.
- El presupuesto de producción de asfalto en caliente, es de S/. 785,540.16; mientras que la producción de asfalto espumado, es de S/. 663,126.96. La diferencia entre los dos presupuestos es de S/. 122,413.20; debido al ahorro de combustible. En cuestión de economía es un ahorro sustancial para el proyecto.
- Del análisis y del estudio, se concluye que el asfalto espumado es más económico, porque en la producción misma del asfalto existe un ahorro importante de consumo de energía (25Kw/Ton) porque la mezcla se calienta a 132°C, mientras que el asfalto caliente convencional se calienta a 150°C, esta diferencia presenta un ahorro de 30% de combustible.
- La producción de asfalto espumado, implica menor emanación de gases nocivos al aire (38.150kg), porque este al producirlo se quema menor combustible, ayudando a la capa de ozono; y por tanto, resultando más amigable a la capa de ozono, frente a un asfalto en caliente que producido genera en doble de emanaciones al medio ambiente (76.300kg).
- La producción de asfalto espumado, por las características que hemos estudiado, permite una mayor autonomía en el transporte de mezcla asfáltica. Debido a que el margen de temperatura para la colocación de este tipo de asfalto es mayor y se puede hacer hasta casi los 100°C, sin que la mezcla se endurezca, ni presente segregaciones.
- Concluimos que para este método propuesto no se necesita una mayor especialización del personal técnico y de la mano de obra; puesto que los procesos de trabajo son los mismos a los del asfalto en caliente convencional.

2. Recomendaciones.

- Difundir la tecnología del asfalto espumado, debido a sus bondades (propiedades mecánicas, trabajabilidad, ahorro de energía y combustible, amigable al medio ambiente) frente a otros tipos de asfaltos; para que las empresas inviertan en adquirir el accesorio para su producción.
- Es recomendable que las Plantas de asfalto tengan un estudio de impacto ambiental, para ver qué tan nocivo es la producción de asfalto, ya que son agentes contaminadores, y de qué manera se puede mitigar este problema, una solución es producir asfalto espumado, ya que genera menor impacto ambiental.
- Difundir la utilización de mezclas asfálticas en caliente, asfalto espumado; porque garantiza mayor tiempo de vida, mayor ahorro económico y es amigable al medio ambiente; con respecto al asfalto en frío que, de acuerdo a la normal ya no se debe utilizar, pero lamentablemente es muy difundido en nuestra región, presenta una duración de 3-4 años, en comparación al asfalto en caliente con 15 – 20 años.
- Recomendar el uso de este método, en cualquier zona del país (costa, sierra y selva), ya que como se apreció en la tesis no requiere de mucha especialización en cuestión de mano de obra, materiales son los mismos agregados, pen, y el agua para inyectar. Obteniendo resultados positivos.
- Recomendamos la difusión de este método, a los gobiernos locales, para su uso; ya que al tener instalada una planta de asfalto en Arequipa, el asfalto espumado nos permite mayor autonomía de transporte, esto quiere decir que podemos transportar y colocar, el asfalto espumado en otras localidades.

A large, faint watermark of the Universidad Católica de Santa María logo is centered on the page. It features a shield with a cross, a book, and a lamp, surrounded by the university's name and the year 1961.

BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS

BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS

1. Bibliografía

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de ensayo de materiales.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EG-2013). Manual de Carreteras.
- Joseph E. Bowles (1981). Manual de Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil. Editorial McGraw Hill
- Tecnología del asfalto (*The Asphalt Institute*) (1997). Traducido por la comisión permanente del asfalto de la República de Argentina
- BOMAG MARINI (2015), diapositivas
- BOMAG MARINI (2015). Especificaciones técnicas para plantas de asfalto.
- Msc. Ing. José Rafael Menéndez Acurio (2012)- Ingeniería de Pavimentos materiales, diseño y conservaciones (1ra Edición). Lima: Fondo Editorial ICG.
- Manual Del Asfalto (1962) (*The Asphalt institute, College Park – Maryland*). Editado en español por Productos Asfálticos S.A. (PROAS)
- Gabriela Regina Méndez González, Jonathan Eliseo Moran Gutiérrez, Lidia Carolina Pineda Ramos (2014) “Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando Asfalto Espumado”. San Salvador. Universidad de El Salvador.
- Ricardo Arnoldo Robles Díaz Valdivia (2009) “Guía para diseñar la rehabilitación de una ruta mediante el uso de asfalto espumado, reciclando el pavimento existente”, Valdivia. Universidad Austral de Chile.
- Osvaldo José Ortega Cuan, Luis Alfredo Paternina Medina (2012) “Propuesta para la implementación de mezclas asfálticas tibias en la ciudad de Medellín”, Medellín. Universidad de Medellín, Colombia.
- Edinson Giovanni Torres Velandia, Andrey Johanny Noreña Cifuentes (2012), “Mezclas Tibias: una nueva tecnología para el mejoramiento de las mezclas asfálticas convencionales.” Bogotá Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Norma técnica Peruana NTP 400.012- 2001 Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI - Lima Perú, Agregados: Granulometría del Agregado Fino, Grueso y Global.

- Norma ASTM D 4318 y AASHTO T 90 Determinación del Límite Plástico E Índice de Plasticidad MTC E 111 – 2000.
- Norma ASTM C 128 y AASHTO T 84 Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos MTC E 205- 2000.
- Norma ASTM C 127 y AASHTO T 85 Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos MTC E 206-2000 NTP 400.021.
- Norma ASTM D 2419 y AASHTO T 176 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos MTC E 114- 2000.
- Norma ASTM C 88 y AASHTO T 104 Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio MTC E 209- 2000 NTP 400.016.
- Norma ASTM D 5821 Porcentaje de caras Fracturadas en los Agregados MTC E 210-2000.
- Norma ASTM D 1559 AASHTO T 245 y NLT 159/86 Resistencias de Mezclas Bituminosas empleadas en el aparato Marshall MTC E 504.
- Norma ASTM C 131, AASHTO T 96 y ASTM C 535 Abrasión los Ángeles (L.A.) al Desgate de los Agregados MTC E 207-2000.
- http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/28ThenouxAsfaltoEspumado.pdf.
- <https://es.slideshare.net/MarcoEspinozaBustillos/asfalto-espumado>.
- Smith A.,(2007), Advera WMA Zeolite,

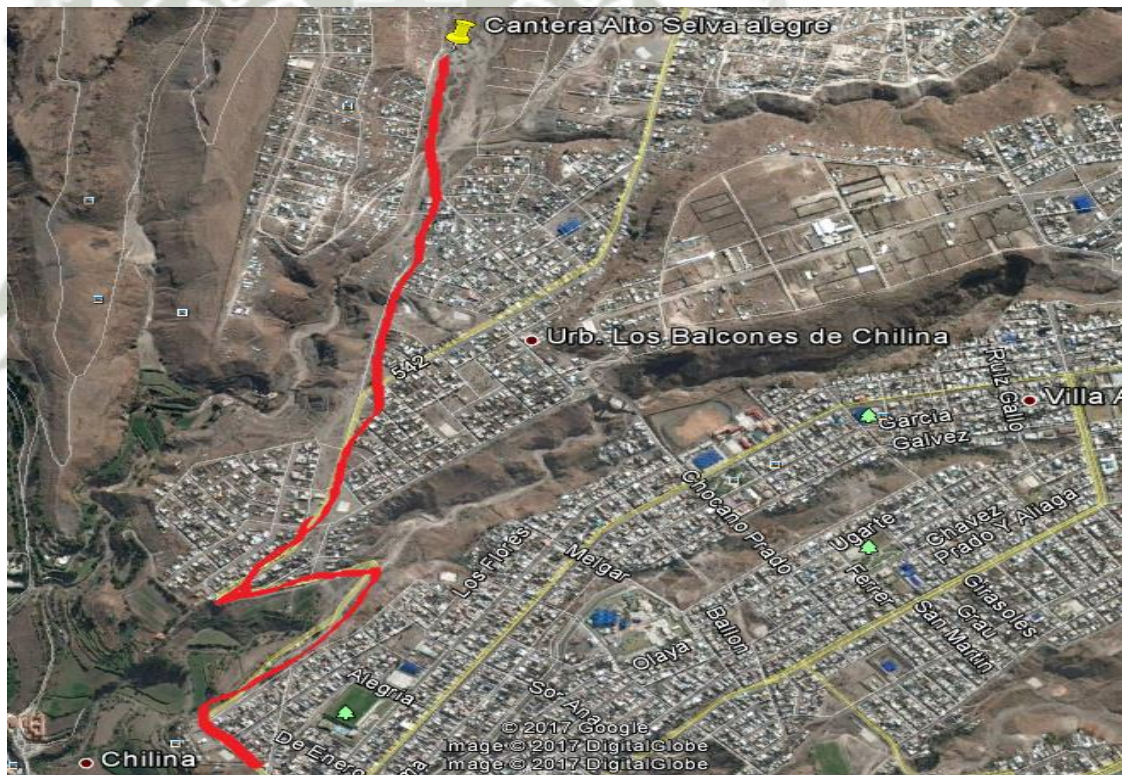


3. Anexos

3.1. Muestreo de Canteras

3.2. Cantera Quebrada del Pato

- Nombre: cantera “Quebrada del Pato”
- Ubicación: Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: Alto Selva Alegre
- Coordenadas: latitud: 16°21'14.44"S
Longitud: 71°31'35.78"O
- Acceso: se toma la vía hacia Chilina hasta llegar al distrito de Alto Selva Alegre, llegando a la urb. Los Balcones de Chilina, por la torrentera que lleva hacia Villa Ecológica.



Ubicación de la cantera “Quebrada del Pato – A.S.A.”, fecha de la captura: 21/08/17

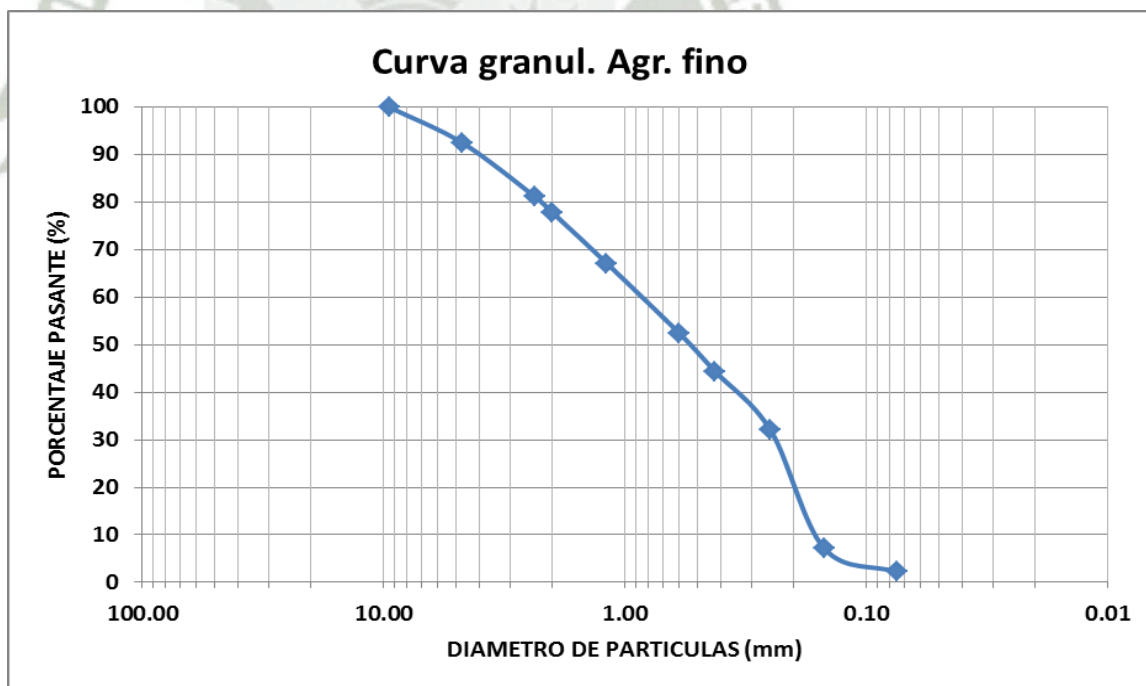
Fuente Google Earth

3.2.1. Ensayos de Agregado Fino

3.2.1.1. Ensayo de Granulometría (NTP 400.012)

tamiz	abertura(mm)	Peso Ret. (gf)	% retenido	% pasante
3/8"	9.50			100
#4	4.75	60.00	7.44	92.56
#8	2.36	92.50	11.46	81.10
#10	2.00	26.60	3.30	77.80
#16	1.19	86.30	10.70	67.11
#30	0.595	119.00	14.75	52.36
#40	0.425	64.10	7.94	44.42
#50	0.250	100.00	12.39	32.02
#100	0.150	200.50	24.85	7.18
#200	0.075	40.10	4.97	2.21
fondo	-	17.80	2.21	0.00
		806.9	100.00	

Tabla 1. Cálculo para granulometría del Agregado Fino



Grafica 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino

3.2.1.2. Ensayo de Absorción (MTC E 206)

Se realizó el ensayo para determinar el porcentaje de absorción que presenta el agregado, a continuación la tabla que muestra el cálculo.

datos	Peso (gf.)
P. inicial muestra (A)	449.6
P. muestra seca (B)	448.6
Absorción del Ag. Fino (%)	0.22

Tabla 2. Calculo para la absorción del ag. Fino

3.2.2. Ensayos de Agregado Grueso

3.2.2.1. Ensayo de Absorción (MTC E 206)

Se realizó el ensayo para determinar el porcentaje de absorción que presenta el agregado, a continuación, se muestra el cálculo.

datos	Peso (gf.)
Peso muestra seca	2997.8
P. sup. Seco	3086.4
Absorción del Ag. Grueso (%)	2.96

Tabla 3. Calculo para la absorción del Ag. Grueso

3.2.2.2. Ensayo de Abrasión Maquina Los Ángeles (MTC E 207)

Se realizó el ensayo para determinar la resistencia al desgaste del agregado grueso de la cantera a estudiar.

Se empleó el mismo procedimiento y materiales, que para el agregado grueso de la cantera Km 19.

A continuación se presentan los cálculos.

Malla		Gradación "B"
		11 esferas
Pasa	Retiene	Peso Retenido (gf.)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Peso total (gf.):		5000
Peso retenido(#12):		3189
% de desgaste:		36.22

Tabla 4. Calculo de la Abrasión del Agr. Grueso

Ensayos	Norma	Agregado Fino Cantera A.S.A.	Altitud(m.s.n.m.) > 3000	Observación
Absorción	MTC E 206	0.22%	0.5% Max	cumple

Ensayos	Norma	Agregado Grueso Cantera A.S.A.	Altitud(m.s.n.m.) > 3000	Observación
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	36.22%	35% Max.	no cumple
Absorción	MTC E 206	2.96%	1.0% Max	no cumple

Tabla 5. Tabla resumen de los ensayos para los agregados de la cantera

3.3. Cantera Chiguata

- Nombre: cantera "Chiguata"
- Ubicación: Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: Chiguata
- Coordenadas: latitud:
Longitud:
- Acceso: se toma la avenida Jesús hasta llegar a los Baños de Jesús, del distrito de Paucarpata, para luego subir y llegar a la intersección de la vía hacia Chiguata; la cantera se ubica a unos escasos kilómetros del pueblo de Chiguata.



Ubicación de la cantera “Chiguata” fecha de la captura: 21/08/17

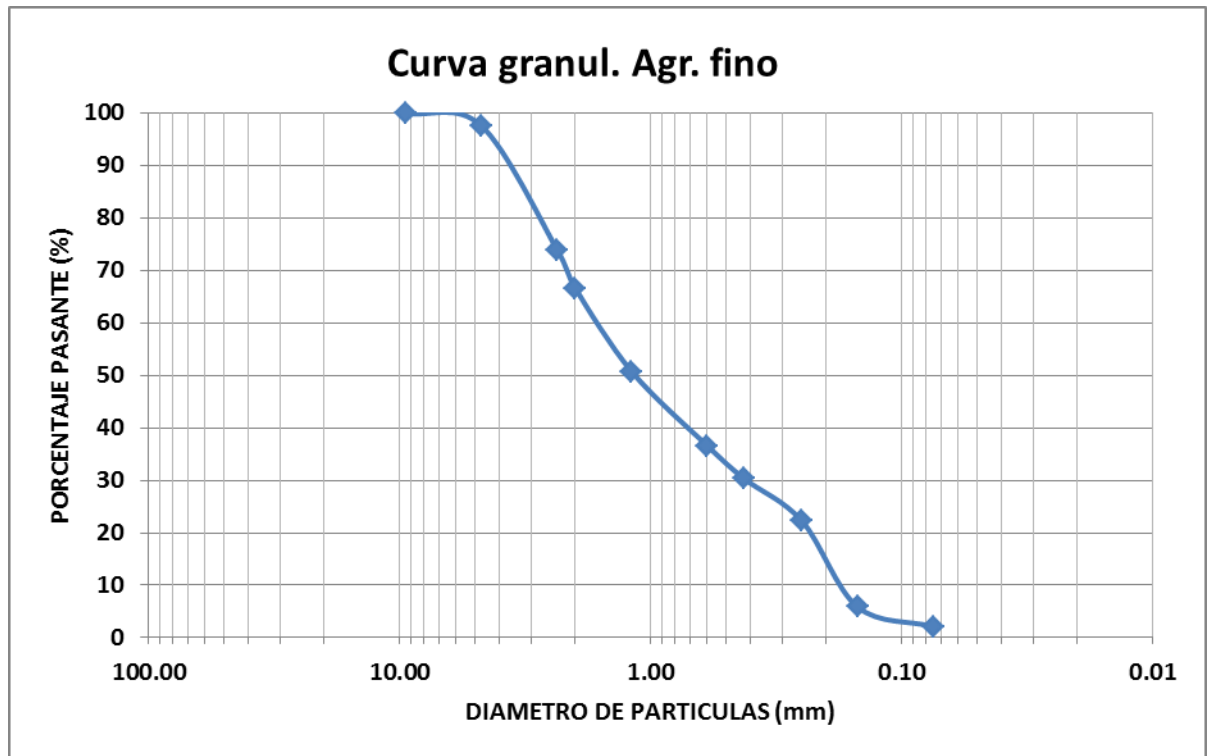
Fuente Google Earth

3.3.1. Ensayos de Agregado Fino

3.3.1.1. Ensayo de Granulometría (NTP 400.012)

tamiz	abertura(mm)	Peso Ret. (gf)	% retenido	% pasante
				100
#4	4.75	18.70	2.32	97.68
#8	2.36	191.60	23.72	73.96
#10	2.00	59.20	7.33	66.63
#16	1.19	128.70	15.94	50.69
#30	0.595	114.00	14.12	36.58
#40	0.425	50.40	6.24	30.34
#50	0.250	65.30	8.09	22.25
#100	0.150	132.40	16.39	5.86
#200	0.075	30.00	3.71	2.14
fondo	-	17.30	2.14	0.00
		807.6	100.00	

Tabla 6. Calculo para granulometría del Agregado Fino



Grafica 2. Curva Granulométrica del Agregado Fino

3.3.1.2. Ensayo de Absorción (MTC E 206)

datos	Peso (gf.)
P. inicial muestra	438.7
P. muestra seca	435.0
Absorción del Ag. Fino (%)	0.85

Tabla 7. Calculo para la absorción del ag. Fino

3.3.2. Ensayos de Agregado Gueso

3.3.2.1. Ensayo de Absorción (MTC E 206)

datos	Peso (gf.)
Peso muestra seca	2991.2
P. en aire de la muestra	3081.8
Absorción del Ag. Gueso (%)	3.03

Tabla 8. Calculo para la absorción del ag. Gueso

3.3.2.2. Ensayo de Abrasión Maquina Los Ángeles (MTC E 207)

Malla		Gradación "B"
		11 esferas
Pasa	Retiene	Peso Retenido (gf.)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Peso total (gf.):		5000
Peso retenido(#12):		2994.4
% de desgaste:		40.11

Tabla 9. Calculo de la Abrasión del Agr. Grueso

Ensayos	Norma	Agregado Grueso Cantera Chiguata	Altitud(m.s.n.m.) > 3000	Observación
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40.11%	35% Max.	no cumple
Absorción	MTC E 206	3.03%	1.0% Max	no cumple

Ensayos	Norma	Agregado Fino Cantera Chiguata	Altitud(m.s.n.m.) > 3000	Observación
Absorción	MTC E 206	0.85%	0.5% Max	no cumple

Tabla 10. Tabla resumen de los ensayos para los agregados de la cantera

Cantera	Ensayos		
	Abrasión (35% Max)	Absorción Ag. Fino (0.5% Max)	Ag. Grueso (1.0% Max)
Chiguata	40.11%	0.85%	3.03%
Km19 - MTC	17.07%	0.42%	0.86%
Quebrada del Pato (A.S.A.)	36.22%	0.22%	2.96%

Tabla 11. Resumen de los resultados de los ensayos para cada cantera

4. Anexo 2

4.1. Mezclas Tibias y la tecnología según su producción

4.1.1. Aditivos Orgánicos (ceras):

Son un tipo de aditivo, que mejoran la trabajabilidad del ligante debido a una combinación del efecto de disminución (viscosidad y lubricación) en la temperatura y la compactación. Se dosifican entre 2% a 4% de cera del total de la masa del ligante. Los más conocidos son:

4.1.1.1. Ceras Fisher: obtenidas por un proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos. En su composición presente cantidades de monóxido de carbono (CO) e Hidrogeno (H).

4.1.1.2. Ceras de Amidas, acidas grasas: son producidas sintéticamente, una amida es un compuesto orgánico (amida + ácido carboxílico).

4.1.1.3. Ceras de Montana: también llamada cera de lignito, es una cera dura obtenida por extracción de disolventes de determinados tipos de lignito.

4.1.2. Aditivos químicos:

Son productos que no dependen de ningún proceso de espumación, para reducir la temperatura de mezclado y compactado. Generalmente incluyen una combinación de modificadores de asfalto (aditivos) que mejoran la envuelta de los agregados. Los principales son dos:

4.1.2.1. Emulsificante: Es una combinación de (surfactantes, polímeros y aditivos) para mejorar el recubrimiento, trabajabilidad y compactación de la mezcla. Su dosificación es de 5% del peso del asfalto. (Labiv, 2012).

4.1.2.2. Tensoactivos: ayudan al buen recubrimiento de los agregados, reducen la tensión superficial entre agregado-bitumen (Torres y Noreña (2012)).

4.1.3. Procesos de espumación.

Este tipo de mezcla asfáltica tibia, se basa en el uso de pequeñas cantidades de agua que se inyectan al asfalto en el tambor de mezclado. Esta tecnología presenta dos tipos: el método directo y el indirecto.

4.1.3.1. Método Directo: consiste en añadir agua para realizar la espumación, con el fin de reducir la temperatura, y obtener las propiedades ya mencionadas en esta tesis. Los tipos de este método son:

- Asfalto espumado
- Asfalto espumado reciclado (con agregados reciclados): puede producirse in situ (recicladora) o en planta de asfalto (previo proceso de fresado y reciclado de agregados).

4.1.3.2. Método Indirecto: consiste en agregar para conseguir la espumación, zeolita sintética; para reducir la temperatura. La zeolita son minerales cristalizados compuestos por: silicio, aluminio y oxígeno, este material presenta alta porosidad; este material tiene la particularidad de que a altas temperaturas, burbujea; este material a nivel micro en sus canales contiene agua y con el aumento de temperatura, debido al asfalto caliente, más el agua generan una microespuma en la mezcla. La zeolita se encuentra de manera natural, en vetas de rocas ígneas básicas, particularmente basalto, pero también es posible su fabricación sintética, siendo las que se usan para el comercio. Las más conocidas son:

- Aspha-min: zeolita de origen sintético, producida por la empresa alemana Eurovia GmbH; se le presenta comercialmente como gránulos muy finos, este producto contiene 20% de agua cristalizada.
- Advera: zeolita de origen sintético (aluminosilicatos hidratados); presenta las mismas propiedades que la anterior, contiene entre un 18% y 21% de agua cristalizada (Torres et. Al 2012)⁹.

9 Edinson Giovanni Torres Velandia, Andrey Johanny Noreña Cifuentes, "Mezclas Tibias: una nueva tecnología para el mejoramiento de las mezclas asfálticas convencionales." Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, 2012

5. Anexo 3

5.1. Primer diseño de Asfalto Espumado

Esta fue el primer diseño que se realizó de asfalto espumado para esta tesis; se elaboró de acuerdo al porcentaje de agua que va de 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0% (tres probetas para cada porcentaje de agua, un total de 15 probetas).

Estas primeras probetas no se tomaron en cuenta, ya que no dieron los resultados esperados.¹⁰

1.0 % de agua	Numero de probetas			Promedio
	Datos	1	2	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.39	2.40	2.40	2.40
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.50	2.50	2.51	2.50
% de Vacíos	7.77	7.87	7.90	7.85
Estabilidad sin corregir (kg.)	702.10	706.08	718.52	708.90
Flujo (mm)	2.00	2.00	2.00	2.00
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	17.25	17.40	17.65	17.43
% de Vacíos llenados por C.A.	67.26	67.32	68.90	67.83

Tabla 12. Probetas al 1.0% de agua

1.5 % de agua	Numero de probetas			Promedio
	Datos	1	2	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.39	2.40	2.40	2.40
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.48	2.51	2.51	2.50
% de Vacíos	6.70	6.80	6.88	6.79
Estabilidad sin corregir (kg.)	803.40	842.85	920.65	855.63
Flujo (mm)	3.40	3.35	3.60	3.45
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	17.47	17.52	17.78	17.59
% de Vacíos llenados por C.A.	69.05	69.90	70.00	69.65

Tabla 13. Probetas al 1.5% de agua

10. No pasaron los ensayos de Estabilidad y flujo, es por eso que se descartaron, ver cuadro resumen.

2.0 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.39	2.38	2.42	2.40
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	6.59	6.60	6.75	6.65
Estabilidad sin corregir (kg.)	685.88	695.80	720.88	700.85
Flujo (mm)	3.20	3.25	3.30	3.25
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	17.30	17.50	18.47	17.76
% de Vacíos llenados por C.A.	68.45	70.15	71.40	70.00

Tabla 13. Probetas al 2.0% de agua

2.5 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.41	2.42	2.45	2.43
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	4.90	5.20	5.98	5.36
Estabilidad sin corregir (kg.)	795.65	848.30	890.10	844.68
Flujo (mm)	2.90	3.00	3.10	3.00
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	18.60	18.10	17.90	18.20
% de Vacíos llenados por C.A.	68.60	77.85	79.20	75.22

Tabla 14. Probetas al 2.5% de agua

3.0 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.42	2.42	2.45	2.43
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.48	2.48	2.49	2.48
% de Vacíos	5.48	5.25	4.95	5.23
Estabilidad sin corregir (kg.)	802.95	789.55	777.50	790.00
Flujo (mm)	3.30	3.35	3.40	3.35
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	18.80	18.58	17.95	18.44
% de Vacíos llenados por C.A.	74.60	77.95	80.08	77.54

Tabla 15. Probetas al 3.0% de agua

DATOS	1.00%	1.50%	2.00%	2.50%	3.00%
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.40	2.40	2.40	2.43	2.43
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.50	2.50	2.51	2.51	2.48
% de Vacíos	7.85	6.80	6.65	5.35	5.23
Estabilidad corregida (Kg)	708.90	855.6	700.85	844.70	790.00
Flujo (mm)	2.00	3.45	3.25	3.00	3.35
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	17.43	17.59	17.76	18.20	18.44
% de Vacíos llenados por C.A.	67.83	69.65	70.00	75.22	77.54

Tabla 16. Resumen del Ensayo Marshall

5.2. Segundo diseño de Asfalto Espumado

Se elaboró de acuerdo al porcentaje de agua que va de 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0% (tres probetas para cada porcentaje de agua, un total de 15 probetas).

Estas probetas se tomaron en cuenta, para el trabajo de investigación de la presente tesis, porque cumplieron los resultados esperados.

1.0 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.39	2.36	2.36	2.37
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	4.57	5.73	5.73	5.35
Estabilidad sin corregir (kg.)	1125.00	1091.00	966.00	966.00
Flujo (mm)	4.00	3.30	3.30	3.53
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	18.26	17.50	19.26	18.34
% de Vacíos llenados por C.A.	74.97	67.23	70.23	68.73

Tabla 17. Probetas al 1.0% de agua

1.5 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.36	2.38	2.39	2.38
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	5.78	5.22	4.68	5.23
Estabilidad sin corregir (kg.)	974.06	945.26	994.45	984.26
Flujo (mm)	4.20	3.30	3.60	3.45
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	19.30	17.50	18.36	18.38
% de Vacíos llenados por C.A.	70.04	70.20	74.50	71.58

Tabla 18. Probetas al 1.5% de agua

2.0 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.39	2.38	2.42	2.40
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	4.81	5.21	3.45	4.49
Estabilidad sin corregir (kg.)	1065.06	1077.44	1199.11	1071.25
Flujo (mm)	3.20	3.05	3.30	3.25
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	18.47	17.50	17.30	17.76
% de Vacíos llenados por C.A.	73.95	70.25	80.05	74.75

Tabla 19. Probetas al 2.0% de agua

2.5 % de agua	Numero de probetas			Promedio
Datos	1	2	3	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.38	2.43	2.42	2.43
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	5.27	3.09	3.41	3.25
Estabilidad sin corregir (kg.)	1006.93	1064.71	1117.36	1091.04
Flujo (mm)	3.90	3.00	3.30	3.90
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	18.86	17.50	17.27	18.18
% de Vacíos llenados por C.A.	72.04	82.36	80.26	76.15

Tabla 20. Probetas al 2.5% de agua

3.0 % de agua	Numero de probetas			Promedio
	Datos	1	2	
Peso Unitario de la Briqueta (gf/cm ³)	2.37	2.38	2.43	2.43
Máxima densidad teórica de la mezcla (gf/cm ³)	2.51	2.51	2.51	2.51
% de Vacíos	5.48	5.23	3.26	3.26
Estabilidad sin corregir (kg.)	878.38	1137.97	1232.03	1185.00
Flujo (mm)	3.30	3.30	3.00	3.30
P.e. bulk del agregado total	2.76	2.76	2.76	2.76
V:M.A.	19.04	17.50	17.14	19.04
% de Vacíos llenados por C.A.	71.24	70.13	80.97	80.97

Tabla 21. Probetas al 3.0% de agua

5.3. Resultados de la Tesis de El Salvador.

- Se extrajo los siguientes cuadros de la tesis titulada “Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando Asfalto Espumado”. Con resultados satisfactorios, en lo que respecta a las pruebas de flujo y estabilidad.¹¹
- En esta tesis se trabajó con un contenido de agua al 4.0%.
- En la tabla 22, se aprecia que la temperatura de diseño y casualmente de compactación es de 131°C; con resultados óptimos en lo que respecta estabilidad (1591kg) y flujo (2.71mm); esto se debe a que la mezcla para el estudio de esta tesis fue obtenida directamente de una planta de asfalto, diferencia de la presente tesis que la mezcla fue obtenida en laboratorio.

Estabilidad			
Temperatura de compactación	131°C		
N° de briqueta	1	2	3
Estabilidad (Kg.)	1527	1391	1624
Estabilidad Promedio (Kg.)	1591		
Flujo			
Flujo(mm)	2.54	2.79	2.79
Flujo Promedio(mm)	2.71		

Tabla 22. Estabilidad y Flujo. Fuente: “Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando Asfalto Espumado”

- Para la tabla 23, observamos que la temperatura de compactación es de 106°C, con resultados óptimos tanto para estabilidad (1287kg), como para el flujo (2.88mm). Esta afirmación nos indica que al bajar la temperatura de la mezcla, el asfalto espumado continuara siendo trabajable, sin perder las propiedades mecánicas, frente a un muestra de asfalto en caliente convencional.

Estabilidad			
Temperatura de compactación	106°C		
N° de briqueta	1	2	3
Estabilidad (Kg.)	1294	1163	1403
Estabilidad Promedio.(Kg.)	1287		
Flujo			
Flujo(mm)	2.79	3.05	2.79
Flujo Promedio(mm)	2.88		

Tabla 23. Estabilidad y Flujo. Fuente: “Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando Asfalto Espumado”

11. Gabriela Regina Méndez González, Jonathan Eliseo Moran Gutiérrez, Lidia Carolina Pineda Ramos “Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la metodología Marshall, utilizando Asfalto Espumado”, Universidad de El Salvador, 2014.