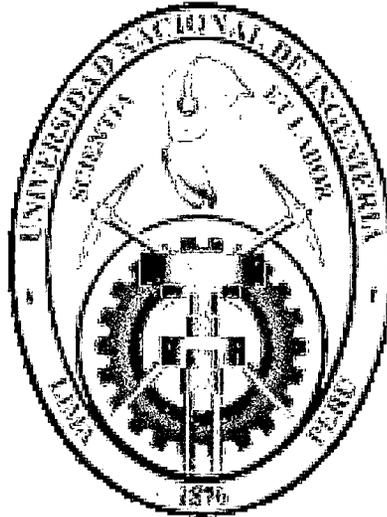


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil



**ESTUDIO Y ANALISIS DE MEZCLAS
ASFALTICAS EN CALIENTE (MAC)
EN EL TRAMO VIAL I:
YURA-PATAHUASI/AREQUIPA,
CON AGREGADOS VOLCANICOS**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Nohely Magali Nikaido J.

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

Lima – Perú
2003

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, quien me da la vida para seguir luchando. A mi padre quien me ilumina desde el cielo y me protege en cada paso que doy. A la persona más importante de mi vida, mi madre, mi fiel amiga y compañera, por su constante apoyo incondicional. Y a mis queridos hermanos.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento especial al Ing. Samuel Mora Quiñones, por todo el apoyo incondicional y asesoramiento continuo durante el desarrollo de la presente tesis de investigación.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A todo el personal que labora en la Oficina de Apoyo Tecnológico, quienes me apoyaron en todo momento y me asesoraron continuamente en la elaboración de los ensayos.

A los siguientes ingenieros, quienes me brindaron su apoyo desinteresado para la elaboración de la presente tesis:

- > Ing. Manuel Madrid Sosa*
- > Ing. Gustavo Llerena Cano*
- > Ing. Joaquín Colossio*

Finalmente manifiesto mi eterno agradecimiento a todos aquellos que de alguna u otra manera hicieron posible poder llevar a cabo la culminación de esta tesis.

RESUMEN

En la presente tesis de grado se analiza los agregados provenientes de Arequipa, usados en la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Yura – Patahuasi – Santa Lucía por ser éstos de origen volcánicos y para ser usados en mezclas asfálticas. Además se hace una comparación con los agregados de Lima, tanto en sus propiedades como en el comportamiento de la mezcla, demostrando la importancia que tienen los agregados dentro de la composición de las mezclas asfálticas en caliente.

Básicamente se estudia los componentes que conforman la mezcla asfáltica en caliente, parte importante dentro de la estructura del pavimento por encontrarse en la parte superior de ella, estando en contacto con los neumáticos y soportando las cargas de los vehículos. Inicialmente se hace un análisis de cada uno de los componentes por separado para finalmente analizarlo en su conjunto.

En el Capítulo 2 “Marco de Referencia”, se describe la zona donde se ejecutó el proyecto, las canteras utilizadas y la ubicación de la planta de asfalto.

El Capítulo 3 “Antecedentes”, comprende los criterios y diseños de mezcla utilizados en la obra, la evaluación del control de calidad de los agregados, cemento asfáltico y de la mezcla asfáltica. Además contiene las especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes actualmente vigentes en el país (EG-2000), las especificaciones propias del proyecto y las especificaciones Superpave, las cuales no forman parte de la presente tesis pero es necesario considerarlo para su mayor difusión debido a que es una tecnología que actualmente vienen aplicando varios países.

En el Capítulo 4 “Evaluación de Agregados”, se hace una introducción del origen de las rocas y sus propiedades, análisis petrográfico y físico – químico de los agregados en estudio, para verificar si son aptos para utilizarlos en mezclas asfálticas en caliente según la normatividad vigente. De igual manera contiene el análisis de la cal hidratada, previo conocimiento de sus propiedades y origen.

El Capítulo 5 “Evaluación de Materiales Asfálticos y Aditivos”, contiene el análisis de los ensayos realizados al cemento asfáltico y sus propiedades, las aplicaciones y ventajas del uso de aditivos, especialmente del mejorador de adherencia; sin profundizar mucho en el tema por ser muy amplio y complejo, además de no ser el objetivo de la presente tesis.

En el Capítulo 6 “Diseño de Mezclas Asfálticas”, se describe las características de la mezcla, propiedades consideradas en el diseño, el diseño y análisis de la mezcla asfáltica en caliente con los agregados de Arequipa y su comparación utilizando agregados de Lima.

Finalmente en el Capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la presente tesis, esperando fomentar inquietudes a los alumnos de pregrado para que continúen con investigaciones relacionadas a este tema.

INDICE

Página

RESUMEN	iii
INDICE	v
CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA	4
2.1 Aspectos Generales	5
2.2 Ubicación del Proyecto	5
2.3 Canteras	6
2.4 Planta de Asfalto	13
2.5 Aspectos Geológicos	14
CAPITULO 3. ANTECEDENTES	18
3.1 <u>Diseños de Mezcla Asfáltica Existente de Obra</u>	19
3.1.1 Criterio Convencional	19
3.1.2 Criterios Aplicados en Obra	19
3.1.2.1 Diseño con Cemento Asfáltico 85-100	22
3.1.2.2 Diseño con Cemento Asfáltico 120-150	25
3.2 <u>Evaluación de Resultados de Control de Obra</u>	29
3.2.1 Agregados	29
3.2.2 Cemento Asfáltico	29
3.2.3 Mezcla Asfáltica	29
3.3 <u>Especificaciones Técnicas para Mezcla Asfáltica</u>	36
3.3.1 Generales – 2000 – M.T.C.	36
3.3.1.1 Agregados Minerales Gruesos	36
3.3.1.2 Agregados Minerales Finos	39
3.3.1.3 Gradación	40
3.3.1.4 Filler o Relleno Mineral	41
3.3.1.5 Cemento Asfáltico	41
3.3.1.6 Aditivo Mejorador de Adherencia	44
3.3.1.7 Mezcla Asfáltica	44
3.3.2 Especiales: Proyecto Yura – Patahuasi / Arequipa, Tramo I	46
3.3.2.1 Agregados Minerales Gruesos	46

INDICE

	<u>Página</u>
3.3.2.2 Agregados Minerales Finos	46
3.3.2.3 Gradación	47
3.3.2.4 Filler o Relleno Mineral	47
3.3.2.5 Cemento Asfáltico	48
3.3.2.6 Aditivo Mejorador de Adherencia	48
3.3.2.7 Mezcla Asfáltica	48
3.3.3 Especificaciones Superpave	49
3.3.3.1 Agregado Mineral	49
3.3.3.2 Gradación	51
3.3.3.3 Cemento Asfáltico	52
3.3.3.4 Mezclas Asfálticas	58
CAPITULO 4. EVALUACION DE AGREGADOS	61
4.1 Consideraciones Generales	62
4.2 <u>Origen de las Rocas</u>	63
4.2.1 Rocas Igneas	63
4.2.2 Rocas Sedimentarias	64
4.2.3 Rocas Metamórficas	64
4.3 <u>Clasificación de las Rocas Igneas</u>	65
4.3.1 Color	65
4.3.2 Forma de las Partículas	68
4.3.3 Textura Superficial	68
4.3.4 Grado de Alteración	69
4.3.5 Estructura	69
4.3.6 Textura	69
4.3.6.1 Piroclástica	70
4.3.6.2 Vítreo	70
4.3.6.3 Afanítica	70
4.3.6.4 Granular (Fanerítica)	71
4.3.6.5 Porfirítica	71

INDICE

	<u>Página</u>
4.4 Aspectos Petrográficos	72
4.5 <u>Aspectos Fisico-Mecánicos</u>	75
4.5.1 Granulometría del Agregado Grueso y Fino	75
4.5.2 Peso Unitario	76
4.5.3 Gravedad Especifica del Agregado Grueso y Gravedad Especifica del Agregado Fino	76
4.5.4 Absorción del Agregado Grueso y Absorción del Agregado Fino	77
4.5.5 Abrasión o Desgaste “Los Angeles”	78
4.5.6 Contenido de Arcillas y Partículas Friables	78
4.5.7 Sales Solubles	79
4.5.8 Durabilidad al Sulfato de Sodio o de Magnesio	79
4.5.9 Porcentaje de Caras Fracturadas	79
4.5.10 Índice de Aplanamiento y de Alargamiento	80
4.5.11 Impurezas Orgánicas	81
4.5.12 Equivalente de Arena	81
4.5.13 Índice de Plasticidad <N°40 y <N°200	81
4.5.14 Adherencia del Bitumen – Agregado	82
4.5.15 Adhesividad de los Ligantes Bituminosos a los Aridos Finos (Procedimiento Riedel-Weber)	83
4.6 <u>Análisis de Resultados</u>	83
4.6.1 Agregados Minerales Gruesos	83
4.6.1.1 Granulometría del Agregado Grueso	83
4.6.1.2 Peso Unitario	85
4.6.1.3 Gravedad Especifica del Agregado Grueso	85
4.6.1.4 Absorción del Agregado Grueso	86
4.6.1.5 Abrasión o Desgaste “Los Angeles”	86
4.6.1.6 Contenido de Arcillas y Partículas Friables	87
4.6.1.7 Sales Solubles	87
4.6.1.8 Durabilidad al Sulfato de Sodio o de Magnesio	87

INDICE

	<u>Página</u>
4.6.1.9 Porcentaje de Caras Fracturadas	87
4.6.1.10 Índice de Aplanamiento y de Alargamiento	88
4.6.1.11 Adherencia del Bitumen – Agregado	88
4.6.2 Agregados Minerales Finos	89
4.6.2.1 Granulometría del Agregado Fino	89
4.6.2.2 Peso Unitario	89
4.6.2.3 Gravedad Especifica del Agregado Fino	91
4.6.2.4 Absorción del Agregado Fino	91
4.6.2.5 Contenido de Arcillas y Partículas Friables	91
4.6.2.6 Sales Solubles	92
4.6.2.7 Durabilidad al Sulfato de Sodio o de Magnesio	92
4.6.2.8 Impurezas Orgánicas	92
4.6.2.9 Equivalente de Arena	93
4.6.2.10 Índice de Plasticidad <N°40 y <N°200	93
4.6.2.11 Adhesividad de los Ligantes Bituminosos a los Aridos Finos (Procedimiento Riedel-Weber)	93
4.7 <u>Filler o Relleno Mineral</u>	96
4.7.1 Cal Hidratada	96
4.7.2 Aspectos Químicos	98
4.7.3 Aspectos Fisico-Mecánicos	99
4.7.3.1 Análisis Granulométrico del Relleno Mineral	100
4.7.3.2 Gravedad Específica	100
4.7.3.3 Índice de Plasticidad <N°200	101
CAPITULO 5. EVALUACION DE MATERIALES ASFALTICOS Y ADITIVOS	102
5.1 <u>Calidad del Cemento Asfáltico</u>	103
5.1.1 Propiedades Químicas del Asfalto	109
5.1.2 Propiedades Físicas del Asfalto	110
5.1.2.1 Durabilidad	110

INDICE

	<u>Página</u>
5.1.2.2 Adhesión y Cohesión	110
5.1.2.3 Susceptibilidad a la Temperatura	111
5.1.2.4 Endurecimiento y Envejecimiento	111
5.1.3 Ensayos para Determinar las Propiedades del Cemento Asfáltico	112
5.1.3.1 Viscosidad	112
5.1.3.2 Penetración	113
5.1.3.3 Punto de Inflamación	113
5.1.3.4 Ensayo de Película Delgada en Horno (TFO) y Ensayo de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO)	113
5.1.3.5 Ductilidad	114
5.1.3.6 Solubilidad	114
5.1.3.7 Punto de Ablandamiento (Anillo Y Bola)	114
5.1.3.8 Ensayo de la Mancha (Oliensis)	115
5.1.3.9 Peso Específico	115
5.1.3.10 Índice de Penetración	115
5.1.4 Análisis de Resultados	116
5.2 <u>Aditivo Mejorador de Adherencia</u>	116
5.2.1 Ventajas del Uso de Aditivo	117
5.2.2 Aplicaciones	118
5.2.3 Control de Calidad	118
5.2.4 Precauciones en el Manejo	118
5.2.5 Análisis de Resultados	119
CAPITULO 6. DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	121
6.1 <u>Características y Comportamiento de la Mezcla</u>	121
6.1.1 Densidad	121
6.1.2 Vacíos de Aire	122
6.1.3 Vacíos en el Agregado Mineral	122
6.1.4 Contenido de Asfalto	123

INDICE

	<u>Página</u>
6.2 <u>Propiedades Consideradas en el Diseño de Mezclas</u>	123
6.2.1 Estabilidad	124
6.2.2 Durabilidad	125
6.2.3 Impermeabilidad	126
6.2.4 Trabajabilidad	126
6.2.5 Flexibilidad	127
6.2.6 Resistencia a la Fatiga	127
6.2.7 Resistencia al Deslizamiento	128
6.2.8 Resistencia a la Rotura	129
6.3 Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas Superpave	130
6.4 <u>Diseño según Método Marshall</u>	134
6.4.1 Selección y Combinación de Agregados	135
6.4.2 Determinación de los Pesos Específicos	143
6.4.3 Preparación de las Muestras	144
6.4.4 Determinación del Peso Específico Total	144
6.4.5 Ensayo de Estabilidad y Fluencia	144
6.4.6 Análisis Densidad-Vacíos	145
6.4.7 Análisis de Resultados	145
6.5 Aspectos Comparativos del Diseño de Mezcla con Agregados Volcánicos de Bajo Peso Específico y con Agregados Estándar	147
CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
7.1 Conclusiones	154
7.2 Recomendaciones	156
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	157
ANEXOS	161
Anexo 01: Resultados de Control de Obra de la Mezcla Asfáltica	162
Anexo 02: Resultados de Análisis de Laboratorio	178
Anexo 03: Panel Fotográfico	243

LISTA DE CUADROS

	<u>Página</u>
CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA	
Cuadro 2.1. Estudio y Análisis de Canteras	11
CAPITULO 3. ANTECEDENTES	
Cuadro 3.1 Diseño de Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico 85-100	23
Cuadro 3.2 Diseño de Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico 120-150	27
Cuadro 3.3 Características de los Agregados Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico 85-100	30
Cuadro 3.4 Características de los Agregados Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico 120-150	31
Cuadro 3.5 Calidad del Cemento Asfáltico 85-100	32
Cuadro 3.6 Calidad del Cemento Asfáltico 120-150	33
Cuadro 3.7 Especificaciones para los Agregados Gruesos	39
Cuadro 3.8 Requerimientos para Caras Fracturadas	39
Cuadro 3.9 Especificaciones para los Agregados Finos	40
Cuadro 3.10 Requerimientos del Equivalente de Arena	40
Cuadro 3.11 Gradaciones de Mezcla Asfáltica Normal (MAC)	41
Cuadro 3.12 Granulometría del Filler o Relleno Mineral	41
Cuadro 3.13 Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración	42
Cuadro 3.14 Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad	43
Cuadro 3.15 Tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración	44
Cuadro 3.16 Especificaciones para Mezcla asfáltica	45
Cuadro 3.17 Vacíos Mínimos en el Agregado Mineral (VMA)	45
Cuadro 3.18 Especificaciones para los Agregados Gruesos	46
Cuadro 3.19 Especificaciones para los Agregados Finos	46
Cuadro 3.20 Especificación Granulométrica	47
Cuadro 3.21 Granulometría del Filler o Relleno Mineral	47

LISTA DE CUADROS

	<u>Página</u>
Cuadro 3.22 Composición del Filler o Relleno Mineral	47
Cuadro 3.23 Especificaciones del Cemento Asfáltico	48
Cuadro 3.24 Especificaciones para Mezcla Asfáltica en Caliente	49
Cuadro 3.25 Angularidad del Agregado Grueso	50
Cuadro 3.26 Angularidad del Agregado Fino	50
Cuadro 3.27 Partículas Chatas y Alargadas	51
Cuadro 3.28 Contenido de Arcillas	51
Cuadro 3.29 Especificaciones Superpave de Ligantes Asfálticos (Grado de Performance)	59
Cuadro 3.30 Requerimientos de Superpave para el VAM	58
Cuadro 3.31 Requerimientos de Superpave para el VFA	58
Cuadro 3.32 Parámetros de Ensayo para la Norma AASHTO T283	60
 CAPITULO 4. EVALUACION DE AGREGADOS	
Cuadro 4.1 Propiedades de Rocas Utilizadas en Mezcla Asfáltica en Caliente	66
Cuadro 4.2 Clasificación Mineralógica de las Principales Rocas Igneas	67
Cuadro 4.3 Análisis Petrográfico Macroscópico	73
Cuadro 4.4 Análisis Petrográfico Macroscópico (Fragmentos Líticos)	74
Cuadro 4.5 Resumen de Resultados de Análisis de Laboratorio	95
 CAPITULO 5. EVALUACION DE MATERIALES ASFALTICOS Y ADITIVOS	
Cuadro 5.1 Sistema de Clasificación por Viscosidad a 60°C Basado en Asfalto Original (AASHTO M226)	104
Cuadro 5.2 Sistema de Clasificación por Viscosidad a 60°C Basado en el Residuo del Ensayo RTFO (AASHTO M226)	105
Cuadro 5.3 Sistema de Clasificación por Penetración (AASHTO M20)	106
Cuadro 5.4 Grados de Ligante Superpave	107

LISTA DE CUADROS

	<u>Página</u>	
Cuadro 5.5	Ensayos Requeridos por el Cemento Asfáltico	112
Cuadro 5.6	Resumen de Resultados de Análisis de Laboratorio	116
Cuadro 5.7	Resumen de Resultados del Ensayo Riedel Weber	119
CAPITULO 6. DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS		
Cuadro 6.1	Ensayos de Performance (Construcción Nueva)	133
Cuadro 6.2	Ensayos de Performance (Refuerzos)	133
Cuadro 6.3	Gradación para los Tipos de Mezclas Asfálticas	136
Cuadro 6.4	Diseño de Mezcla N°1	139
Cuadro 6.5	Diseño de Mezcla N°2	141

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA

Figura 2.1	Plano de Ubicación	7
Figura 2.2	Plano Clave	8
Figura 2.3	Diagrama de Canteras	12

CAPITULO 3. ANTECEDENTES

Figura 3.1	Curva Marshall con Cemento Asfáltico 85-100	24
Figura 3.2	Curva Marshall con Cemento Asfáltico 120-150	28
Figura 3.3	Control de Mezcla Asfáltica PEN 85-100	34
Figura 3.4	Características Granulométricas Mezcla Asfáltica PEN 85-100	35
Figura 3.5	Control de Mezcla Asfáltica PEN 120-150	37
Figura 3.6	Características Granulométricas Mezcla Asfáltica PEN 120-150	38
Figura 3.7	Granulometría Superpave Tamaño Nominal 9.5 mm	53

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>	
Figura 3.8	Granulometría Superpave Tamaño Nominal 12.5 mm	54
Figura 3.9	Granulometría Superpave Tamaño Nominal 19 mm	55
Figura 3.10	Granulometría Superpave Tamaño Nominal 25 mm	56
Figura 3.11	Granulometría Superpave Tamaño Nominal 37.5 mm	57
 CAPITULO 4. EVALUACION DE AGREGADOS		
Figura 4.1	Características Granulométricas del Agregado Grueso	84
Figura 4.2	Características Granulométricas del Agregado Fino	90
 CAPITULO 5. EVALUACION DE MATERIALES ASFALTICOS Y ADITIVOS		
Figura 5.1	Selección de Grados de Asfalto Superpave	108
 CAPITULO 6. DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS		
Figura 6.1	Enfoque de Predicción de la Performance de Superpave	134
Figura 6.2	Granulometría Resultante de Diseño de Mezcla N°1	140
Figura 6.3	Granulometría Resultante de Diseño de Mezcla N°2	142
Figura 6.4	Gráfico de Curvas Marshall (Arequipa)	148
Figura 6.5	Gráfico de Curvas Marshall	149

CAPITULO 1

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Actualmente la mayoría de nuestras carreteras han sido construidas y se continúan construyendo con Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC), por presentar un excelente desempeño como superficie de rodadura. Esta mezcla es una combinación de asfalto y agregados, los cuales deben ser calentados previamente antes de ser mezclado, es ahí su denominación “Mezcla en Caliente”.

El comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente durante el periodo de servicio, dependen de cuatro aspectos fundamentales:

- a) Las características y propiedades de los materiales y de la mezcla asfáltica.
- b) Condiciones a las cuales estará expuesta la mezcla asfáltica (clima, tránsito, etc.).
- c) El diseño de la estructura del pavimento.
- d) Procedimientos de Construcción.

Es por ello la importancia de realizar cada una de estas etapas con cuidado, considerando en la presente investigación la primera de ellas por considerarse una de las etapas más relevantes y primordiales, la cual nos indicará el tipo y calidad de los materiales, y su composición dentro de la mezcla asfáltica; determinando las propiedades físicas de la mezcla y su desempeño como pavimento terminado.

Los agregados constituyen el 90 a 95% en peso y el 75 a 85% en volumen de las mezclas asfálticas para pavimentación, siendo los principales responsables de la capacidad de carga del pavimento, influyendo notablemente en su comportamiento. En ello radica la importancia de realizar estudios y análisis a los agregados previo a su utilización, mediante un conjunto de ensayos que tiendan a calificar su idoneidad o limitaciones.

En las regiones del sur del Perú se encuentran agregados especiales, muy diferenciados de los standard, los cuales se utilizaron en mezclas asfálticas y generaron comentarios desfavorables acerca de su empleo en pavimentación. Es en tal sentido la inquietud de realizar un estudio y análisis de los Agregados de Naturaleza Volcánica, típicos en las regiones del sur del Perú, y su empleo en el diseño y producción de Mezclas Asfálticas en Caliente.

Se tomó como ámbito de estudio la Carretera Yura – Patahuasi – Santa Lucía, en el Tramo Vial I, entre las progresivas Km. 0+000 al Km. 53+336, ubicado en el distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa, zona eminentemente volcánica en nuestro país.

CAPITULO 2

MARCO DE

REFERENCIA

MARCO DE REFERENCIA

2.1 ASPECTOS GENERALES

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, del Programa de Rehabilitación y Construcción de Carreteras a través de la Dirección General de Caminos, consideró la ejecución de las obras de rehabilitación a nivel de asfalto de la Carretera Arequipa – Juliaca, sector Yura – Patahuasi, dotando a esta vía, de superiores características técnicas y mejorando las condiciones favorables para el desarrollo en todo el área del proyecto; permitiendo el intercambio e integración socioeconómico de los pueblos enlazados con los departamentos de Arequipa y Puno.

El Proyecto fue desarrollado por la Consultora VICTOR CHAVEZ IZQUIERDO S.A. INGENIEROS CONSULTORES. La Construcción estuvo a cargo de la Asociación GUTSA CONSTRUCCIONES S.A. de C.V. – ARAMSA CONTRATISTAS GENERALES y actualmente lo realiza el CONSORCIO YURA compuesta por la CONSTRUCTORA PEDECA - SVC INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.. Y la Supervisión por la Asociación HIDROSERVICE – HOB PROYECTO YURA

Actualmente la obra, en toda su longitud presta servicios como carretera troncal a las vías que conducen a las mineras de Tintaya, Condoroma y otros; al centro turístico Cañón del Colca, a las ciudades del Cusco, Juliaca, Puno y Desaguadero; con el fin de brindar a los usuarios un buen servicio, seguridad y confort, reduciendo así los costos de operación de transporte, tanto de carga como de pasajeros.

2.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

La Carretera Yura – Patahuasi – Santa Lucía Tramo I, se encuentra ubicado en el distrito de Yura donde se encuentra ubicada la fábrica de “Cementos Yura”, provincia y

departamento de Arequipa como se muestra en la Figura 2.1 “Plano de Ubicación”, con una longitud de 53.336 kilómetros. Este tramo se encuentra entre las localidades de Yura (0+000), punto de inicio del tramo y Patahuasi (53+336.35), punto final del mismo; como se indica en la Figura 2.2 “Plano Clave”.

La obra se desarrolla en la Cordillera de los Andes, sobre alturas que oscilan entre 2621 y 4123 msnm. Geográficamente está ubicado entre las coordenadas absolutas referidas al UTM 8200231 N – 214455 E y 8224099 N – 242538 E. El eje forma parte de la Carretera Arequipa - Juliaca, siendo su acceso desde Lima, a través de la Carretera Panamericana Sur hasta la Ciudad de Arequipa, para luego desviarse hacia la Ciudad de Juliaca en el departamento de Puno.

2.3 CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de carreteras corresponde a los materiales, por lo que su localización y selección debe ser de gran importancia para localizar depósitos de materiales apropiados cercanos al lugar. Un punto fundamental en la determinación de bancos de materiales es la evaluación de las rocas o suelos contenidos, la que suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa. Cada caso requiere la realización de pruebas de campo y de laboratorio, además la evaluación preliminar se basa en experiencia existente y de un estudio geológico.

Un proyecto no puede considerarse completo o dar la autorización para su ejecución, si no contiene una lista completa y detallada de los posibles bancos de materiales a usarse en la obra. Los materiales extraíbles de estos bancos deben de cumplir con las especificaciones de calidad, tener un fácil acceso y producir las mínimas distancias de acarreo de los materiales a la obra.

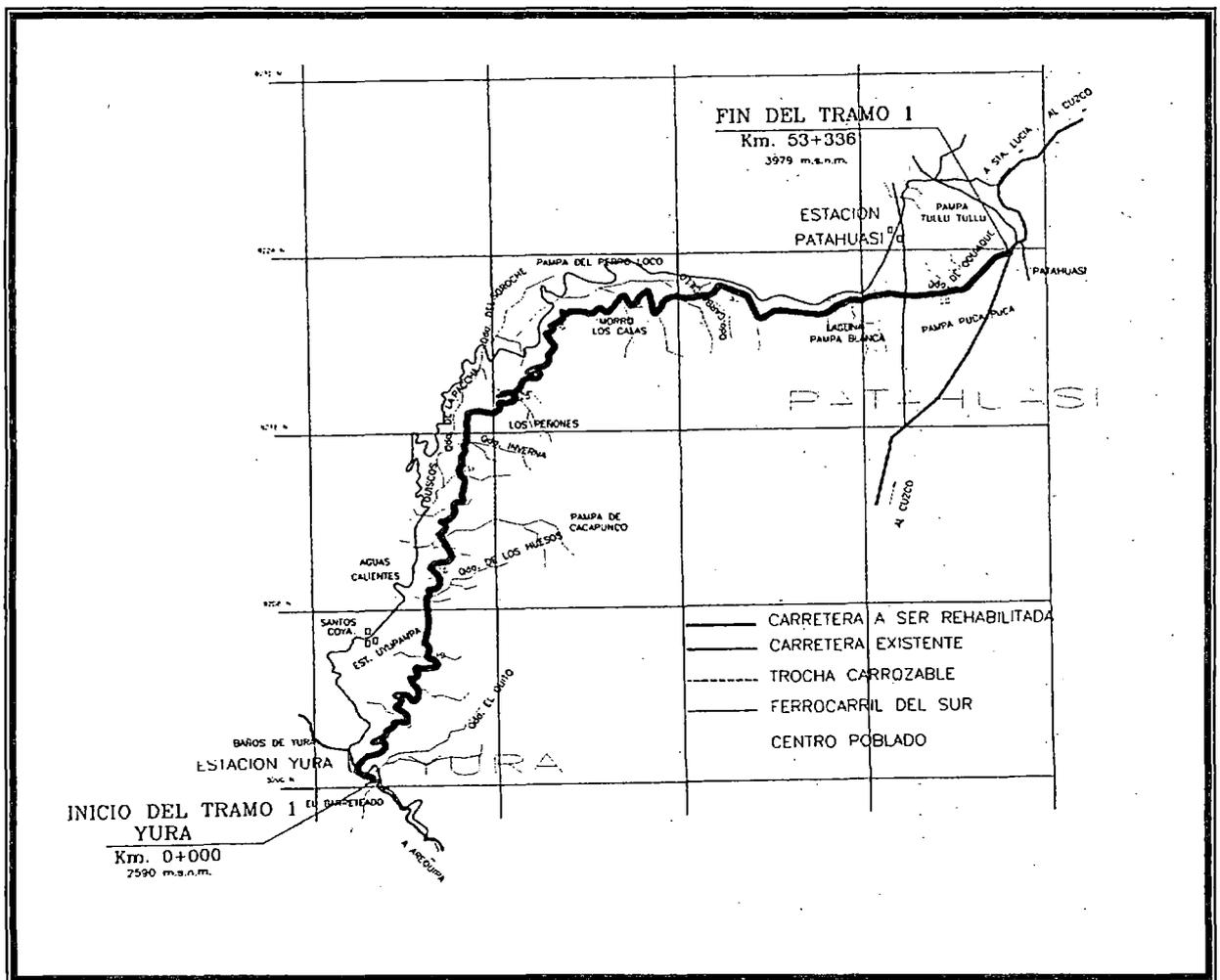
Antes de definir las posibles áreas de préstamo de materiales, tanto para la construcción de terraplenes como para la fabricación de concreto para las obras de arte y para las

FIGURA 2.1 PLANO DE UBICACION



FIGURA 2.2

PLANO CLAVE



mezclas asfálticas, se identificaron 7 posibles bancos de materiales donde se efectuaron 11 calicatas para determinar si los materiales califican o no como canteras proveedores de material. En el Cuadro 2.1 se muestra los resultados de los ensayos realizados, concluyendo que todas las canteras califican para su explotación como abastecimiento de agregado grueso y fino, pero como material granular para base y mezcla asfáltica las Canteras Yura, Quebrada la Chingana y Cañahuas.

Cantera	YURA	QUEBRADA LA CHINGANA	CAÑAHUAS
Ubicación	7+840	15+610	52+740
Lado	Derecho	Derecho	Izquierdo
Acceso	100 m	200 m	2470 m
Potencia	17300 m ³	31700 m ³	99000 m ³
Rendimiento	80%	80%	80%
Usos	Base, Concreto y Carpeta	Base y Concreto	Base, Concreto y Carpeta

En la etapa de construcción de la carretera se identificaron 2 canteras adicionales, las cuales se utilizaron para la producción de mezcla asfáltica, debido a la estrategia establecida por el contratista. Por lo tanto, las canteras usadas fueron las siguientes:

Cantera	SALAS	KM 42
Ubicación	39+500	42+060
Lado	Izquierdo	Derecho
Acceso	56 m	20 m
Potencia	54000 m ³	60000 m ³
Rendimiento	80%	80%
Propiedades Físico-Mecánicas:		
Peso Volumétrico	2.312 g/cm ³	2.592 g/cm ³
%Pasa N° 200	8 - 10	7.5 - 10.8
Abrasión	28 - 32%	
Durabilidad	3.9%	4.05%
Absorción	3.6 - 4.4%	0.8 - 1.5%
Sales Solubles		0.02%
Equivalente de arena		45 - 55%
Adherencia		Grado 3

En la Figura 2.3 “Diagrama de Canteras” se muestra la ubicación de cada una de ellas.

El material de la cantera Salas, se encuentra en un depósito glacial cercano a los volcánicos del barroso, el cual se presenta en bolonería de andesitas con matriz de arena grava limosa, conformado por fracciones subredondeadas a subangulares de diferente naturaleza y forma, de color gris claro a oscuro y pardo brumaceo principalmente; texturas granulares y cristalinas, superficialmente rugosos al tacto (en su mayoría). El diámetro varía entre 10 – 30 mm, poco alterado a alterados superficialmente (por erosión de materiales componentes que dan lugar a cavidades).

<u>Componentes</u>	<u>% Parciales</u>
- Volcánicos – Sedimentarios (tobos – arenisca – tobaceos, etc.)	30
- Sedimentaria (areniscas limosas, limolitos)	15
- Intrusivos (manzonita, granito, etc.)	30
- Subvolcánica (andesitas, andesitas porferíticas)	<u>25</u>
	100

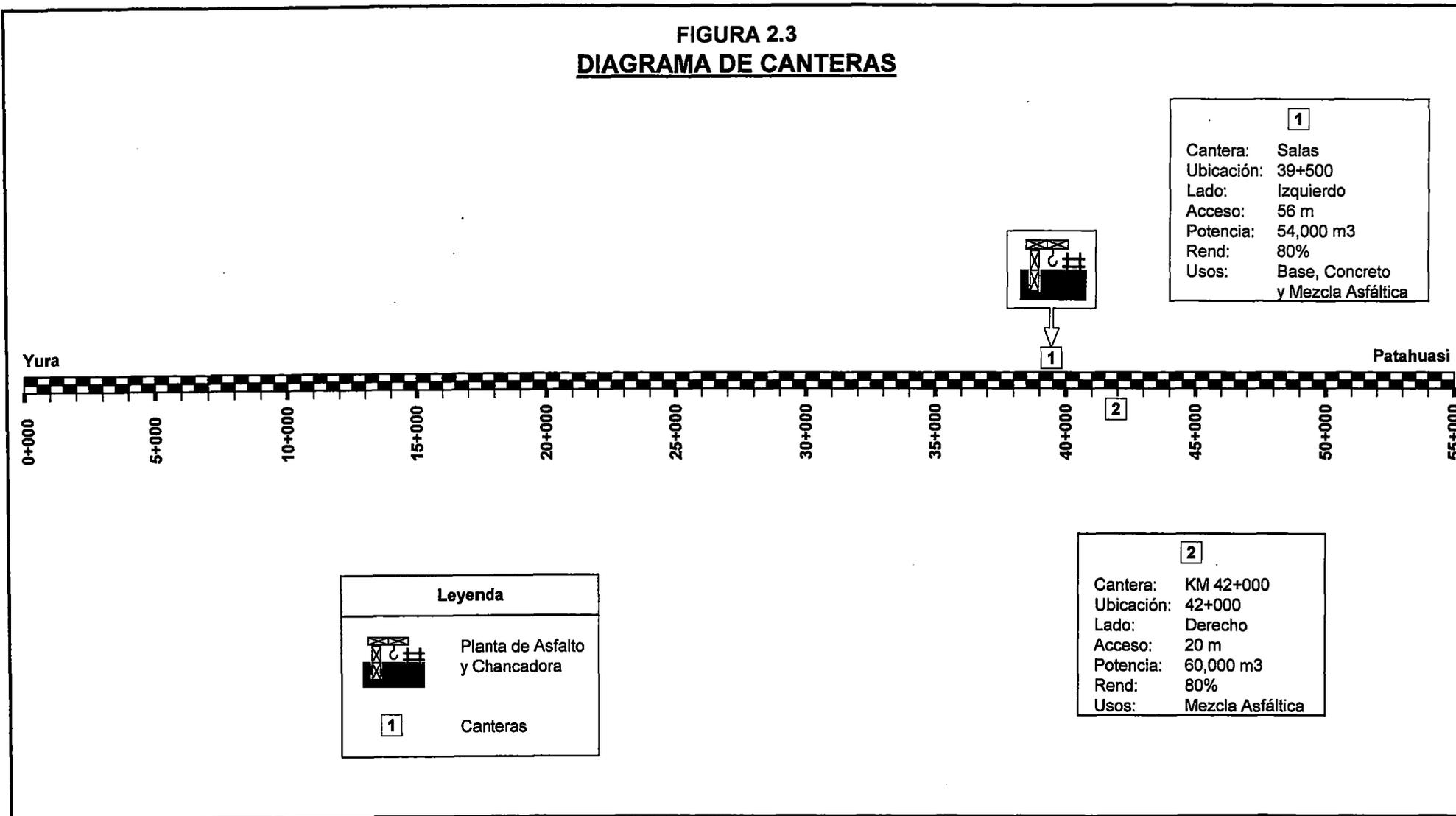
De los resultados de granulometría se concluyó que el 50% de grava son mayores a 3 pulgadas, por lo que se sometió a un prezarandeado y triturado mediante instalación de chancadoras para la producción del agregado grueso. Como en el Proyecto indicaba la utilización de arena obtenida del procesamiento de chancado en las canteras o de los bancos de arena existentes en la zona para la producción de la mezcla asfáltica, se utilizó la Cantera del Km. 42+060 como fuente de agregado fino comprobándose que las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales eran compatibles con los requerimientos establecidos en las Especificaciones Técnicas.

**CUADRO 2.1
ESTUDIO Y ANALISIS DE CANTERAS**

NOMBRE	UBICACIÓN	MUESTRA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (Porcentaje acumulativo que pasa en peso)											
			3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº30	Nº40	Nº60	Nº100	Nº200
YURA	7+840	MA-1	95.85	88.72	82.19	74.83	65.04	50.12	36.51	29.32	24.61	18.76	13.19	8.28
QUEBRADA LA CHINGANA	14+800	MA-2	94.26	84.91	78.78	69.9	60.68	43.01	28.43	22.43	18.5	12.89	8.22	4.16
	15+040	MA-3	98.87	95.66	93.5	90.39	87.7	63.99	45.65	37.26	31.8	22.69	15.93	9.63
	15+740	MA-4	98.18	93.13	89.17	84.09	79.27	63.42	49.11	41.41	36.36	27.16	18.93	11.58
QUEBRADA LA INVERNA	23+650	MA-5												
QUEBRADA HONDA	26+000	MA-6												
	27+740	MA-7												
		MA-8												
LOS CALAS	32+470	MA-9												
EL ABRA	41+100	MA-10												
CAÑAHUAS	53+400	MA-11	97.76	87.44	78.16	69.64	57.66	45.71	35.48	29.72	26.72	16.9	9.53	4.33

NOMBRE	UBICACIÓN	MUESTRA	ABRASION		REVESTIMIENTO		DURABILIDAD		EQUIVALEN	PESO ESPECIFICO		ABSORCION	
			TIPO A	TIPO D	GRUESO	FINO	PIEDRA	ARENA	DE ARENA	PIEDRA	ARENA	PIEDRA	ARENA
YURA	7+840	MA-1	39.7		+95	6	2.52	4.43	79.6	2.41	2.58	2.6	1.5
QUEBRADA LA CHINGANA	14+800	MA-2	48.9	35.6	+95	5	3.06	4.70	70.6	2.40	2.53	3.3	2.9
	15+040	MA-3					2.90	3.01	66.0				
	15+740	MA-4					2.95	2.30	68.9				
QUEBRADA LA INVERNA	23+650	MA-5					7.98	3.64	67.0	1.80	2.22	5.7	2.8
QUEBRADA HONDA	26+000	MA-6		31.2		3	12.73	6.92	68.0	2.12	2.42	2.8	3.4
	27+740	MA-7		36.3			3.41	6.64	60.0				
		MA-8				3	6.44	6.21	60.0	2.41	2.10	2.8	2.9
LOS CALAS	32+470	MA-9		38.1		3	2.82	9.95	37.0	2.44	2.44	1.8	2.2
EL ABRA	41+100	MA-10				3	3.06	3.67	47.7				
CAÑAHUAS	53+400	MA-11	14.2		+95	5	0.98	2.92	63.7	2.53	2.38	1.5	2.6

FIGURA 2.3
DIAGRAMA DE CANTERAS



Los agregados finos obtenidos por chancado de la Cantera Salas, no cumplen con la Especificación Técnica de Durabilidad como lo muestra la siguiente tabla:

CARACTERISTICAS AGREGADO FINO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	CANTERA SALAS KM. 39+500	CANTERA KM. 40+060
DURABILIDAD (AASHTO T-140)	12% máx.	14.4%	6.9%
EQUIVALENTE DE ARENA	40% mín.	63.8%	55.9%
ABSORCION		3.3%	1.1%

De las diversas fuentes de agua identificadas, se seleccionaron las dos que se consideran principales, las mismas que pueden abastecer la necesidad de la construcción de la carretera. Estas fuentes de agua se encuentran prácticamente al inicio y al final del tramo. La primera fuente del río Yura, se encuentra al lado izquierdo al inicio del tramo y la segunda fuente del río Chili en la zona de Patahuasi, al final del tramo a 6000 m al lado derecho de la vía.

ESTUDIO Y ANALISIS DE FUENTES DE AGUA

FUENTE DE AGUA	PH	Carbonatos	Cloruros	Sulfatos
		CO ₃ (%)	Cl (ppm)	SO ₄ (gr/lt)
RIO YURA	7.25	Negativo	39.0	
RIO CHILI	8.00	Negativo	88.6	

2.4 PLANTA DE ASFALTO

La planta de asfalto se sitúa en un lugar donde los camiones que transportan la mezcla elaborada no retrasen a los que aprovisionan los materiales. Generalmente se encuentran ubicados a un lado de una cantera o de una vía férrea, de tal forma que el manipuleo de los agregados es mínimo y cerca de un buen camino para que los camiones que transportan la mezcla no congestionen el tránsito ni se demoren. El área debe estar limpia, las condiciones de sanidad y seguridad de la planta deben ser buenas.

En el proyecto, la instalación de la planta de asfalto se realizó en la Cantera Salas (Km. 39+500) por encontrarse en este lugar la cantera donde se explotaría el material para la producción de mezcla asfáltica, evitando el transporte de material.

El acopio de los materiales se hace en pilas o montones construido cuidadosamente sobre superficies limpias y estables, tomando las previsiones necesarias para evitar que los materiales se mezclen o contaminen. El manejo del filler es distinto porque se aglutina o endurece al humedecerse, por lo que se debe almacenar por separado para protegerlo de la humedad.

2.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS

El tramo se encuentra ubicado en la parte occidental de la Cordillera Occidental del Sur del País, donde prevalece el arco volcánico del Barroso con el volcán Chachani. Las formaciones rocosas y depósitos cuaternarios presentes en el trayecto de la carretera están ligadas a los diferentes periodos de volcanismo, así como a la erosión y deposición de las mismas comprendidos desde el Terciario hasta el Reciente, siendo las principales:

- **Volcánico Sencca.** Constituida predominantemente por tufos riodacíticos que localmente gradan a dacitas con pronunciados cristales de cuarzo, feldspatos y mica, así como inclusiones de pómez con lavas de formas subangulosas y de diferentes tamaños que constituyen la matriz de la roca; esta roca se encuentra en los cortes de la carretera y alrededores de Yura con una coloración rosado a marrón rojizo, ocasionalmente gris blanquesino en forma consolidado con alternancia de capas con gravas arenosas y polvo volcánico donde se observa los tufos retrabajados. Corresponde al Terciario Superior alcanzando un espesor de más de 140 m.
- **Conglomerado Pleistocénico.** Llamado también como “Conglomerado Aluvial Pleistocénico”, aparece en forma local confundándose con depósitos recientes

reconocidos por la composición litológica de sus elementos granulares, se presenta en algunos cortes pequeños.

- **Volcánico Chila.** Se diferencia de los volcánicos recientes por formar parte de las antiguas emisiones volcánicas y/o conos volcánicos en el área de Chachani, constituido por conglomerados y brechas, ocasionalmente se observa andesitas. Estas rocas son de color grisáceo, las andesitas son afaníticas, en los conglomerados y brechas predominan la matriz andesítica. Se le asigna una edad Plio-Pliostoceno.
- **Volcánico Barroso.** Está distribuido ampliamente en el sur del país y forma gran parte del cono de Chachani observándose con cierta continuidad después de la fábrica de “Cementos Yura” que están constituidos por secuencias lávicas andesíticas, color gris oscuro con matriz gris azulino, casi siempre con textura porfirítica presentando una coloración marrón por intemperismo. Afloran en los cortes en forma de bloques subredondeados a redondeados. Se le asigna una edad Pliostoceno con un espesor de más de 300 m.
- **Depósitos Cuaternarios.** Se hallan diferentes depósitos inconsolidados con espesores y continuidad variable, representados por los siguientes materiales:
 - a) Depósitos Deluviales.- Acumulaciones que tapizan laderas de pendientes moderadas con cierto predominio en las llanuras, conformado por mezclas de arenas, limos con piedras de diferentes tamaños y porcentajes, casi siempre de formas subangulosas; con diferentes espesores y cohesión poco compacta.
 - b) Depósitos Glaciales.- Cubre gran parte del tramo final de la carretera y en forma de cobertura de limo – arena gravosos con inclusión de fragmentos de roca, con regular compacidad y color marrón grisáceo. La mayoría son de formas subangulosas.
 - c) Depósitos Fluvioglaciares.- Se compone de mezclas de gravas con limos arenosos y rodados subredondeados, encontrándose representativamente al final del tramo.

- d) Depósitos Lacustres. - Cruza en forma puntual en el sector de la “Laguna Blanca” en la zona altiplanicie, en algunos pequeños cortes cercanos a la laguna residual se observa limos y arcillas arenosas con algo de grava, no apreciándose su continuidad y espesor.
- e) Depósitos Coluviales. - Se localiza puntualmente, afectando en algunos casos la actual plataforma disminuyendo parcialmente el ancho de la vía. Conformado por una mezcla de clastos rocosos con fragmentos heterométricos con relleno de arena, grava limosa de baja cohesión que eventualmente forma conos de escombros.
- f) Depósitos Aluviales. - Se ubican en el cauce de las quebradas y están conformados por gravas arenosas con cantos rodados, de pequeño espesor.

La carretera se encuentra en los primeros tramos en formaciones de rocas volcánicas del Terciario y en los tramos finales en depósitos residuales con puntuales afloramientos de formaciones lávicas. Subdividiéndose en los siguientes sectores:

- **Sector Km. 0+000 – Km. 2+650.** Conformado por lomadas de diferentes alturas, de formas regulares, modelados en rocas del volcánico Sencca, color rosado a marrón anaranjado, apreciándose en los cortes compactos y estables parcialmente cubiertos por depósitos deluviales de pequeño espesor (menor de 0.50 m).
- **Sector Km. 2+650 – Km. 15+600.** Se encuentra en la formación volcánico Barroso apareciéndose en los cortes bolonerías de andesitas con intercalación de rocas sueltas y eventualmente fijas. La mayoría de las rocas que se presenta en este sector son andesitas y tufos lávicos de color gris oscuro, grano fino a medio, porfiríticas, de dureza medianamente alta que soportan aceptablemente la meteorización.
- **Sector Km. 15+600 – Km. 26+800.** Se observa la presencia de la piedra pómez como componente clástico de los depósitos deluviales y Pleistocénicos que

eventualmente se intercalan con tufos blanquecinos y en discordancia bien irregular, la coloración de los depósitos así como su compacidad varía de buena compacidad a regular.

- **Sector Km. 26+800 – Km. 32+080.** La carretera se encuentra excavado en depósitos glaciales conformados por capas de arenas limo gravosas a arenas grava limosas de color marrón grisáceo, encontrándose con algunos fragmentos de roca.
- **Sector Km. 32+080 – Km. 42+300.** Se encuentra al pie del cerro Huruncia y en depósitos glaciales cerca de los volcánicos del Barroso, con bolonería de andesitas con matriz de arena gravo limosos regularmente compacto y seco. Los glaciales son arena limosos con gravas y piedras, mayormente subangulosos.
- **Sector Km. 42+300 – Km. 53+336.** Conformado por depósitos glaciales localmente intercalados con depósitos lacustres y en la parte final se encuentra depósitos fluvioglaciales. Los depósitos glaciales se encuentran tapizados por tufos volcánicos del Sencca, parcialmente alterados, con depósitos de arena con limo y grava de color marrón claro a gris, conteniendo eventualmente fragmentos de roca subangulosa. Los depósitos lacustres están conformados por limos probablemente arcillosos con arena y algo de grava de color marrón claro y regularmente compacto. Los materiales fluvioglaciales son una mezcla de limos, arenas con grava y cantos subangulosos de rocas andesíticas, presentando buena compacidad, de color marrón y cierta homogeneidad en el subsuelo.

CAPITULO 3

ANTECEDENTES

ANTECEDENTES

3.1 DISEÑOS DE MEZCLA ASFALTICA EXISTENTE DE OBRA

3.1.1 Criterio Convencional

Objetivo \Rightarrow Seleccionar y proporcionar material (combinación económica).

Finalidad:

- Mezcla con suficiente asfalto (garantiza un pavimento durable)
- Adecuada estabilidad (satisface demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos)
- Contenido de vacíos suficientemente alto (permite una ligera cantidad de compactación adicional bajo cargas del tránsito sin producir exudación o pérdida de estabilidad)
- Contenido de vacíos suficientemente bajo (no deja penetrar los efectos dañinos del aire y del agua)
- Suficiente trabajabilidad (permite una colocación eficiente sin segregación)

Generalmente se considera el porcentaje de vacíos de 3 a 5%. Cuando una mezcla contiene un porcentaje de vacíos inferior al 3% tiende a producir inestabilidad y exudación, por el contrario cuando posee mayor de 5%, produce mezclas permeables al agua y al aire tendiendo a sufrir un envejecimiento prematuro y posterior desintegración.

3.1.2 Criterios Aplicados en Obra

Cuando se evalúa el diseño de mezclas asfálticas se debe considerar diversos factores de gran importancia tales como: las características físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente para tráfico pesado, las limitaciones del clima de la

zona de trabajo, el expediente técnico compuesto por los planteamientos del Proyectista y las respuestas a las consultas efectuadas para el caso, constituyen puntos importantes para efectuar el diseño de mezcla a emplearse.

En la actualidad está ampliamente difundido los orígenes del deterioro y posterior destrucción del pavimento en estas regiones donde las condiciones climáticas son adversas, siendo las principales causas:

- a) Temperatura.- Factor muy importante debido a que en rangos inferiores provoca rigidización, y es mayor cuando el asfalto experimenta alta susceptibilidad térmica lo cual hace que la mezcla se torne quebradiza.
- b) Gradiente Térmico.- Es la diferencia entre la temperatura más baja en un determinado intervalo de tiempo, su acción es más destructiva cuanto mayor sea su magnitud y menor sea el lapso en que se produce el gradiente térmico. Este hecho produce cambios volumétricos y esfuerzos traccionantes que superan la capacidad de resistencia del material, provocando luego fisuramientos.
- c) Radiación Solar.- Se magnifica en alturas superiores a 3500 msnm, los rayos ultravioletas promueven la evaporación de los aceites bituminosos, produciéndose la oxidación y el envejecimiento de las estructuras asfálticas. La oxidación es un fenómeno que rigidiza al asfalto, haciéndolo susceptible al fisuramiento.
- d) Agua.- Contribuye a la oxidación del asfalto, y su mayor efecto destructivo se manifiesta en forma combinada con las cargas del tráfico que ejercen presión con los neumáticos destruyendo gradualmente el pavimento, por lo que se hace imprescindible la determinación de los efectos negativos del agua en las mezclas asfálticas.
- e) Asfalto.- Tiene sus limitaciones en zonas frías, el mismo que se manifiesta en su reducida capacidad de resistencia a tracción.

Considerando todos estos factores, se adoptaron los siguientes criterios en la ejecución de los diseños de mezcla asfáltica:

a) Agregados.- Tienen que ser de buena calidad:

- De acuerdo con las exigencias de las especificaciones
- Graduación densa
- Módulo de rigidez debajo del admisible
- Utilizar Grava Chancada
- Utilizar Arena Chancada
- Utilizar Arena Zarandeada

b) Porcentaje de Vacíos.- Debe presentar un porcentaje de vacíos que no ocasione un Índice de Rigidez de valor más alto que el admisible.

c) Mezcla Asfáltica Flexible.- La mezcla asfáltica debe ser diseñada para tolerar asentamientos diferenciales, el cual se logrará utilizando la mayor cantidad posible de cemento asfáltico.

d) Alto Contenido de Asfalto.- Esto permitirá obtener porcentajes de vacíos bajos y flexibilidad a la mezcla. Este criterio es muy importante porque nos permitirá obtener un contenido de asfalto que corresponda a la menor proporción de asfalto necesario para asegurar el recubrimiento de la superficie de todos los agregados. Al disminuir, las mezclas se vuelven más rígidas, propicias a fracturarse y muy sensibles a la acción del agua.

e) Tipo de Asfalto.- Determinado en las especificaciones en conformidad con las condiciones climáticas locales.

f) Relleno Mineral (Filler).- El uso de Cal Hidratada responde única y exclusivamente a mejorar las condiciones químicas de la mezcla al integrarse como

un aditivo mejorador de adherencia, estabilizador de temperaturas y antioxidante prematuro.

g) Aditivo.- El uso de un aditivo mejorador de adherencia se hace imprescindible por lo siguiente:

- Prevenir la pérdida de adhesión entre los agregados y el ligante asfáltico.
- Prevenir la pérdida de cohesión del ligante asfáltico.
- Otorgar plasticidad al ligante asfáltico.
- Evitar la pérdida de fuerza aglomerante debido a efectos como el revestimiento de las partículas con polvo fino en la superficie del agregado o el desplazamiento del asfalto de la superficie del agregado.
- Reduce la tensión superficial del ligante asfáltico mejorando la humectación del mismo, facilitando la adherencia a la superficie con polvos.

3.1.2.1 Diseño con Cemento Asfáltico 85-100

El diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico PEN 85-100, se empleó a partir del Km. 0+000 hasta el Km. 25+000, por ubicarse en altitudes menores de 3500 msnm (zona andina intermedia). Para la elaboración de la mezcla asfáltica, se determinó usar el agregado grueso procedente de la Cantera Salas y el agregado fino producto del triturado del material de la misma cantera, por sus propiedades y características que proporcionan condiciones favorables. Al estudiar las propiedades físico-mecánicas del material de la zona, se encontró que el material utilizado tiene un porcentaje de absorción del orden de 3.3% en el agregado grueso y en el agregado fino, alrededor de 1.0%.

Se realizó 8 briquetas para el ensayo marshall, la granulometría de la mezcla se encuentra dentro del huso especificado acercándose en las mallas N° 30 y N° 50 hacia el límite superior. En el Cuadro 3.1 se muestra los resultados del ensayo marshall y sus respectivas curvas, en la Figura 3.1.

CUADRO 3.1

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS

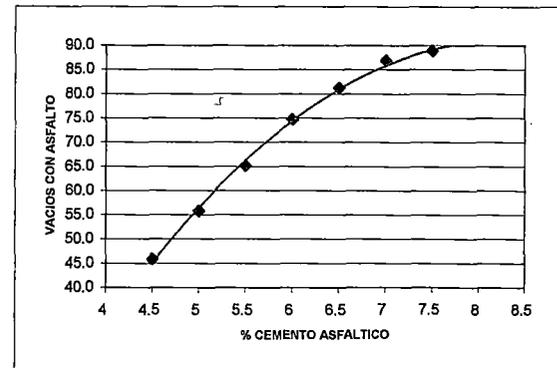
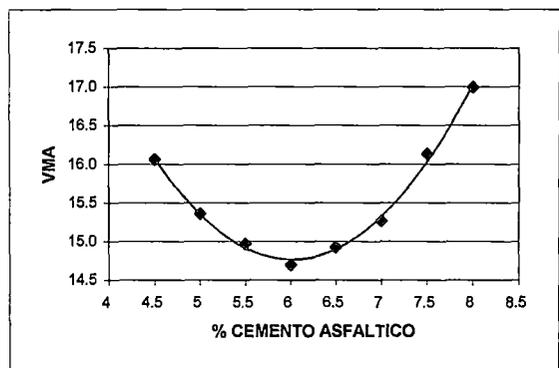
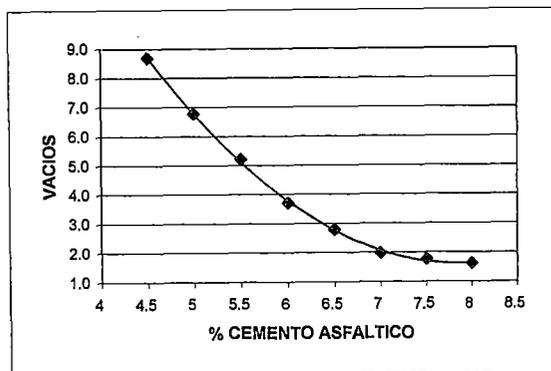
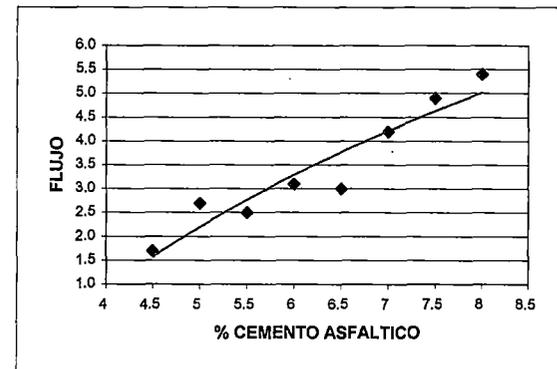
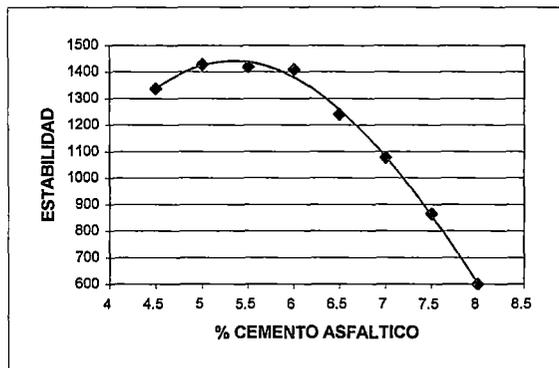
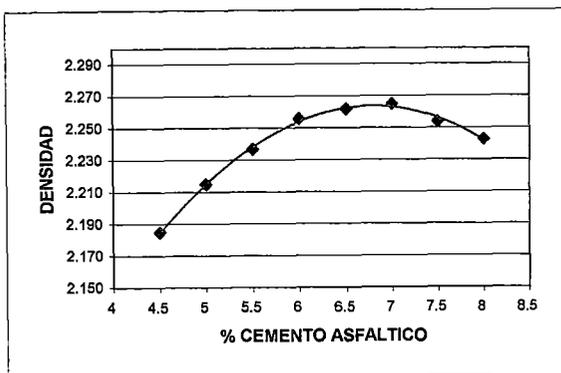
% QUE PASA	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No4	No8	No16	No30	No50	No100	No200
DISEÑO		100.0	92.0	79.5	56.6	44.1		27.1	20.3	12.4	5.8
ESPECIFICACION TECNICA MTC - IV B		100.0	80-100	70-90	50-70	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10

DISEÑO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	OPTIMO	ESPECIFICACION TECNICA
% ASFALTO - (Pb)	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	6.00	
DENSIDAD - gr/cc	2.185	2.215	2.237	2.256	2.262	2.265	2.254	2.243	2.240	
VACIOS - %	8.7	6.8	5.2	3.7	2.8	2.0	1.8	1.6	4.2	3 - 5
ESTABILIDAD - kg	1338	1429	1420	1410	1241	1078	866	600	1375	700 mín.
FLUJO - mm	1.7	2.7	2.5	3.1	3.0	4.2	4.9	5.4	2.7	2 - 4 mm
I.RIGIDEZ - kg/cm	7871	5293	5680	4548	4137	2567	1767	1111	5093	
V.M.A. - %	16.1	15.4	15.0	14.7	14.9	15.3	16.1	17.0	15.3	
V.F.A. - %	46	56	65	75	81	87	89	90	73	
Ic									8.90	5.0 mín.
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
ADITIVO QUIMICO - %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
ESTABILIDAD RET. - %										75 mín.

FIGURA 3.1

CURVA MARSHALL CON CEMENTO ASFALTICO 85-100



El óptimo porcentaje de asfalto se obtuvo teniendo en consideración los criterios convencionales:

- Máxima densidad	7.0
- Máxima estabilidad	5.5
- 3% Vacíos	<u>6.5</u>
% Cemento asfáltico	6.3

Fórmula de Obra

- Cemento Asfáltico	:	PEN 85 – 100
- Cal (Yeseria “San Roque”)	:	HIDRATADA
- Agregado grueso procesado en la Cantera Salas		
Piedra de ¾”	:	16%
Piedra de ½”	:	21%
- Agregado fino triturado en la Cantera Salas		
Arena triturada y pre-secada	:	61%
- Porcentaje del Cemento Asfáltico	:	6.0 +/- 0.3 %
- Porcentaje de Cal Hidratada	:	2.0 +/- 0.2 %
- Aditivo Mejorador de Adherencia MORLIFE	:	0.6%
- Especificación Granulométrica	:	IV - B

3.1.2.2 Diseño con Cemento Asfáltico 120-150

El diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico PEN 120-150, se empleó entre las progresivas Km. 25+000 hasta el Km. 53+336, debido a que este tramo se ubica entre los niveles de 3500 y 4043 msnm. Para la elaboración de la mezcla asfáltica se determinó usar el agregado grueso procedente de la Cantera Salas, y el agregado fino procedente de la Cantera del Km. 42+060 (lado derecho de la carretera) por sus propiedades y características que proporcionan condiciones favorables. Al estudiar las propiedades físico-mecánicas del material de la zona, se encontró que el

material utilizado tiene un porcentaje de absorción del orden de 3.7% en el agregado grueso y en el agregado fino, alrededor de 1.1%.

Se realizó 6 briquetas para el ensayo marshall, la granulometría de la mezcla se encuentra dentro del huso especificado acercándose en las mallas ½” y 3/8” hacia el límite inferior, y en las mallas N° 30, 50, 100 y 200 hacia el límite superior. En el Cuadro 3.2 se muestra los resultados del ensayo marshall y sus respectivas curvas, en la Figura 3.2.

El óptimo porcentaje de asfalto se obtuvo teniendo en consideración los criterios convencionales:

- Máxima densidad	6.5
- Máxima estabilidad	6.0
- 3% Vacíos	<u>8.5</u>
- % Cemento asfáltico	7.0

Fórmula de Obra

- Cemento Asfáltico	:	PEN 120 - 150
- Cal (Calera Peruana S.A.)	:	HIDRATADA
- Agregado grueso procesado en la Cantera Salas	:	35%
- Agregado fino explotado Cantera Km. 42+060	:	63%
- Porcentaje del Cemento Asfáltico	:	7.1 +/- 0.2 %
- Porcentaje de Cal Hidratada	:	2.0 +/- 0.2 %
- Aditivo Mejorador de Adherencia RADICOTE	:	0.5%
- Especificación Granulométrica	:	IV - B

CUADRO 3.2

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 120-150

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS

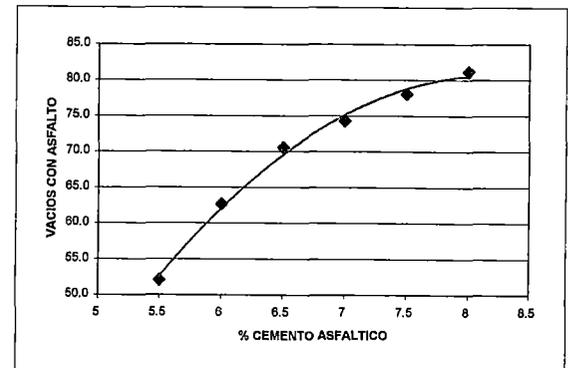
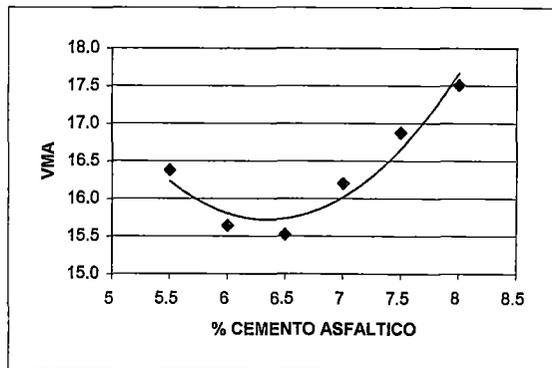
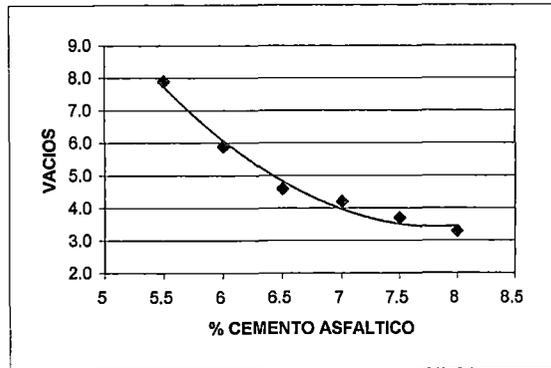
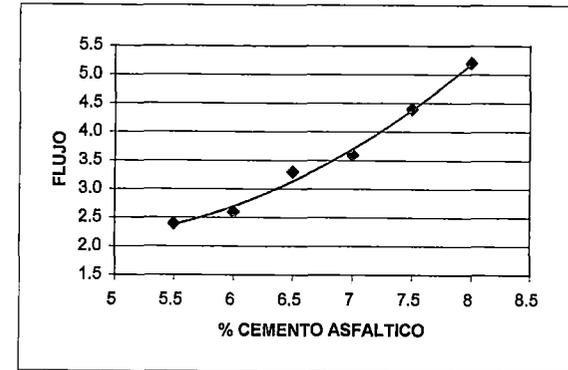
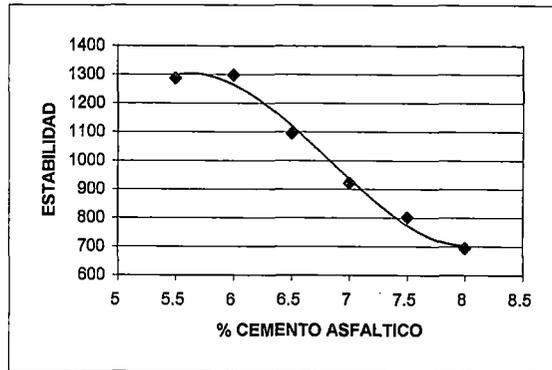
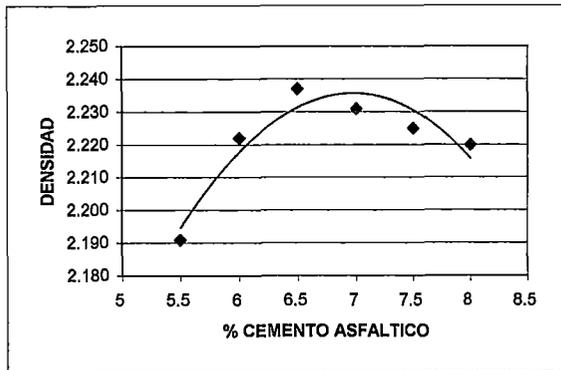
% QUE PASA	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No4	No8	No16	No30	No50	No100	No200
DISEÑO		100.0	86.1	74.6	57.0	42.5		27.1	20.6	13.4	8.4
ESPECIFICACION TECNICA MTC - IV B		100.0	80-100	70-90	50-70	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10

DISEÑO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	4	5	6	OPTIMO	ESPECIFICACION TECNICA
% ASFALTO - (Pb)	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	7.10	
ASFALTO EFECTIVO - %	4.00	4.51	5.01	5.52	6.03	6.54	5.51	
DENSIDAD - gr/cc	2.191	2.222	2.237	2.231	2.225	2.220	2.231	
VACIOS - %	7.9	5.9	4.6	4.2	3.7	3.3	3.9	3 - 5
ESTABILIDAD - kg	1288	1299	1096	922	802	695	880	700 mín.
FLUJO - mm	2.40	2.60	3.30	3.60	4.40	5.20	3.90	2 - 4 mm
I.RIGIDEZ - kg/cm	5367	4996	3321	2561	1823	1337	2256	
V.M.A. - %	16.4	15.6	15.5	16.2	16.9	17.5	16.3	
V.F.A. - %	52	62	70	74	78	81	76	
Ic							9.3	5.0 mín.
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
ESTABILIDAD RET. - %							96	75 mín.

FIGURA 3.2

CURVA MARSHALL CON CEMENTO ASFALTICO 120-150



3.2 EVALUACION DE RESULTADOS DE CONTROL DE OBRA

3.2.1 Agregados

Al realizarse la evaluación de los agregados procedentes de dos canteras diferentes ubicadas a lo largo del tramo, se observó que la absorción es muy alta como se mencionó anteriormente. Los resultados de la grava chancada usada en el diseño con cemento 85-100 y 120-150, son similares por proceder de la misma cantera y ser el mismo material. En cuanto a la arena, la arena zarandeada posee mayor cantidad de finos con respecto a la arena triturada. La cal procedente de la Yesería San Roque tiene mayor peso específico que la procedente de la Calera Peruana. Todos estos resultados se muestran en los Cuadros 3.3 y 3.4.

3.2.2 Cemento Asfáltico

La evaluación del cemento asfáltico se realizó para verificar la calidad del producto recepcionado en obra. El cemento asfáltico utilizado proviene de las dos refinerías productoras de asfalto en nuestro país: el de penetración 85-100 proviene de la refinería La Pampilla y 120-150 de la refinería Conchán. En los Cuadros 3.5 y 3.6 se muestra los resultados del control de calidad del cemento utilizado.

3.2.3 Mezcla Asfáltica

Al evaluar la mezcla asfáltica colocada en obra con cemento 85-100 (Figura 3.3 y 3.4) se observa que a comparación del diseño, la estabilidad y el porcentaje de vacíos ha disminuido, debido al aumento de material fino (pasante la malla 200) en la curva granulométrica de la mezcla. La estabilidad promedio obtenida en el control de obra es de 1194 kg., el porcentaje de vacíos es 3.3% y la cantidad de asfalto en la mezcla es 6.17%.

CUADRO 3.3

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 85-100

MATERIAL: PIEDRA CHANCADA
 CANTERA: SALAS KM. 39+500

AGREGADO GRUESO	NORMA	CONTRATISTA	SUPERVISOR
Durabilidad	ASTM C-88	3.9	
Abrasión	ASTM C-131	32.88	
Caras fracturadas	MTC E210	79.2	
Partículas chatas y alargadas	ASTM D-693	6.9	
Absorción	ASTM C-127	3.8	3.4
Peso Específico Bulk Base Seca	ASTM C-127	2.362	2.376
Peso Específico Bulk Base Saturada	ASTM C-127	2.446	2.456
Peso Específico Aparente	ASTM C-127	2.578	2.583
Revestimiento y Desprendimiento	ASTM D-1664	100	

MATERIAL: ARENA TRITURADA
 CANTERA: SALAS KM. 39+500

AGREGADO FINO	NORMA	CONTRATISTA	SUPERVISOR
Durabilidad	ASTM C-88	4	
Equivalente de Arena	ASTM D-2419	65.5	60
Absorción	ASTM C-128	1.1	0.7
Peso Específico Bulk Base Seca	ASTM C-128	2.549	2.626
Peso Específico Bulk Base Saturada	ASTM C-128	2.668	2.646
Peso Específico Aparente	ASTM C-128	2.641	2.678
Adhesividad Riedel Weber	ASTM D-128	5	
Sales Solubles Totales	MTC E219	0.017	

MATERIAL: CAL HIDRATADA
 CANTERA: YESERIA "SAN ROQUE" E.I.R.L.

AGREGADO FILLER	NORMA	CONTRATISTA	SUPERVISOR
Peso Específico Aparente	MTC E206	2.403	2.347
Peso de Ca(OH) ₂ mas CaO		91.00	
Peso de CaO		2.20	
Insoluble			
Hidróxido de Calcio + Oxido de Magnesio		91.4	
Plasticidad de Mezcla		1.1	

CUADRO 3.4
CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN EL
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150

MATERIAL: PIEDRA CHANCADA
 CANTERA: SALAS KM. 39+500

AGREGADO GRUESO	NORMA	CONTRATISTA	SUPERVISOR
Durabilidad	ASTM C-88	3.9	
Abrasión	ASTM C-131	31.5	
Caras fracturadas	MTC E210	80.3	
Partículas chatas y alargadas	ASTM D-693	6.9	
Absorción	ASTM C-127	3.7	3.7
Peso Específico Bulk Base Seca	ASTM C-127	2.355	2.355
Peso Específico Bulk Base Saturada	ASTM C-127	2.442	2.442
Peso Específico Aparente	ASTM C-127	2.582	2.582
Revestimiento y Desprendimiento	ASTM D-1664	100	

MATERIAL: ARENA ZARANDEADA
 CANTERA: KM. 42+060

AGREGADO FINO	NORMA	CONTRATISTA	SUPERVISOR
Durabilidad	ASTM C-88	4.76	
Equivalente de Arena	ASTM D-2419	58	60
Absorción	ASTM C-128	1.1	1.1
Peso Específico Bulk Base Seca	ASTM C-128	2.587	2.587
Peso Específico Bulk Base Saturada	ASTM C-128	2.615	2.615
Peso Específico Aparente	ASTM C-128	2.661	2.661
Adhesividad Riedel Weber	ASTM D-128	5	
Salas Solubles Totales	MTC E219	0.017	

MATERIAL: CAL HIDRATADA
 CANTERA: CALERA PERUANA S.A.

AGREGADO FILLER	NORMA	CONTRATISTA	SUPERVISOR
Peso Específico Aparente	MTC E206	2.305	
Peso de Ca(OH) ₂ mas CaO		96.30	
Peso de CaO		7.00	
Insoluble		0.6	
Hidróxido de Calcio + Oxido de Magnesio		89.63	
Plasticidad de Mezcla		1.4	

**CUADRO 3.5
CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100**

PROCEDENCIA	REPSOL								
REFINERIA	PAMPILLA								
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	85-100								
Nº LOTE	-								
MUESTRA	M1								
FECHA DE PRODUCCION									
FECHA DE MUESTREO	20.05.01								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td colspan="2">ESPECIFICACION ASTM D-946</td> </tr> <tr> <td>MIN</td> <td>MAX</td> </tr> </table>						ESPECIFICACION ASTM D-946		MIN	MAX
ESPECIFICACION ASTM D-946									
MIN	MAX								
A. MUESTRA ORIGINAL									
PENETRACION 25 °C	85	100	89						
DUCTILIDAD 25 °C, 5 cm/min, cm	100		100+						
PUNTO DE ABLANDAMIENTO									
VISCOSIDAD S.F. 135 °C seg									
VISCOSIDAD ABS. P 60°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 100°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 135°C	140								
VISCOSIDAD CIN. cSt 150°C									
INDICE DE PENETRACION									
FLASH POINT, COPA ABIERTA °C	218		318						
SOLUBILIDAD TRICLORO %	99		99.9						
PERDIDA POR CALENTAMIENTO %		1.3							
INDICE DE FRAAS									
ENSAYO DE LA MANCHA % XILOL			NEGATIVO						
CONTENIDO DE AGUA %									
PESO ESPECIFICO 25°C			1.018						
ADHERENCIA AGREGADO/BITUMEN	95+								
B. MUESTRA RESIDUO									
PENETRACION % DEL ORIGINAL	42		62						
PENETRACION 15/20/25/35/40 °C			-						
DUCTILIDAD 25 °C, 5 cm/min, cm	100		93						
R&B									
VISCOSIDAD S.F. 135 °C seg									
VISCOSIDAD ABS. P 60°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 120°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 135°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 150°C									
INDICE DE PENETRACION									
SOLUBILIDAD TRICLOROETLENO %			99.78						

OBSERVACIONES:

**CUADRO 3.6
CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150**

PROCEDENCIA			PETROPERU	PETROPERU					
REFINERIA			CONCHAN	CONCHAN					
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO			120-150	120-150					
Nº LOTE			-	-					
MUESTRA			M1	M2					
FECHA DE PRODUCCION									
FECHA DE MUESTREO			10.12.99	14.11.99					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACION ASTM D-946</th> </tr> <tr> <th>MIN</th> <th>MAX</th> </tr> </thead> </table>			ESPECIFICACION ASTM D-946		MIN	MAX			
ESPECIFICACION ASTM D-946									
MIN	MAX								
A. MUESTRA ORIGINAL									
PENETRACION 25 °C	120	150	131	142					
DUCTILIDAD 25 °C, 5 cm/min, cm	100		150+	150+					
PUNTO DE ABLANDAMIENTO			42	42					
VISCOSIDAD S.F. 135 °C seg									
VISCOSIDAD ABS. P 60°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 100°C			1609	1394					
VISCOSIDAD CIN. cSt 135°C	140		197	199					
VISCOSIDAD CIN. cSt 150°C									
INDICE DE PENETRACION									
FLASH POINT, COPA ABIERTA °C	218		308						
SOLUBILIDAD TRICLORO %	99		99.6	99.6					
PERDIDA POR CALENTAMIENTO %		1.3	0.6	0.6					
INDICE DE FRAAS									
ENSAYO DE LA MANCHA % XILOL			NEGATIVO	NEGATIVO					
CONTENIDO DE AGUA %									
PESO ESPECIFICO 25°C			1.0122	1.0107					
ADHERENCIA AGREGADO/BITUMEN	95+		95+	95+					
B. MUESTRA RESIDUO									
PENETRACION % DEL ORIGINAL	42		59	59					
PENETRACION 15/20/25/35/40 °C			-						
DUCTILIDAD 25 °C, 5 cm/min, cm	100		125	125					
R&B									
VISCOSIDAD S.F. 135 °C seg									
VISCOSIDAD ABS. P 60°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 120°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 135°C									
VISCOSIDAD CIN. cSt 150°C									
INDICE DE PENETRACION									
SOLUBILIDAD TRICLOROETLENO %			99.78	99.78					

OBSERVACIONES:

FIGURA 3.3
CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 85-100

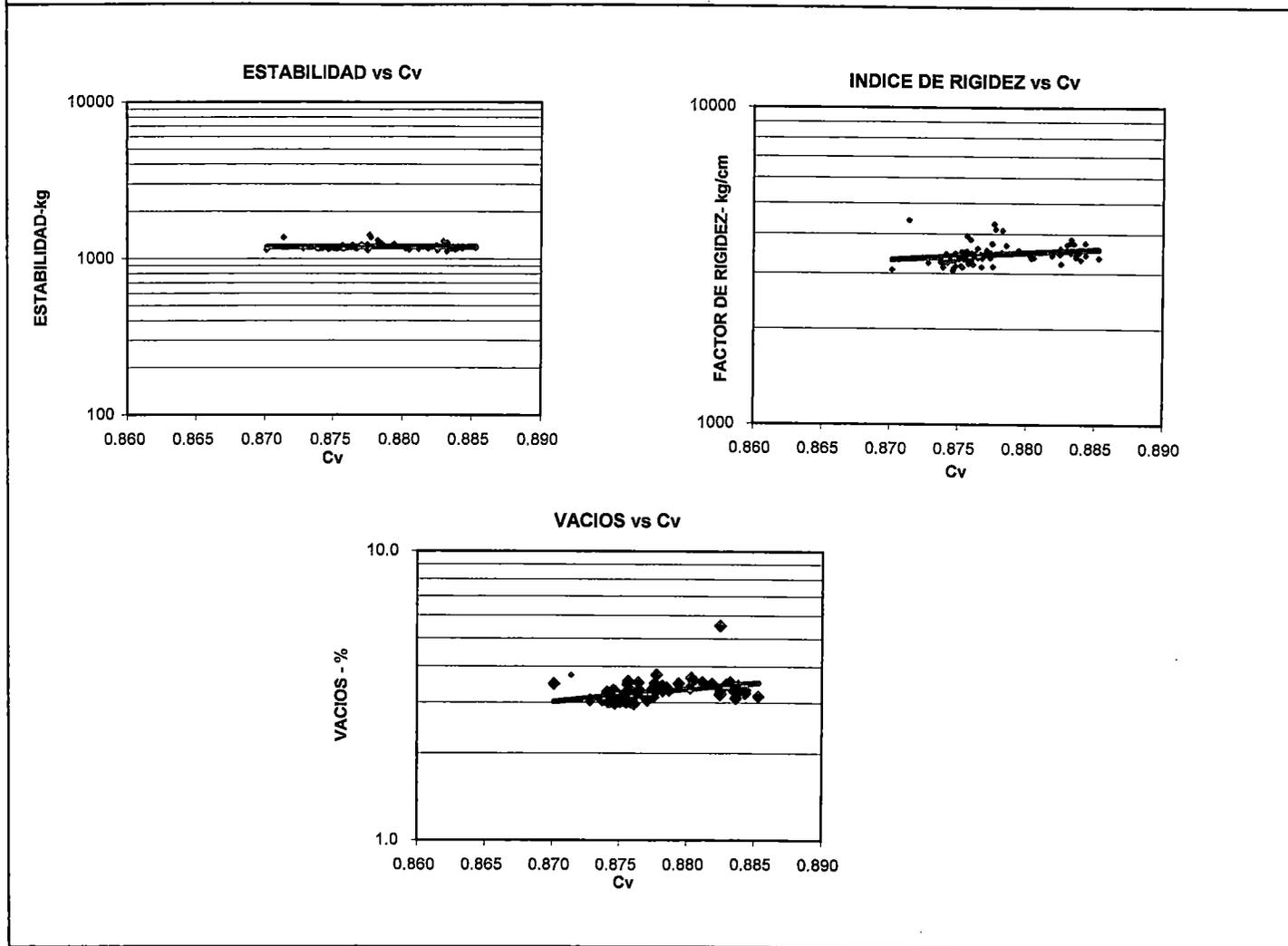
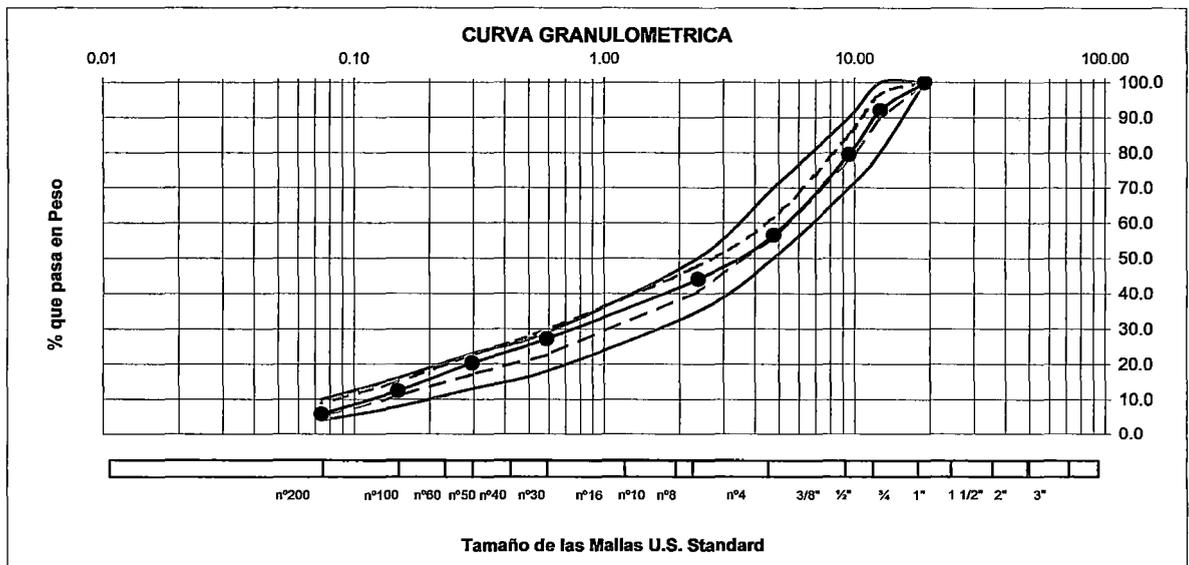


FIGURA 3.4
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS
DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100

Tamiz	Abertura mm.	Acum.Pasa (%)				
		CURVA DISEÑO	HUSO TRABAJO		ESPECIFICACION	
			MIN	MAX	MIN	MAX
1"	25.4					
3/4"	19.05	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.7	92.00	89.60	96.60	80.00	100.00
3/8"	9.53	79.50	77.60	85.00	70.00	90.00
N 4	4.76	56.60	55.90	61.70	50.00	70.00
N 8	2.38	44.10	40.50	47.80	35.00	50.00
N 10	2.00					
N 16	1.19					
N 30	0.59	27.10	22.60	29.80	18.00	29.00
N 40	0.426					
N 50	0.297	20.30	17.10	22.60	13.00	23.00
N 80	0.177					
N 100	0.149	12.40	10.90	15.00	8.00	16.00
N 200	0.074	5.80	5.40	9.00	4.00	10.00
< N 200						



LEYENDA	
---	HUSO DE TRABAJO
●—	CURVA DE DISEÑO
—	ESPECIFICACION

De igual manera se observa en la mezcla con cemento 120-150 (Figura 3.5 y 3.6), una disminución en el porcentaje de vacíos en el orden del 3% a causa del aumento de asfalto en la mezcla, 7.32%. La estabilidad promedio se mantiene con respecto al del diseño, 885 kg.

3.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA MEZCLA ASFALTICA

3.3.1 Generales – 2000 – M.T.C.

Las mezclas asfálticas para el empleo de pavimentación en caliente se compondrán de agregados minerales gruesos, finos, filler mineral y material asfáltico. Los agregados pétreos empleados, deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa de material asfáltico, ésta no se desprenda por acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices 4.75 mm y 75 um (N° 4 y N° 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz 75 um (N° 200).

3.3.1.1 Agregados Minerales Gruesos

Deberá proceder de la trituración de roca o de grava, o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto.

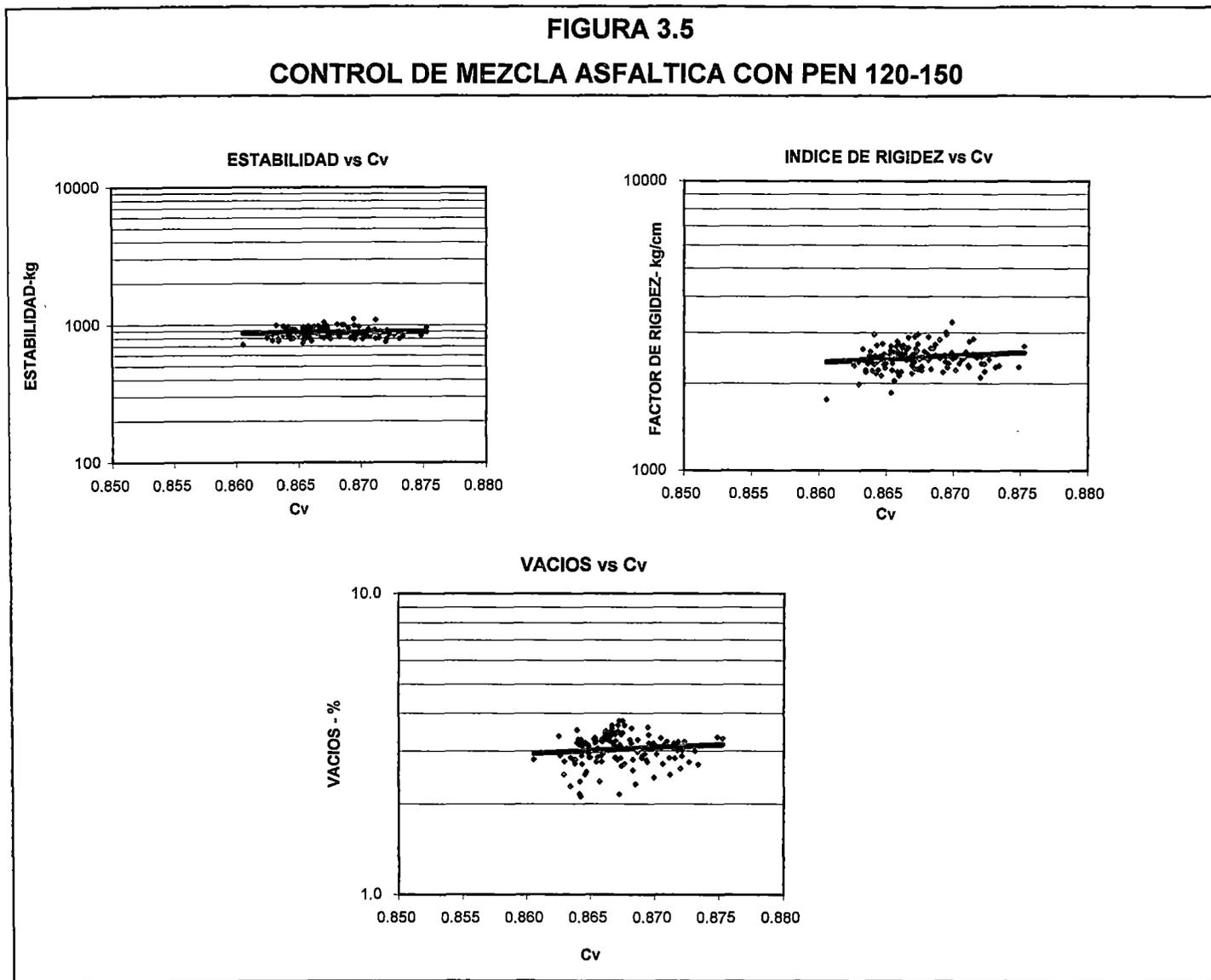
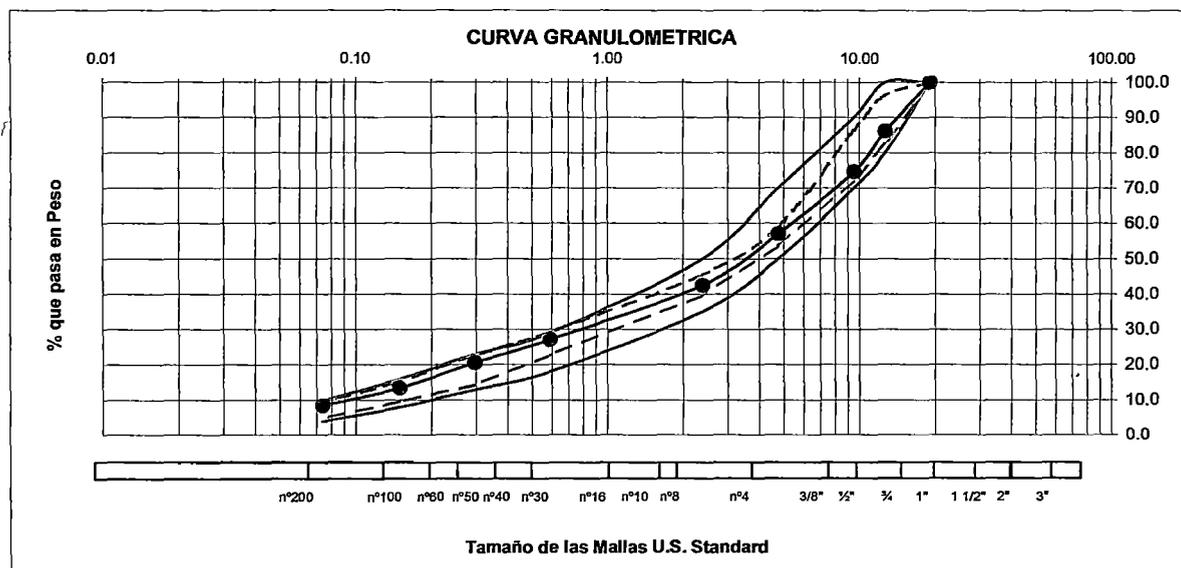


FIGURA 3.6
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS
DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO ASFALTICO 120-150

Tamiz	Abertura mm.	Acum.Pasa (%)				
		CURVA DISEÑO	HUSO TRABAJO		ESPECIFICACION	
			MIN	MAX	MIN	MAX
1"	25.4					
3/4"	19.05	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.7	86.1	82.40	96.30	80.00	100.00
3/8"	9.525	74.6	72.10	86.40	70.00	90.00
N 4	4.76	57.0	53.60	59.00	50.00	70.00
N 8	2.38	42.5	39.60	45.50	35.00	50.00
N 10	2.00					
N 16	1.19					
N 30	0.59	27.1	22.80	29.30	18.00	29.00
N 40	0.426					
N 50	0.297	20.6	14.30	22.70	13.00	23.00
N 80	0.177					
N 100	0.149	13.4	9.60	15.30	8.00	16.00
N 200	0.074	8.4	4.80	9.30	4.00	10.00
< N 200						



LEYENDA	
---	HUSO DE TRABAJO
—●—	CURVA DE DISEÑO
—	ESPECIFICACION

**CUADRO 3.7
ESPECIFICACIONES PARA LOS AGREGADOS GRUESOS**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		< 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	12% máx	10% máx
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx	15% máx
Abrasión	MTC E 207	40% máx	35% máx
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	10% máx	10% máx
Caras Fracturadas	MTC E 210	Ver Cuadro 3.8	
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx
Absorción	MTC E 206	1.0% máx	Según Diseño
Adherencia	MTC E 519	+95	+95

**CUADRO 3.8
REQUERIMIENTOS PARA CARAS FRACTURADAS**

Tráfico en Ejes Equivalentes (millones)	Espesor de Capa	
	< 100 mm	> 100 mm
<= 3	65/40	50/30
> 3 - 30	85/50	60/40
> 30	100/80	90/70

Nota: La notación "85/80" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 80% tiene dos caras fracturadas

3.3.1.2. Agregados Minerales Finos

Estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados.

**CUADRO 3.9
ESPECIFICACIONES PARA LOS AGREGADOS FINOS**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	Ver Cuadro 3.10	
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín	6% mín
Indice de Plasticidad N°200	MTC E 111	Máx 4	NP
Indice de Plasticidad N°40	MTC E 111	NP	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx
Absorción	MTC E 205	0.5% máx	Según Diseño

**CUADRO 3.10
REQUERIMIENTOS DEL EQUIVALENTE DE ARENA**

Tráfico en Ejes Equivalentes (millones)	Porcentaje de Arena (mínimo)
<= 3	45
> 3 - 30	50
> 30	55

3.3.1.3 Gradación

La gradación de los agregados pétreos será establecida en el Proyecto o por el Supervisor. Además de los requisitos de calidad que deben tener el agregado grueso y fino, según lo establecido anteriormente, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas dezlenables según ensayo MTC E212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

**CUADRO 3.11
GRADACIONES DE LA MEZCLA ASFALTICA NORMAL (MAC)**

Tamiz	Porcentaje que Pasa		
	MAC 1	MAC 2	MAC 3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12.5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9.50 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4.75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2.00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 um (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 um (N° 80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 um (N° 200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

3.3.1.4 Filler o Relleno Mineral

El filler o relleno de origen mineral y/o comercial, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, no plástica que deberá cumplir la norma AASHTO M-303. De no ser cal, podrá utilizarse cemento hidráulico Tipo I o polvo calcáreo procedente de trituración de rocas. Deberá cumplir la siguiente granulometría:

**CUADRO 3.12
GRANULOMETRIA DEL FILLER O RELLENO MINERAL**

Malla	%Retenido
600 um (N° 30)	3%
75 um (N° 200)	20%

3.3.1.5 Cemento Asfáltico

Debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a temperatura de 175°C. Deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en los Cuadros 3.13 y 3.14.

**CUADRO 3.13
ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR SU PENETRACION**

Características	Ensayo	Grado de Penetración							
		40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g. 5 s. 0.1 mm.	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-	232	-	232	-	218	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % en masa.	MTC E 302	99	-	99	-	99	-	99	-
Susceptibilidad Térmica Ensayo de Película Delgada en Horno, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs.	MTC E 316								
* Pérdida en masa, %		-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.5
* Penetración del residuo, % de la penetración original	MTC E 304	55	-	52	-	47	-	42	-
cm	MTC E 306	-	-	50	-	75	-	100	-
Indice de Susceptibilidad Térmica		-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano Xileno 20% (opcional)	MTC E 314	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

**CUADRO 3.14
ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD**

Características	Ensayo	Grado de Viscosidad			
		AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta 60°C, Pa.s (poises)	MTC E 308	50+/-5 (500+/-100)	100+/-20 (1000+/-200)	200+/-40 (2000+/-400)	400+/-80 (4000+/-800)
Viscosidad Cinemática, 135°C mm 2/s, mínimo	MTC E 301	100	150	210	300
Penetración 25°C, 100 g. 5 s. mínimo	MTC E 304	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C, mínimo	MTC E 303	177	219	232	232
Solubilidad en Tricloroetileno, % en masa, mínimo	MTC E 302	99	99	99	99
Susceptibilidad Térmica Ensayo de Película Delgada en Horno	MTC E 316				
* Viscosidad Absoluta 60°C, Pa.s (poises) máximo	MTC E 304	200 (2000)	400 (4000)	800 (8000)	1600 (16000)
* Ductilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm, mínimo	MTC E 306	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano-Xileno 20% (opcional)	MTC E 314	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la adición de activantes, rejuvenecedores, polímeros, asfaltos naturales o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. Su empleo será según las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía, tal como lo indica el siguiente cuadro:

**CUADRO 3.15
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO SEGUN PENETRACION**

Ejes Equivalentes 80 KN	Temperatura Media Anual		
	24°C o más	15 - 24°C	15°C o menos
5 x 10 ⁸ o más	40 - 50 o 60 - 70	60 - 70	85 - 100 o 120 -150
0.5 x 10 ⁸ a 5 x 10 ⁸	40 - 50 o 60 - 70	60 - 70 o 85 -100	85 - 100 o 120 -150
Menos de 0.5 x 10 ⁸	40 - 50 o 60 - 70	60 - 70 o 85 -100	85 - 100 o 120 -150

3.3.1.6 Aditivos Mejoradores de Adherencia

En caso de que los requisitos de adhesividad no sean satisfechos, no se permitirá el empleo del agregado salvo que se incorpore un producto mejorador de adherencia de calidad reconocida, en una proporción que deberá ser aprobada por el Supervisor y que garantice el grado de afinidad requerido entre el par asfalto-agregado, según el tratamiento o mezcla que se irá a ejecutar. Se podrán emplear:

- Aditivos producidos comercialmente, líquidos estables ante el incremento de temperatura
- Cemento Tipo Portland (AASHTO M85) o cenizas (fly ash) (AASHTO M295)
- Cal (AASHTO M216)

3.3.1.7 Mezcla Asfáltica

Las características de calidad de la mezcla asfáltica deberán estar de acuerdo con las exigencias que se indica en los siguientes Cuadros, según

corresponda al tipo de mezcla que se produzca de acuerdo al diseño del proyecto y lo indicado por el Supervisor.

**CUADRO 3.16
ESPECIFICACIONES PARA MEZCLA ASFALTICA**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall (MTC E 504)			
1. Estabilidad (mín)	8 KN (815 kg)	5.34 KN (544 kg)	4.45 KN (453 kg)
2. Flujo 0.25 mm	8 – 14	8 – 16	8 – 20
3. Porcentaje de Vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 – 5	3 – 5	3 – 5
4. Vacíos en el Agregado Mineral	Ver Cuadro 3.17		
5. Compactación, núm. De golpes en cada capa de testigo	75	50	50
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la Compresión Mpa (mín)	2.1	1.7	1.4
2. Resistencia Retenida % (mín)	70	70	70
Resistencia Conservada en la Prueba de Tracción Indirecta (mín) (MTC E 521)	70	70	70
Relación Polvo - Asfalto	0.6 - 1.3	0.6 - 1.3	0.6 - 1.3
Relación Est/Flujo (2)	1700 - 2500		

- (1) A la fecha (1999) se tiene tramos efectuados en el Perú que tienen el límite inferior de 2% con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de lo 3000 msnm que se recomienda en estos casos.
- (2) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est/Flujo sea de la menor magnitud posible tendiéndose hacia el límite inferior.

**CUADRO 3.17
Vacíos Mínimos en el Agregado Mineral (VMA)**

Tamiz	VMA %
2.36 mm (N°8)	21
4.75 mm (N°4)	18
9.50 mm (3/8")	16
12.5 mm (1/2")	15
19.0 mm (3/4")	14
25.0 mm (1")	13
37.5 mm (1 1/2")	12
50.0 mm (2")	11.5

Nota: Los valores de esta Tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas

El Índice de Compactibilidad mínimo será 5 y se define como:

GEB50 – GEB5

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

3.3.2 Especiales: Proyecto Yura – Patahuasi / Arequipa, Tramo I

3.3.2.1 Agregados Minerales Gruesos

Loa agregados gruesos cumplen con los siguientes requisitos:

**CUADRO 3.18
ESPECIFICACIONES PARA LOS AGREGADOS GRUESOS**

Ensayos	Norma	Especificaciones Técnicas	
Durabilidad	MTC E 209	Máximo	12%
Abrasión	MTC E 207	Máximo	50%
Caras Fracturadas	MTC E 210	Mínimo	50%
Absorción	MTC E 206	Máximo	1%
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	Máximo	15%
Adherencia	MTC E 519	Mínimo	95%

3.3.2.2 Agregados Minerales Finos

Los agregados finos cumplen con los siguientes requisitos:

**CUADRO 3.19
ESPECIFICACIONES PARA LOS AGREGADOS FINOS**

Ensayos	Norma	Especificaciones Técnicas	
Durabilidad	MTC E 209	Máximo	12%
Equivalente de Arena	MTC E 114	Mínimo	40%
Absorción	MTC E 205	Máximo	1%
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	Mínimo	4

3.3.2.3 Gradación

La granulometría de la mezcla es la que cumpla con la IV-B, según lo especifica el proyecto.

**CUADRO 3.20
ESPECIFICACION GRANULOMETRICA**

Tamiz		Porcentaje que Pasa
19.0 mm	(3/4")	100
12.5 mm	(1/2")	80 - 100
9.50 mm	(3/8")	70 - 90
4.75 mm	(N° 4)	50 - 70
2.38 mm	(N° 8)	35 - 50
0.59 mm	(N° 30)	18 - 29
297 um	(N° 50)	13 - 23
149 um	(N° 100)	8 - 16
75 um	(N° 200)	4 - 10

3.3.2.4 Filler o Polvo Mineral

Para el presente proyecto se consideró utilizar como relleno mineral la Cal Hidratada (M 216), y las características que tiene que cumplir son las que a continuación se detallan:

**CUADRO 3.21
GRANULOMETRIA DEL FILLER O RELLENO MINERAL**

Malla	% Que Pasa
600 um (N° 30)	100
177 um (N° 80)	95 - 100
75 um (N° 200)	65 - 100

**CUADRO 3.22
COMPOSICION DEL FILLER O RELLENO MINERAL**

Composición	Especificación
Insoluble	Máximo 2%
Oxido de Magnesio	Máximo 5%
Anhidrido Carbónico	Máximo 15%
SiO ₂ /CaO + R ₂ O ₃ /MgO	0.10%

3.3.2.5 Cemento Asfáltico

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la mezcla, el cemento asfáltico corresponde al del grado de penetración 120-150 que es recomendado para zonas que se encuentran con temperaturas frías, mínimas por debajo de los 7°C y alturas por sobre los 3500 msnm.

**CUADRO 3.23
ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO**

Características	Ensayo	CEMENTO 120 - 150	
		Min.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g. 5 s. 0.1 mm.	MTC E 304	120	150
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % en masa.	MTC E 302	99	-
Viscosidad Furol, 135°C, seg		140	-

3.3.2.6 Aditivo Mejorador de Adherencia

La adición de este aditivo está orientado a mejorar las condiciones de adherencia y desprendimiento de los agregados en las mezclas asfálticas debidamente sustentados, la elección del tipo de aditivo es el que mejor resultados proporcionó durante los ensayos.

3.3.2.7 Mezcla Asfáltica

De acuerdo a los documentos contractuales y en concordancia con el expediente técnico, se determinó que las propiedades de la mezcla asfáltica para esta obra tiene que cumplir las siguientes exigencias:

CUADRO 3.24
ESPECIFICACIONES PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Parámetros de Diseño	Especificación
1. Estabilidad (mín)	700 kg
2. Flujo (en pulgadas por 10 ⁻²) (en mm)	8 – 16 x 0.01" 2 - 4 mm
3. Porcentaje de Vacíos con aire	3 – 5%
4. Vacíos en el Agregado Mineral VMA (máx)	16%
5. Vacíos llenos de asfalto VCA	75 - 85%
6. Índice de Compactibilidad (mín)	5
7. Estabilidad Retenida (mín)	75%
8. Factor de Rigidez	1700 - 3000 kg/cm

3.3.3 Especificaciones Superpave

El SHRP (Strategic Highway Research Program) en 1987 comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificación de materiales asfálticos conocido como SUPERPAVE (Superior PERforming Asphalt PAVement), sistema de especificación más avanzado de los materiales componentes, diseño de mezclas y análisis, predicción de la performance de los pavimentos incluyendo equipos de ensayo, métodos y criterios.

3.3.3.1 Agregado Mineral

El agregado mineral juega un rol clave en la performance de la mezcla asfáltica en caliente. Si bien no se ha desarrollado un nuevo procedimiento para ensayar agregados, se refinaron los procedimientos existentes, considerando dos tipos de propiedades: propiedades de consenso y propiedades de origen del agregado.

Las propiedades de consenso, consideradas críticas para alcanzar una elevada performance de la mezcla, dependiendo de los niveles de tránsito y

la ubicación dentro de la estructura del pavimento. Altos niveles de tránsito y mezcla para carpeta de rodadura, requieren valores más estrictos. Los requerimientos de superpave para las propiedades de consenso se presentan en los siguientes cuadros:

**CUADRO 3.25
ANGULARIDAD DEL AGREGADO GRUESO**

Tránsito ESALs en 10 ⁶	Profundidad desde la superficie	
	< 100 mm	> 100 mm
< 0.3	55/-	-/-
< 1	65/-	-/-
< 3	75/-	50/-
< 10	85/80	60/-
< 30	98/90	80/75
< 100	100/100	95/90
> = 100	100/100	100/100

Nota: "85/80" significa que 85% del agregado grueso tiene una sola cara fracturada y 80% tiene dos caras fracturadas

**CUADRO 3.26
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO**

Tránsito ESALs en 10 ⁶	Profundidad desde la superficie	
	< 100 mm	> 100 mm
< 0.3	-	-
< 1	40	-
< 3	40	40
< 10	45	40
< 30	45	40
< 100	45	45
> = 100	45	45

Nota: los valores se presentan como porcentaje de vacíos de aire en el agregado fino ligeramente compactado

entre los puntos de control evitando la zona restringida, usada para evitar mezclas con alta proporción de arenas finas en relación al total de arena y evitar graduaciones que sigan la línea del exponente 0.45, la cuales carecen de una adecuada cantidad de vacíos del agregado mineral (VAM)

En muchos casos la zona restringida exigirá el uso de arenas limpias procesadas, asegurando un esqueleto granular fuerte para mejorar la resistencia a la deformación permanente y un suficiente volumen de vacíos para garantizar la durabilidad de la mezcla. En las Figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11 se muestran los requerimientos superpave para la granulometría de la mezcla asfáltica según el tamaño nominal del agregado.

3.3.3.3 Cemento Asfáltico

Esta nueva especificación para los ligantes asfálticos con la realización de nuevos ensayos, pretende ser aplicado tanto para asfaltos modificados como para asfaltos convencionales. Se basa en el desempeño (performance) y especifica ligantes en base al clima y la temperatura prevista en el pavimento. Las propiedades físicas exigidas se mantienen sin cambios, pero cambia la temperatura para la cual el ligante debe cumplir esas propiedades. Es decir, para una alta temperatura dada el stiffness de un ligante sin envejecer ($G^*/\text{sen}\delta$) debe ser al menos de 1.00 Kpa, pero debe cumplirse a mayor temperatura si el ligante se usa en climas cálidos.

El grado de performance (PG) de un ligante se denomina con dos números. El primer número es normalmente llamado “grado de alta temperatura” (high temperature grade), lo que significa que el ligante poseería propiedades físicas adecuadas al menos hasta esa temperatura (alta temperatura correspondiente al clima en el que el ligante estará en servicio). El segundo número llamado “grado de baja temperatura” (low temperature grade), significa que el ligante poseería propiedades físicas adecuadas hasta

TAMAÑO NOMINAL 9.5 MM

Tamiz, mm	Puntos de control	Zona restringida	
		mínimo	máximo
12.5			
9.5	90		
4.75			
2.36	32	47.2	47.2
1.18		31.6	37.6
.600		23.5	27.5
.300		18.7	18.7
.150			
.075	2		

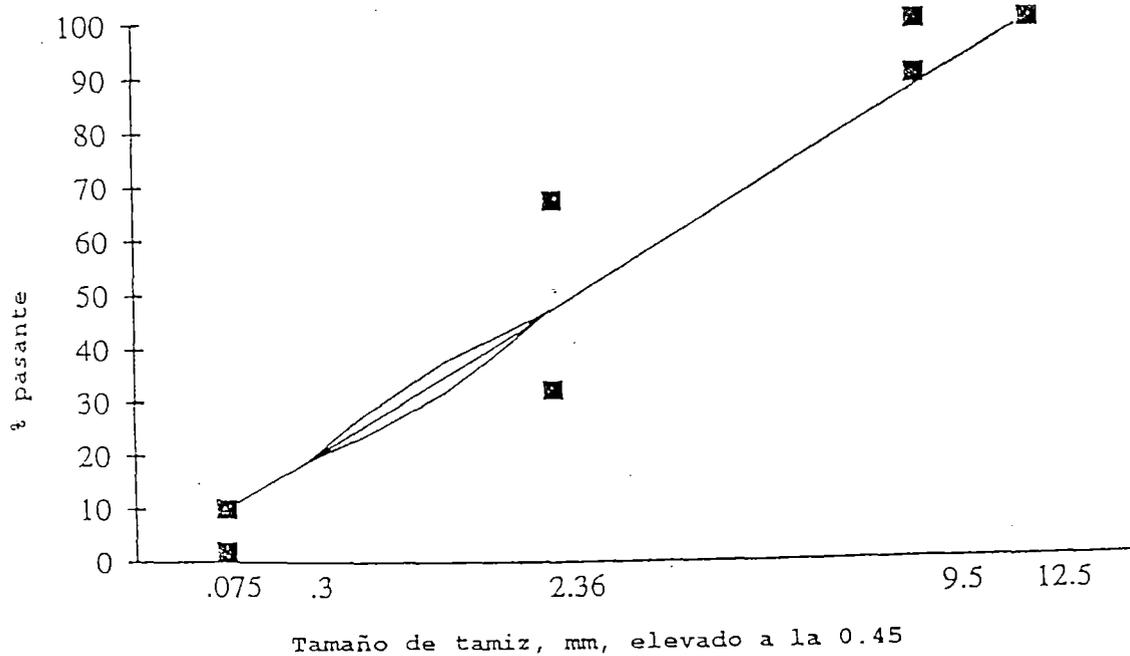


FIGURA 3.7

TAMAÑO NOMINAL 12.5 mm

Tamiz, mm	Puntos de control	Zona restringida	
		mínimo	máximo
19			
12.5	90		
9.5			
4.75			
2.36	28	39.1	39.1
1.18		25.6	31.6
.600		19.1	23.1
.300		15.5	15.5
.150			
.075	2		

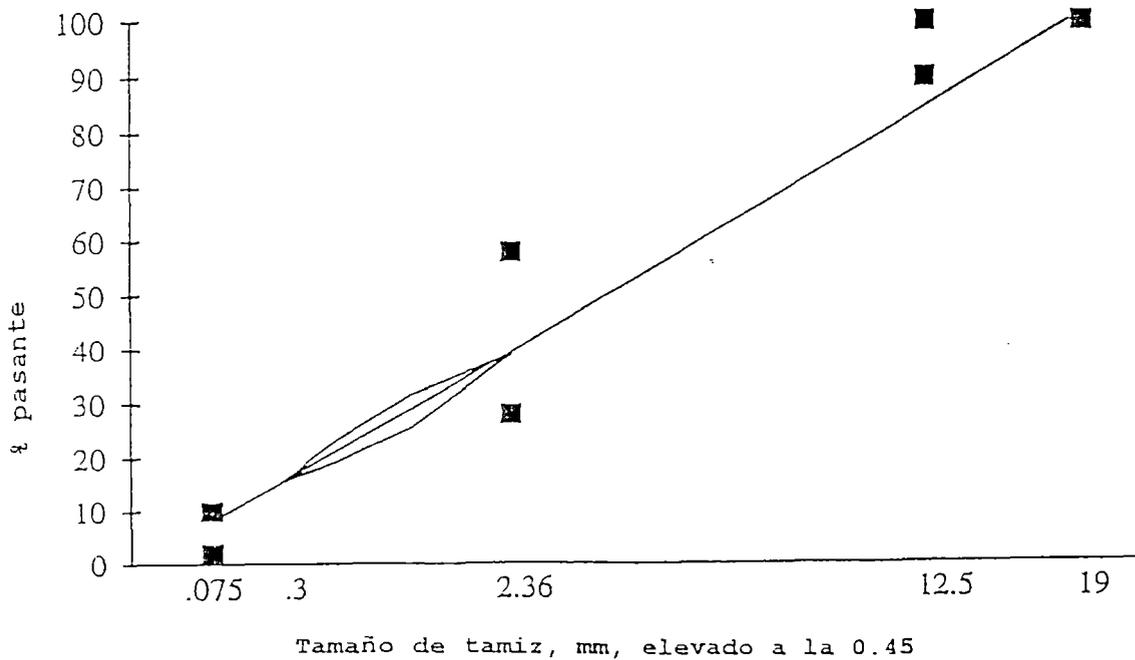


FIGURA 3.8

TAMAÑO-NOMINAL 19 mm

Tamiz, mm	Puntos de control	Zona restringida	
		mínimo	máximo
25			
19	90		
12.5			
9.5			
4.75			
2.36	23	49	34.6
1.18			22.3
.600			16.7
.300			13.7
.150			
.075	2	8	

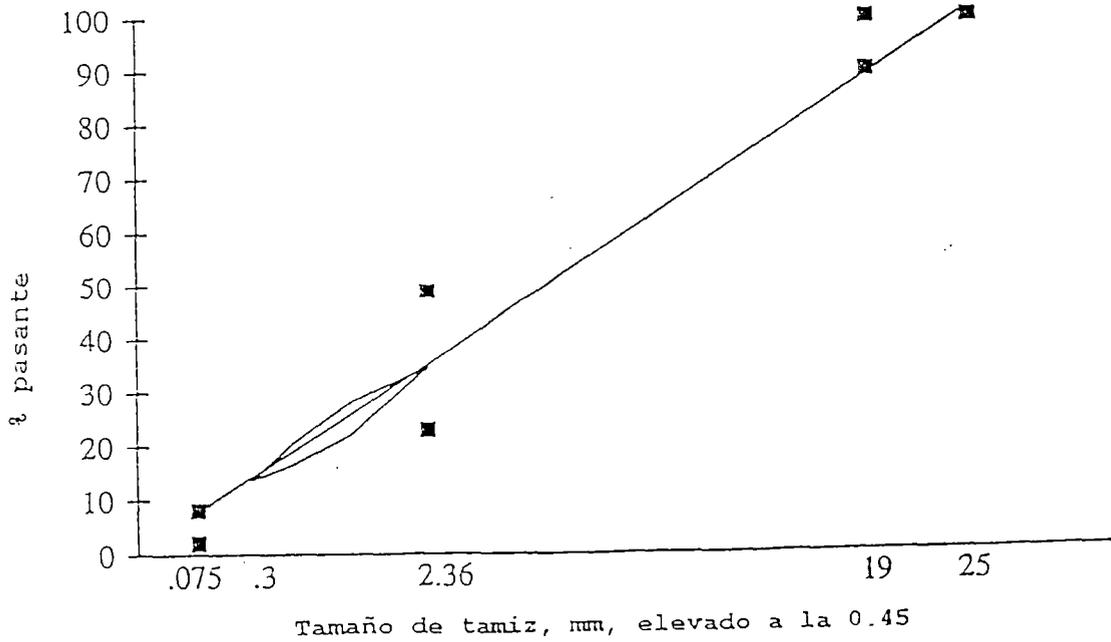


FIGURA 3.9

TAMAÑO NOMINAL 25 mm

Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			mínimo	máximo
37.5		100		
25	90	100		
19				
12.5				
9.5				
4.75			39.5	39.5
2.36	19	45	26.8	30.8
1.18			18.1	24.1
.600			13.6	17.6
.300			11.4	11.4
.150				
.075	1	7		

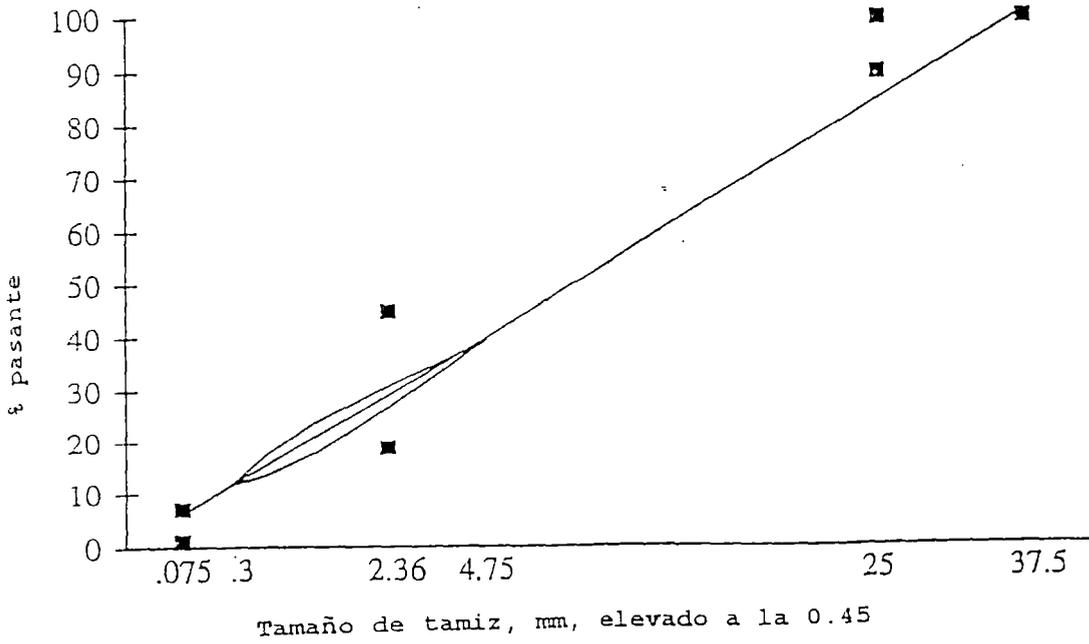


FIGURA 3.10

TAMAÑO NOMINAL 37.5 mm

Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			mínimo	máximo
50		100		
37.5	90	100		
25				
19				
12.5				
9.5				
4.75			34.7	34.7
2.36	15	41	23.3	27.3
1.18			15.5	21.5
.600			11.7	15.7
.300			10	10
.150				
.075	0	6		

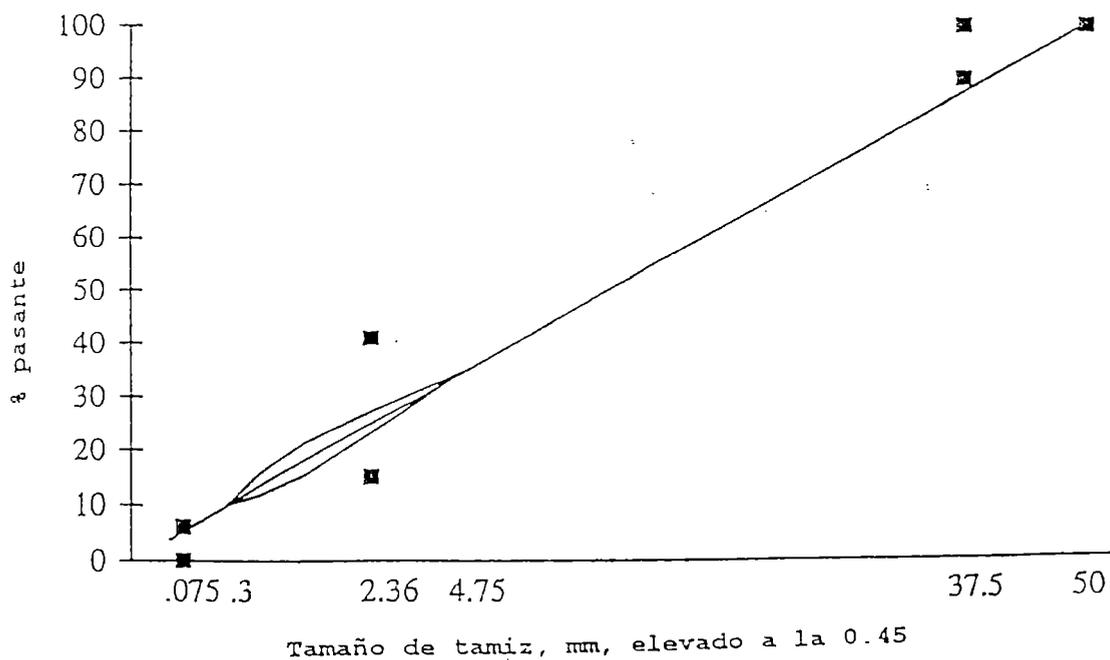


FIGURA 3.11

al menos ese valor de temperatura. La especificación superpave de los ligantes asfálticos se muestra en el Cuadro 3.29.

3.3.3.4 Mezclas Asfálticas

Los requerimientos del diseño de mezclas asfálticas de superpave son. Requerimientos volumétricos de la mezcla, proporción de polvo y susceptibilidad a la humedad.

**CUADRO 3.30
REQUERIMIENTOS DE SUPERPAVE PARA EL VAM**

Tamaño máximo nominal del agregado	Mínimo % de VAM (vacíos en el agregado mineral)
9.5 mm	15.0
12.5 mm	14.0
19 mm	13.0
25 mm	12.0
37.5 mm	11.0

**CUADRO 3.31
REQUERIMIENTOS DE SUPERPAVE PARA EL VFA**

Tránsito ESALs	VFA (vacíos llenos de asfalto)
$< 3 \times 10^5$	70-80
$< 1 \times 10^6$	65-78
$< 3 \times 10^6$	65-78
$< 1 \times 10^7$	65-75
$< 3 \times 10^7$	65-75
$< 1 \times 10^8$	65-75
$> 3 \times 10^8$	65-75

Una proporción de polvo aceptable está en un rango de 0.6 a 1.2, para todas las mezclas.

**CUADRO 3.29
ESPECIFICACION SUPERPAVE DE LIGANTES ASFALTICOS (GRADO DE PERFORMANCE)**

Grado de Performance	PG 52						PG 52						PG 52						PG 52			
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	
Temperatura de diseño del pavimento prom. 7 días máximo, °C (a)	< 52						< 58						< 64						< 70			
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C (a)	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -46	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	
Ligante Original																						
Temp. del Punto de Inflamación, T48: mín. °C	230																					
Viscosidad, ASTM 4402: máx. 3 Pa (3000cP) Temp. Ensayo, °C (b)	135																					
Corte Dinámico, TP5: G°/senδ, mín.1.00 Kpa Temp. ensayo @ 10rad/s, °C	52						58						64						70			
Residuo del ensayo de Película Delgada Rotatoria (T240) o Película Degradada (T179)																						
Pérdida en Masa, máx. %	1.00																					
Corte Dinámico, TP5: G°/senδ, mín.2.20 Kpa Temp. ensayo @ 10rad/s, °C (c)	52						58						64						70			
Residuo de la Vasija de Envejecimiento a Presión (PAV)																						
Temp. de envejecimiento PAV, °C (d)	90						100						100						100 (110)			
Corte Dinámico, TP5: G°/senδ, máx. 5000 Kpa Temp. ensayo @ 10rad/s, °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25	
Endurecimiento Físico (c)	Reporte																					
Creep Stiffness, TP1: S. máx. 300 Mpa Valor m, mín. 0.300 Temp. ensayo @ 60 seg, °C (e)	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	
Tracción Directa, TP3: Deformación en la falla, mín. 1.0% Temp. ensayo @ 1.0 mm/min, °C (f)	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	

Notas:

- La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire utilizando un algoritmo del software de Superpave o podría ser provista por la agencia, o siguiendo el procedimiento que se detalla en PPX.
- Este requerimiento puede obviarse a criterio del responsable si el proveedor garantiza que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperatura que cumplan con las normas de seguridad.
- Para control de calidad de la producción de un cemento asfáltico no modificado, las mediciones de la viscosidad del cemento asfáltico original pueden sustituir a las mediciones de corte dinámico G°/senδ a las temperaturas de ensayo para las cuales el asfalto es un fluido newtoniano. Cualquier adecuado medio standard de medición de la viscosidad puede usarse, incluyendo capilaridad o viscosímetro rotacional (AASHTO T201 ó T202).
- La temperatura de envejecimiento PAV se basa en la simulación de las condiciones del clima y puede ser 90°C, 100°C ó 110°C. La temperatura de envejecimiento del PAV es de 100°C para PG 58 y superiores, excepto en climas desérticos, donde es de 110°C.
- El endurecimiento físico TP1 es ejecutado sobre un conjunto de vigas de asfalto, con la excepción de que el tiempo de acondicionamiento se extiende a 24 horas +/- 10 minutos a 10°C por encima de la temperatura mínima de performance. El stiffness a las 24 horas y el valor m son registrados sólo como información.
- Si el stiffness de creep es menor de 300 Mpa, el ensayo de tracción directa no es necesario. Si el stiffness de creep está entre 300 y 600 Mpa el requerimiento de la falla por deformación a tracción directa puede ser usado en lugar del requerimiento del stiffness en creep. El valor m exigido debe satisfacer en ambos casos.

Proporción de polvo = Agregado más fino que el tamiz 0.075 (% en peso)

Contenido de asfalto efectivo (% en peso de la mezcla)

El ensayo de susceptibilidad a la humedad empleado para evaluar una mezcla asfáltica en caliente al desprendimiento es la Norma AASHTO T283 “Resistance of compacted bituminous mixtures to moisture induced damage” (Resistencia de las mezclas bituminosas al daño inducido por humedad).

**CUADRO 3.32
PARAMETROS DE ENSAYO PARA LA NORMA AASHTO T283**

Parámetros de Ensayo	Exigencias de los Ensayos
Envejecimiento a corto plazo	Mezcla suelta (1): 16 horas a 60°C Mezcla compactada: 72-96 horas a 25°C
Vacios de aire de los especímenes compactados	6 a 8%
Agrupamiento de muestras	Los promedios de los valores de aire de los 2 subgrupos deberían ser iguales
Saturación	55 a 80%
Determinación del hinchamiento	Ninguno
Congelamiento	Mínimo 16 horas a -18°C (opcional)
Inmersión en agua caliente	24 horas a 60°C
Propiedades de resistencia	Resistencia a tracción indirecta
Velocidad de carga	51 mm/min a 25°C
Precisión establecida	Ninguna
(1) El protocolo de envejecimiento a corto plazo de AASHTO T283 no coincide con el protocolo de envejecimiento a corto plazo de Superpave. Se sugiere emplear el procedimiento T283 de 16 horas a 60°C.	

La relación de resistencia a la tracción o TSR (tensile strength ratio), es la relación entre la resistencia a la tracción del subgrupo acondicionado y la resistencia a la tracción del subgrupo sin acondicionamiento, el cual superpave exige un mínimo del 80%.

CAPITULO 4 EVALUACION DE AGREGADOS

EVALUACION DE AGREGADOS

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Las propiedades y el comportamiento de las mezclas asfálticas, depende de las proporciones en que entran a formar parte sus componentes, así como de las propiedades individuales de cada uno de ellos debido a que el agregado conforma el 90 a 95% en peso de la mezcla de pavimentación, el cual hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en su comportamiento. Con el conocimiento y valoración de las propiedades de estos materiales es posible proyectar la mezcla más adecuada, pero además se aplican otros criterios en cuanto a la selección, como el costo y la disponibilidad del agregado.

Las partículas de los agregados forman dentro de la mezcla compactada un esqueleto mineral, discontinuo, de naturaleza sólida, cuya principal característica será la resistencia mecánica, debida a las partículas y al rozamiento de éstas dentro del esqueleto mineral. Con el transcurrir del tiempo, las tensiones producidas por el tráfico afectarán la resistencia mecánica y la acción de los agentes atmosféricos tendrán una acción destructiva en la mezcla, dependiendo de su cohesión y de la afinidad del agregado-ligante asfáltico.

Las cualidades de los agregados que debemos tener en cuenta para estimar su calidad como componentes de las mezclas asfálticas son las siguientes:

- Resistencia a la compresión y choque (calidad mecánica de las partículas del esqueleto mineral ante los efectos del tráfico).
- Granulometría y forma de las partículas (influencia en el rozamiento interno del esqueleto mineral y en su resistencia mecánica).
- Textura superficial de los granos (influencia en el rozamiento interno y en la resistencia al pulimento del agregado, por formar parte de la carpeta de rodadura y estar en contacto con los neumáticos).

- Naturaleza mineralógica (influencia en la resistencia a los agentes atmosféricos y la adhesividad del ligante).
- Su compacidad (influencia en la absorción de agua y de ligante asfáltico).
- Actividad superficial de las partículas respecto al ligante asfáltico y el agua (influencia en el comportamiento de la mezcla).

Puede establecerse que las cualidades mecánicas junto con la forma y textura de los granos son cualidades preponderantes en las partículas de mayor tamaño (agregado grueso), y que por lo contrario en las más pequeñas, tiene una mayor importancia las relaciones con la naturaleza mineralógica de la superficie y la textura superficial en cuanto a absorción. Las partículas más finas, filler natural o artificial, por la enorme superficie que presenta, hay que considerarlo de forma singular atendiendo a su finura y a su actividad superficial respecto al ligante asfáltico y al agua.

4.2 ORIGEN DE LAS ROCAS

Los agregados usados en la construcción de carreteras se obtienen del abastecimiento de rocas naturales locales. Las rocas son clasificadas geológicamente en tres grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. A continuación se describe cada una de ellas, detallando posteriormente las características de las rocas ígneas, origen (roca madre) de los agregados en estudio.

4.2.1 Rocas Igneas

Las rocas ígneas comprenden el 95% de los 15 kilómetros superiores de la corteza terrestre. Están formadas por el enfriamiento y solidificación del material caliente fundido (magma) despedido por erupción desde el interior de la corteza terrestre o que ha quedado atrapado dentro de ella. Se dividen en rocas extrusivas e intrusivas.

Las rocas extrusivas fueron formadas por la eclosión y posterior deposición de materiales sobre la superficie de la tierra, tales como la producida por la acción

volcánica, y se distinguen en general por su estructura vidriosa (riolita, andesita, basalto, etc.). Las rocas intrusivas fueron formadas por el enfriamiento y solidificación a grandes profundidades dentro de la corteza terrestre, son de textura totalmente cristalina (granito, diorita, gabro, etc.). Aunque originalmente fueron formadas dentro de la corteza terrestre, están frecuentemente expuestas a movimientos terrestres y a erosión.

4.2.2 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se han formado por la acumulación de sedimentos en el agua o depositados por el viento. El sedimento puede estar constituido por rocas y fragmentos o partículas minerales de varios tamaños (conglomerado, arenisca, pizarra); de restos o de productos animales o plantas (ciertas piedras calizas o hulla); del producto de la acción química o de la evaporación (sal, yeso); o de mezclas de estos materiales.

Algunos depósitos sedimentarios están constituidos por partículas despedidas por volcanes y depositadas en la tierra o en el agua. Un aspecto característico de depósitos sedimentarios es el de tener una estructura en capas. Esta estratificación es el resultado directo del sistema de formación; la deposición del material en el lecho del mar o un lago.

4.2.3 Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas están por lo general formadas por la modificación de rocas sedimentarias e ígneas como resultado de presiones intensas debidas a movimientos terrestres y por calor excesivo o disoluciones. Los factores que causan tal modificación son complejos y la forma original de la roca alterada es difícil de determinar.

Un aspecto distintivo de las rocas metamórficas es el de tener sus caras paralelas en las cuales se disponen los minerales que forman la roca. Esta disposición se denomina esfoliación. Estos planos constituyen zonas de debilidad a lo largo de las cuales las rocas pueden ser partidas mucho más fácilmente que en otras direcciones. Entre ellos tenemos los gneiss y los esquistos (material ígneo alterado) y la pizarra (procedente de la lutita alterada). El mármol (piedra caliza alterada) y la cuarcita (procedente de la arenisca) son tipos comunes de rocas metamórficas de textura masiva, por lo común sin esfoliación.

Por ello dentro de cada grupo petrográfico se puede encontrar una amplia variedad de materiales que pueden dar lugar a agregados de buena o mala calidad. En el Cuadro 4.1 se muestra las propiedades de los diferentes tipos de rocas que pueden ser utilizados en mezclas asfálticas.

4.3 CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS

Las propiedades de los agregados dependen primordialmente de la naturaleza mineralógica de la roca de donde proceden y también del proceso de obtención. La presencia de determinadas especies minerales permiten realizar la clasificación de los agregados dentro de un determinado tipo de rocas, los cuales no son suficientes, ya que no sólo dependen de su presencia, sino de la forma como están presentes. En el Cuadro 4.2 se muestra la clasificación mineralógica de las principales rocas ígneas.

4.3.1 Color

El color constituye la característica más fácilmente apreciable que puede observarse, refleja en gran medida la composición mineralógica de la roca. En general, las rocas más densas presentan tonos oscuros, mientras que las más ligeras son de color claro.

**CUADRO 4.1
PROPIEDADES DE ROCAS UTILIZADOS
EN MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE**

TIPO DE ROCA	Dureza Tenacidad	Resistencia al Desprendimiento *	Textura Superficial	Forma Fracturada
IGNEA				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Bueno	Regular	Regular	Regular
Diorita	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Basalto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
SEDIMENTARIA				
Caliza, Dolomia	Pobre	Bueno	Bueno	Regular
Arenisca	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Chert	Bueno	Regular	Pobre	Bueno
Lutita	Pobre	Pobre	Regular	Regular
METAMORFICA				
Gneiss	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Esquisto	Regular	Regular	Bueno	Regular
Pizarra	Bueno	Regular	Regular	Regular
Cuarcita	Bueno	Regular	Bueno	Bueno
Mármol	Pobre	Bueno	Regular	Regular
Serpentina **	Bueno	Regular	Regular	Regular

* Agregados hidrofílicos, tienden a separar más fácilmente las películas de asfalto

** Es un mineral que se forma por las rocas ultrabásicas

**CUADRO 4.2
CLASIFICACION MINERALOGICA DE LAS
PRINCIPALES ROCAS IGNEAS**

	ORTOCLASA > PLAGIOCLASA SODICA	PLAGIOCLASA SODICA > ORTOCLASA	PLAGIOCLASA SODICA PREDOMINANTE	
CUARZO ESENCIAL F.M. BIOTITA U HORBLENDA O AMBOS	<i>Riolita</i> Pórfido cuarcífero GRANITO	<i>Riodacita</i> Pórfido Granodiorítico GRANODIORITA	<i>Dacita</i> Porfirina Cuarcífera DIORITA CUARCIFERA	
	ORTOCLASA PREDOMINANTE	ORTOCLASA Y PLAGIOCLASA APROXIMADAMENTE EN IGUAL CANTIDAD	PLAGIOCLASA SODICA PREDOMINANTE	SIN FELDESPATO
CON POCO O SIN CUARZO F.M. HORBLENDA Y/O BIOTITA Y/O AUGITA	<i>Traquita</i> Pórfido SIENITA	<i>Traquiandesita</i> Pórfido - Monzonita MONZONITA	<i>Andesita</i> Porfirita DIORITA	 HORBLENDITA
			PLAGIOCLASA CALCICA PREDOMINANTE	SIN FELDESPATO
CON POCO O SIN CUARZO F.M., AUGITA Y MINERAL DE HIERRO			<i>Basalto</i> Dolerita o Diabasa GABRO	 PIROXENITA
SIN CUARZO F.M., AUGITA OLIVINO Y MINERAL DE HIERRO			<i>Basalto Olivínico</i> Dolerita o Diabasa olivínica GABRO OLIVINICO	 PERIDOTITA

Tipo de rocas volcánicas o de grano muy fino

Tipo de rocas hipabisales o de grano fino

TIPOS DE ROCAS PLUTONICAS O DE GRANO GRUESO

4.3.2 Forma de las Partículas

La forma de las partículas afecta la trabajabilidad de la mezcla durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar a la densidad requerida; además afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida. Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten al desplazamiento (movimiento) en el pavimento debido a que tienden a trabarse cuando son compactadas. Las partículas gruesas del agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen de piedra o grava triturada; por el contrario las partículas finas, suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen de arenas naturales.

Se denominará “acicular” cuando las partículas tengan forma de aguja, “laminar” cuando tenga forma de lámina y “equidimensional” cuando sus tres dimensiones tengan el mismo orden de magnitud. Este último tipo comprende los siguientes casos, “angulosos” cuando las partículas tengan vértices y aristas agudos, “subangulosos” cuando estos vértices y aristas no sean agudos, “subredondeados” cuando prácticamente no existan vértices ni aristas, y “redondeados” cuando las partículas tengan la forma esférica.

4.3.3 Textura Superficial

Al igual que la forma de las partículas influye en la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla, y además en las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una textura áspera aumenta la resistencia debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a las otras, y las películas de asfalto se adhieren con más facilidad que las de superficies lisas. No existe un método para evaluar la textura superficial, es tan solo una característica como la forma de las partículas las cuales se reflejarán en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante su construcción.

La textura superficial de las partículas se clasificará según percepción del tacto de la persona encargada y denominándolos: lisa, ligeramente rugosa, medianamente rugosa y muy rugosa.

4.3.4 Grado de Alteración

El grado de alteración se clasifica como: sanos, poco alterados, medianamente alterados y muy alterados. El grado de alteración puede juzgarse por las siguientes características: falta de lustre, manchas locales y sonido cuando son golpeados por un martillo.

4.3.5 Estructura

La estructura de las partículas se refiere a la manera en que están colocados entre sí los diferentes constituyentes de un depósito pétreo. La estructura es importante desde el punto de vista del comportamiento mecánico de todo el depósito, siendo esencial que los fragmentos rocosos estén en contacto directo o separados por el suelo. El comportamiento mecánico del conjunto está fundamentalmente determinado por las propiedades del suelo que separa los fragmentos.

En un depósito que esté constituido por fragmentos de rocas y suelo fino, los casos extremos que pueden presentarse es: que todos los fragmentos sean resistentes y estén en contacto entre sí constituyendo una estructura simple, y el suelo fino solo se presente llenando parcialmente los huecos de esta estructura simple; o que el depósito se encuentre por suelo fino limoso o arcilloso predominantemente, y los fragmentos se encuentren aislados sin presentar un contacto entre ellos.

4.3.6 Textura

Está representada por el orden, la orientación, el tamaño, la forma y el enlace de las partículas que la constituyen y que se observan a simple vista o con la ayuda de una

lente de poco aumento. Las diferencias en el grado de cristalización y en el tamaño de los cristales determinan la textura; ambos factores están controlados en primer lugar por la velocidad de enfriamiento, aunque pueden tener intervención la constitución química del magma y su contenido de materiales volátiles.

4.3.6.1 Piroclástica.

Constituida por partículas de vidrio volcánico, trozos pequeños de pómez, fenocristales y fragmentos de roca volcánica, cementados. Las partículas de vidrio y la pómez pueden alterarse en parte, convirtiéndose en arcillas. Las rocas piroclásticas son el producto de explosiones volcánicas.

4.3.6.2 Vítreo.

Constituida esencialmente de vidrio volcánico. Pueden estar diseminados en el vidrio pequeños fenocristales de feldespatos o de otros minerales. El vidrio puede ser espumoso, lleno de minúsculas burbujas que forman una textura vítrea pumítica.

4.3.6.3 Afanítica

Constituida principalmente por diminutos cristales (menores de 0.5 mm) con residuo vítreo entre los cristales, o sin él. Aun cuando los cristales pueden observarse a simple vista, no es posible identificarlos sin la ayuda del microscopio. Su presencia da a la roca lustre pétreo u opaco, en contraste con el lustre de vidrio de las rocas de textura vítreas. La mayor parte de las corrientes de lava tienen textura afanítica; en algunas, la corriente ha alineado a los pequeños granos minerales que dan a la roca una apariencia bandeada o fluidal.

4.3.6.4 Granular (Fanerítica)

Constituida por cristales lo suficientemente grandes para verlos e identificarlos sin la ayuda de una lente o de un microscopio. Hay rocas en las que el tamaño medio puede variar desde 0.5 mm hasta más de 1 cm; las rocas granulares comunes como el granito, tienen granos de tamaño de 3 a 5 mm en promedio.

4.3.6.5 Porfirítica

Compuesta de dos tamaños diferentes de los minerales que dan a la roca, una apariencia moteada. A causa de que en pequeños cuerpos intrusivos o en las lavas la textura porfirítica es la más común, ha sido atribuida a un cambio en la velocidad de enfriamiento mientras el magma estaba en cristalización. El proceso de deformación puede explicarse imaginando un gran cuerpo de magma subterráneo que puede enfriarse hasta una altura a la que comiencen a cristalizar uno o más minerales; como el enfriamiento es lento, los cristales de estos minerales crecen hasta adquirir un tamaño considerable.

Si cuando el magma está a medio cristalizar se abre una grieta en el techo de la cámara, parte del magma con sus cristales suspendidos puede escapar para ir a formar una corriente de lava en la superficie. La porción todavía líquida del magma se enfría rápidamente en la superficie del terreno y rodea a los cristales grandes, llamados fenocristales, de una pasta fundamental de cristales afaníticos. Los fenocristales se formaron bajo tierra, la pasta fundamental afanítica se forma en la superficie. Esa lava tiene una textura afanítica porfirítica.

El adjetivo “porfirítico” se usa para calificar la textura que prevalece fundamentalmente en la pasta. Las rocas que tienen una textura granular

porfírica (grandes cristales en una pasta de grano fino) son comunes en los cuerpos intrusivos. La textura vítrea porfírica aparece en algunas corrientes de lava y en los fragmentos de pómez de las rocas piroclásticas. Otras condiciones diferentes a las de un cambio de la velocidad de enfriamiento rara vez pueden producir rocas porfíricas.

4.4 ASPECTOS PETROGRAFICOS

El examen petrográfico es necesario y prácticamente imprescindible en el caso de las rocas eruptivas, por la información que da sobre la textura de la roca y el estado de alteración de ciertas especies mineralógicas, los feldspatos y los minerales ferruginosos, susceptibles de provocar la alteración rápida del agregado o la contaminación con los productos de su desintegración.

La textura de la roca es fundamental, ya que está comprobado que las que poseen cristales de grano intermedio y textura entremezclada de estos cristales, son las mejores en cuanto a la resistencia mecánica. Asimismo la proporción de sílice nos informará su acidez, importante para la adhesividad con los ligantes asfálticos.

A pesar que en las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras, en el capítulo de mezclas asfálticas no consideran un estudio petrográfico, se realizó el análisis macroscópico de los agregados empleados en la presente investigación, para conocer mejor sus características y propiedades, a fin de relacionarlas con su comportamiento en la mezcla.

Para realizar el análisis petrográfico, se trajo de cada cantera 5 muestras representativas (rocas de unos 15 a 20 cm. de tamaño aproximadamente), además del agregado preparado para ser utilizado en la mezcla. En el Cuadro 4.3 se muestra los resultados de las rocas procedentes de Arequipa y el agregado de Lima, en el Cuadro 4.4 los resultados de los agregados ya triturados, listos para ser usado en la mezcla.

**CUADRO 4.3
ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO**

CANTERA	SALAS	42+000	MINERA LA GLORIA
UBICACION	AREQUIPA	AREQUIPA	LIMA
COLOR	Pardo grisáceo superficialmente. Gris plomizo, gris violáceo y pardo brunáceo en superficie fresca	Gris plomizo oscuro en superficie fresca y gris claro superficialmente. Pardo brunáceo claro en superficie fresca y superficialmente.	Gris plomizo y gris verdoso en superficie fresca principalmente, en menor porcentaje grises brunáceos, pardos.
TONALIDAD	Mesócrata	Mesócrata	Mesócrata
ESTADO SUPERFICIAL	Parcialmente alterados	Parcialmente alterados a inalterados	Parcialmente alterados a inalterados
ESTADO INTERNO	Poco alterado a alterado moderadamente (oxidación marrón rojiza a modo de puntos diseminados)	Poco alterado a alterado moderadamente (oxidación marrón rojiza y argilización)	Poco alterado a alterado moderadamente (oxidación marrón rojiza)
ESTRUCTURA	Masiva	Masiva	Masiva
TEXTURA	Cristalina (porfirítica) y piroclástica	Cristalina (fanerítica, porfirítica) y piroclástica	Cristalina (afanítica y porfirítica, fanerítica en menor %)
FRACTURA	Irregular	Irregular	Irregular
ORIGEN	Igneo	Igneo	Igneo
NATURALEZA	Subvolcánica (70%) Piroclástica (30%)	Intrusiva (70%) Piroclástica (30%)	Subvolcánica (80%) Piroclástica (20%)
CLASIFICACION	Andesitas porfiríticas, Porfidoácítico (70%) Aglomerado volcánico (30%)	Diorita cuarcifera, Tonalita y Monzonita porfirítica (70%) Aglomerado volcánico andesítico (30%)	Andesitas, porfidoandesitas (80%) Monzodiorita, diorita (20%)
DESCRIPCION	Bolones o rodados de roca, forma subredondeada textura superficial rugosa al tacto. Las de naturaleza subvolcánica son oscuras algo alteradas (oxidación rojiza diseminada, dando cavidades pequeñas a modo de poros) las piroclásticas son de aspecto terroso, pulverulento. Dureza intermedia al golpe del martillo de geólogo.	Bolones a rodados de roca, forma subredondeada a redondeada, textura superficial rugosa al tacto. Las de naturaleza intrusiva son oscuras menos alteradas que las de color gris violáceo (tonalita) que por alteración dan tonalidades pardo brunáceas. Dureza intermedia al golpe del martillo de geólogo.	Agregado grueso (de 3/4" a 1/4"), formas angulosas a subangulosas, textura superficial rugosa al tacto, lisa en menor porcentaje. Poco alteradas superficialmente (leve oxidación marrón amarillenta). Dureza intermedia al golpe del martillo de geólogo.

**CUADRO 4.4
ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO
(FRAGMENTOS LÍTICOS)**

CANTERA	SALAS	42+000
UBICACION	AREQUIPA	AREQUIPA
COMPONENTES Fragmentos Líticos (100%)	- Igneos Subvolcánicos (andesita porfirítica, andesita afanítica, porfírodacítico) - Igneos Piroclásticos (aglomerados volcánicos y tobas arenosas)	- Igneos Intrusivos (diorita cuarcífera, monzonita, andesita porfirítica) - Igneos Piroclásticos (aglomerados volcánicos y tobas/ignimbritas)
COLOR	- Igneos Subvolcánicos grises oscuros y plomizos - Igneos Piroclásticos pardo brunoáceo a beige grisáceo	- Igneos Intrusivos grises oscuros y plomizos - Igneos Piroclásticos pardo brunoáceo a beige grisáceo
FORMA	- Igneos Subvolcánicos subredondeada a subangulosa - Igneos Piroclásticos redondeada a subredondeada	- Igneos Intrusivos subredondeada a subangulosa - Igneos Piroclásticos redondeada a subredondeada
TEXTURA	- Igneos Subvolcánicos rugosa al tacto - Igneos Piroclásticos rugosa al tacto	- Igneos Intrusivos rugosa al tacto - Igneos Piroclásticos rugosa al tacto
ESTADO	- Igneos Subvolcánicos poco alterados a inalterados - Igneos Piroclásticos parcialmente alterada	- Igneos Intrusivos poco alterados a inalterados - Igneos Piroclásticos parcialmente alterada y poco densa

La característica más predominante de los agregados procedentes de Arequipa es su forma subredondeadas a redondeadas, mientras que los de Lima son angulosas a subangulosas. Los agregados poseen una textura superficial rugosa al tacto y una dureza intermedia al golpe del martillo. En su composición existe una menor presencia de naturaleza piroclástica (30%). Se encuentran en un estado poco alterados a inalterados.

Según el análisis petrográfico se puede concluir que los agregados en estudio tendrán un buen comportamiento en la mezcla asfáltica, pero esta aseveración debe ser verificada determinando sus propiedades físico-mecánicas.

4.5 ASPECTOS FISICO-MECÁNICOS

Mediante el estudio petrográfico de la roca puede definirse si el agregado es o no apropiado, pero al no ser posible establecer una relación directa entre su composición y su comportamiento, y si se desea comparar unos agregados con otros o establecer si cumplen las condiciones mínimas requeridas, es necesario recurrir a la realización de ensayos normalizados.

4.5.1 Granulometría del Agregado Grueso y Fino. MTC E204, AASHTO T-27, ASTM C136

Es la distribución de varios tamaños de partículas del agregado, los cuales se encontrarán en diferentes proporciones de acuerdo al tamaño de las aberturas de los tamices. Mediante este ensayo se conoce la graduación de los agregados para luego realizar el diseño de mezcla combinando cada agregado hasta cumplir con la granulometría especificada. Los agregados son descritos en base a su granulometría: cerrada, abierta, uniforme, gruesa, fina y discontinua.

El tamaño máximo del agregado es el tamiz más reducido por el cual pasa el 100% del material. *El tamaño máximo nominal* es el tamiz de mayor abertura que retiene más del 10% del material.

El tamizado por vía seca es un ensayo de rutina, pero cuando el agregado contiene arcilla o polvo extremadamente fino que puede quedar adherido a las partículas del agregado grueso, se debe realizar el tamizado por vía húmeda (AASHTO T-11, ASTM C117).

4.5.2 Peso Unitario. MTC E203, AASHTO T-19, ASTM C29

El peso unitario es usado para determinar la relación masa/volumen en las conversiones para la compra de agregados. Conociendo este valor de peso unitario se calcula la cantidad de agregado (en volumen) que se necesita para la producción de mezcla asfáltica, debido a que los porcentajes de la combinación de los agregados en el diseño se hace en función al peso con respecto a la mezcla total. Sin embargo el grado de compactación de los agregados en el acarreo o en stock no se puede determinar con este método, debido a que mayormente se encuentran con un contenido de humedad o superficie húmeda, mientras que en el ensayo se determina el peso en estado seco. También se puede determinar el porcentaje de vacíos entre las partículas de los agregados.

4.5.3 Gravedad Especifica del Agregado Grueso (MTC E206, AASHTO T-85, ASTM C127) y Gravedad Especifica del Agregado Fino (MTC E205, AASHTO T-84, ASTM C128)

El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de material y el peso de un volumen igual de agua a temperatura entre 20 y 25°C. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales, de gran importancia en la producción de mezclas de pavimentación, debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados en la mezcla de acuerdo al peso. Otra razón es, básicamente determina el porcentaje de vacíos en las mezclas compactadas. Existen tres tipos de pesos específicos, los que dependen de la definición del volumen de la partícula.

- *Peso Específico Bruto (Bulk)*, considera el volumen total de las partículas, incluyendo los poros que pueden ser llenados con agua. Existen dos tipos: *Peso Específico Bulk Seca*, que considera el peso del agregado seco, y el *Peso Específico Bulk Saturado* que considera el peso del agregado saturado superficialmente seco.
- *Peso Específico Aparente*, considera al volumen del agregado como el volumen total excluyendo el volumen de poros que pueden llenarse de agua.
- *Peso Específico Efectivo*, considera al volumen del agregado como el volumen total excluyendo el volumen de todos los poros y espacios que absorben asfalto (ASTM D2041).

La elección del peso específico de un agregado usado en los cálculos de una mezcla asfáltica podría tener un efecto sustancial sobre la cantidad calculada de vacíos en el pavimento compactado. Cuando se usa el peso específico bruto, se acepta que el asfalto no será absorbido por los poros permeables al agua. Caso contrario ocurre si se usa el peso específico aparente, se asume que el asfalto será absorbido por todos los poros permeables al agua. Por lo que ninguno de los dos casos es el correcto, salvo algunas situaciones.

El peso específico efectivo se aproxima más al valor verdadero para la determinación de los vacíos de la mezcla asfáltica compactada. Para una combinación de agregados, los porcentajes de los componentes del agregado total deberán requerir un ajuste por la diferencia de pesos específicos de cada uno de ellos, en el cual se suele emplear los pesos específicos brutos en los cálculos.

4.5.4 Absorción del Agregado Grueso (MTC E206, AASHTO T-85, ASTM C127) y Absorción del Agregado Fino (MTC E205, AASHTO T-84, ASTM C128)

La porosidad de un agregado se indica por la cantidad de líquido que absorbe cuando se lo embebe en agua. Si un agregado es altamente absorbente, entonces

continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Por lo que los agregados porosos requieren cantidades mayores de asfalto que las que son menos porosas. Los agregados altamente porosos no son normalmente usados, a menos que posean otras cualidades que los hagan ventajosos como la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos, los cuales son altamente porosos, livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

4.5.5 Abrasión o Desgaste “Los Angeles”. MTC E207, AASHTO T-96, ASTM C-131

Como el agregado está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica y además, debido a las cargas del tránsito. Los agregados deben tener cierto grado de capacidad para resistir la trituración, degradación y desintegración. El agregado que se encuentra en la superficie requiere mayor dureza que el de las capas inferiores.

El ensayo mide la resistencia al uso o abrasión del agregado, empleando la máquina de Los Ángeles con una determinada cantidad de carga abrasiva. Cuanto menor sea el coeficiente, mejor es la cualidad mecánica del agregado y mejor su comportamiento en la mezcla.

4.5.6 Contenido de Arcillas y Partículas Friables. MTC E212, AASHTO T-112, ASTM C142

La limpieza y pureza de los agregados suele determinarse a veces por observación visual, pero un tamizado por vía húmeda proporciona en todos los casos una prueba positiva. Este ensayo determina aproximadamente los terrones de arcilla y las partículas desmenuzables (friables) presentes en los agregados, los cuales cuando se presentan en cantidad excesiva puede desfavorecer el comportamiento del pavimento. Existe un amplio rango de porcentajes máximos permisibles

dependiendo de la composición exacta del contaminante, el rango va desde valores pequeños como 0.2% a tan altos como 10%.

4.5.7 Sales Solubles. MTC E219

Establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en mezclas asfálticas. Sirve para efectuar controles en obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación de la existencia de sales.

4.5.8 Durabilidad al Sulfato de Sodio o de Magnesio. MTC E209, AASHTO T-104, ASTM C88

Determina la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio. Suministra información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climáticas de la obra. Con él se puede hacer una estimación preliminar de la inalterabilidad de los agregados que se usarán, si son estables o inestables.

Los resultados que se obtengan varían según la sal que se emplee. Los valores de porcentaje de pérdidas admisibles resultantes, generalmente difieren para agregados finos y agregados gruesos. Pérdidas elevadas son clara indicación de existencia de partículas de mala calidad susceptibles de sufrir alteración rápida a los agentes atmosféricos e indirectamente de mala calidad mecánica.

4.5.9 Porcentaje de Caras Fracturadas. MTC E210, ASTM D693

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la

resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas, dar estabilidad y, fricción y textura a los agregados empleados en pavimentación. Este ensayo determina el porcentaje, en peso, del material que presente una, dos o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.

4.5.10 Índice de Aplanamiento y de Alargamiento. MTC E221, ASTM D4791

Se busca que los agregados gruesos empleados en carreteras sean los más cúbicas posibles, pues las partículas con mala forma (lajas y agujas) tienen el peligro de rotura debido a las tensiones del tráfico o a las provocadas por la compactación, modificando para ello la granulometría del agregado. La mayor o menor angulosidad de las partículas influye junto con la textura superficial de las partículas en la mayor o menor resistencia del esqueleto mineral, al suponer que dicha angulosidad aumenta el rozamiento interno.

Los agregados procedentes de canteras de rocas no presentan ningún problema en relación con la angulosidad, pero los obtenidos por machaqueo de gravas resultan más o menos angulosos o redondeados según el procedimiento de trituración y la relación entre los tamaños del material original y final

Se define como *índice de aplanamiento* de una fracción de agregado, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 0.6 (3/5) veces la dimensión media de la fracción.

Se define como *índice de alargamiento* de una fracción de agregado, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 1.8 (9/5) veces la dimensión media de la fracción. Este método no es aplicable a las fracciones del agregado con tamaño inferior a 6.3 mm (1/4").

4.5.11 Impurezas Orgánicas. MTC E213, AASHTO T-21, ASTM C40

El principal valor de este ensayo es advertir la presencia de componentes orgánicos nocivos en agregados finos. Se considera que la arena contiene componentes orgánicos, posiblemente perjudiciales, cuando el color de la solución que se encuentra por encima de la muestra de ensayo es más oscuro que el color normal de referencia (standard). En tal caso, se deben efectuar ensayos complementarios, antes de aprobar la arena para su utilización.

<u>Color Standard Gardner N°</u>	<u>Valor Asignado</u>
5	1
8	2
11	3 (standard)
14	4
16	5

4.5.12 Equivalente de Arena. MTC E114, AASHTO T-176, ASTM D2419

Determina la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos.. Es un procedimiento rápido de campo, para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o colocación. El equivalente de arena es la relación de la altura de la arena con respecto a la altura de la arcilla, expresada en porcentaje.

4.5.13 Índice de Plasticidad <N°40 y <N°200. MTC E111, AASHTO T-90, ASTM D424

La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico se denomina *límite líquido*. La frontera convencional entre los estados plástico y semisólido, *límite plástico*. Y a estos límites se les denomina *límites de plasticidad*. El *índice plástico* es la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad.

Las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que la malla N°200 pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. Una de estas propiedades que más influye es la compresibilidad, íntimamente ligada con el límite líquido.

A medida que aumenta el límite líquido, aumenta la compresibilidad del suelo. También la forma de las partículas y no el tamaño de éstas, es la que determina la compresibilidad del suelo. Asimismo, la plasticidad de un material se debe a la forma laminar de las partículas coloidales que lo constituyen. De aquí se comprende la importancia que tienen las características de plasticidad de los suelos.

La presencia de arcillas en las mezclas asfálticas pone en peligro las características mecánicas de la mezcla, debido a su actividad hidrofílica provocando un hinchamiento de las partículas.

4.5.14 Adherencia del Ligante Asfáltico – Agregado. MTC E519, AASHTO T-195, ASTM D2489

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Los que presentan un alto grado de resistencia al descubrimiento de la película asfáltica en presencia de agua se le denomina hidrófobos (rechazo al agua) y los que tienen poca afinidad con el asfalto, hidrofílicos (atraen al agua).

Este ensayo determina el grado de cubrimiento de las partículas de agregado en una mezcla bituminosa, basándose en el porcentaje que queda completamente recubierta por el ligante asfáltico en presencia de agua.

4.5.15 Adhesividad de los Ligantes Asfálticos a los Agregados Finos (Riedel-Weber). MTC E220

Describe el procedimiento para determinar la adhesividad de los ligantes asfálticos a los agregados finos, arenas naturales o de machaqueo, de empleo en construcción de carreteras. Puede aplicarse a todo tipo de ligante asfáltico, como betunes de penetración modificados o sin modificar, fluidificados, fluxados, emulsiones asfálticas y alquitranes.

El ensayo consiste en someter diferentes porciones de la muestra del agregado envuelto con el ligante a la acción de soluciones de carbonato sódico de concentración molar creciente. Por el procedimiento de realización, presenta condiciones de ensayo que no se parecen en nada a las condiciones de trabajo, ya que elimina gran parte del agregado a utilizarse en obra.

4.6 ANALISIS DE RESULTADOS

Las necesidades actuales, impuestas por un tráfico cada vez más pesado, han llevado a una preocupación general por el empleo de materiales de mejor calidad, haciendo más duras las especificaciones, lo que en general es aceptable, pero considerándolo a escala regional, ya que de otra forma se llegaría a un encarecimiento no justificado.

4.6.1 Agregados Minerales Gruesos

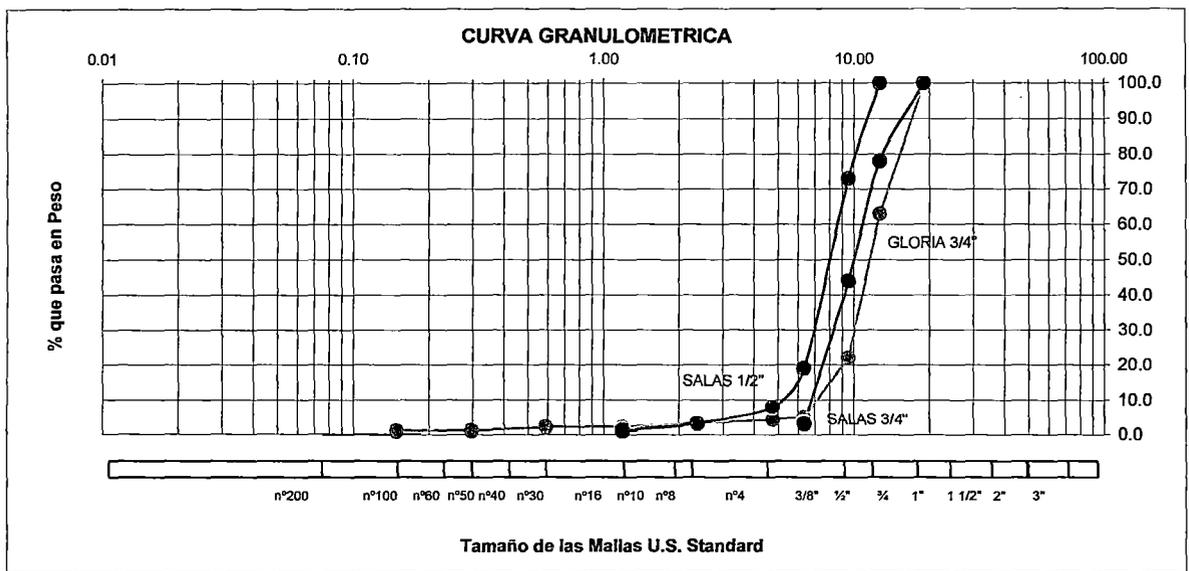
El agregado grueso es la fracción retenida en el tamiz N°4 (6.4 mm), constituyendo el esqueleto mineral dentro de la mezcla, es decir su función es ser el elemento resistente.

4.6.1.1 Granulometría del Agregado Grueso

Como se puede observar en la Figura 4.1 la curva granulométrica de la Grava de ¾” procedente de la Cantera Salas (Arequipa) y la Grava de ¾”

FIGURA 4.1
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS
AGREGADO GRUESO

Tamiz	Abertura mm.	Acum.Pasa (%)		
		GLORIA	SALAS	
		3/4"	3/4"	1/2"
1"	25.4			
3/4"	19.05	100.00	100.00	
1/2"	12.7	63.00	78.00	100.00
3/8"	9.53	22.00	44.00	73.00
1/4"	6.35	5.00	3.00	19.00
N 4	4.76	4.00		8.00
N 8	2.38	3.00		3.00
N 10	2.00			
N 16	1.19	2.00		1.00
N 30	0.59	2.00		
N 40	0.426			
N 50	0.297	1.00		
N 80	0.177			
N 100	0.149	1.00		
N 200	0.074			
< N 200				



LEYENDA	
○	CANTERA LA GLORIA 3/4"
●	CANTERA SALAS 3/4"
●	CANTERA SALAS 1/2"

procedente de la Cantera Minera La Gloria (Lima), no posee gran cantidad de finos (en orden del 3 a 5%), en cambio la Grava de 1/2” procedente de la Cantera Salas contiene 19% de material fino (pasante la malla 1/4”),

4.6.1.2 Peso Unitario

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Peso Unitario Suelto	1.263	1.460	1.350
Peso Unitario Compactado	1.365	1.646	1.550

Suponiendo que se necesita 1 tonelada de agregado grueso para producir la mezcla asfáltica. Entonces si utilizara uno de los agregados analizados, se necesitaría los siguientes volúmenes como se muestra en el cuadro, y además la respectiva cantidad de volquetes para su transporte.

	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
VOLUMEN (M3)	791.77	684.93	740.74
	792	685	741
VOLQUETES (10 M3)	79.20	68.50	74.10
	80	69	75

Como se observa, cuanto menor es el peso unitario suelto mayor será el volumen requerido y por lo tanto, mayor será el costo de transporte.

4.6.1.3 Gravedad Específica del Agregado Grueso

Se observa que la grava procedente de Lima tiene un peso específico mayor que el procedente de Arequipa, aproximadamente en el orden de un 10%. El valor del peso específico del agregado grueso influirá en el resultado del peso específico del agregado total en la mezcla y así como el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Peso Específico Bulk Base Seca	2.323	2.385	2.706
Peso Específico Bulk Base Saturada	2.399	2.461	2.725
Peso Específico Aparente	2.514	2.583	2.758

4.6.1.4 Absorción del Agregado Grueso

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Absorción	3.28	3.20	0.69

La absorción de las gravas de Arequipa son mayores que la de Lima, debido a su naturaleza volcánica, lo que ocasionará una mayor absorción de cemento asfáltico en la mezcla y más vacíos. Estos valores altos de absorción no cumplen con las especificaciones, por lo que se debe de realizar un diseño no convencional de mezcla asfáltica.

4.6.1.5 Abrasión o Desgaste “Los Angeles”

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Abrasión	33.5%	33.2%	15.8%

El desgaste producido con los agregados procedentes de Arequipa es mayor que el de Lima, lo que nos podría predecir que este último resistirá mejor a las cargas producidas por el tráfico durante su vida útil. Esta diferencia básicamente se debe a la naturaleza del agregado, más no a la forma de las partículas. Los resultados son aceptables cumpliendo con los requisitos exigidos, pero se tendrá en cuenta que los valores de desgaste de los agregados de Arequipa se están acercando al máximo especificado.

4.6.1.6 Contenido de Arcillas y Partículas Friables

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Contenido de Arcillas y Partículas Friables	0.03	0.14	0.02

La presencia de terrones de arcilla y partículas friables se presentan en forma escasa en estos agregados, los resultados que se muestran se encuentran expresados en porcentajes.

4.6.1.7 Sales Solubles

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Sales Solubles Totales	0.0072	0.0076	0.0040

Como en el caso anterior, la presencia de sales solubles en los agregados es escasa.

4.6.1.8 Durabilidad al Sulfato de Sodio o de Magnesio

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Durabilidad al Sulfato de Sodio o Magnesio	6.34	7.08	6.08

La resistencia a la disgregación debido a sulfatos es buena, cumple con los requisitos exigidos, lo que nos indicará su buena resistencia frente a los fuertes cambios de temperatura propios del lugar (Arequipa).

4.6.1.9 Porcentaje de Caras Fracturadas

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Caras Fracturadas (1 ó más)	94.0%	98.0%	96.0%
Caras Fracturadas (2 ó más)	72.0%	76.0%	89.0%

Se observa que los agregados analizados poseen poca cantidad de partículas sin cara de fractura (menos del 10%). Además los agregados procedentes de Arequipa contienen menos cantidad de partículas con 2 a más de caras fracturadas en comparación al de Lima.

4.6.1.10 Índice de Aplanamiento y de Alargamiento

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Partículas Chatas y Alargadas	2.0%	2.1%	8.4%

La grava procedente de Lima presenta una mayor cantidad de partículas chatas y alargadas debido a la forma de trituración. Lo cual nos indica que las gravas de Arequipa tendrán menos posibilidad de que las partículas se quiebren al momento de ser compactadas durante la colocación de la mezcla.

4.6.1.11 Adherencia del Ligante Asfáltico – Agregado

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"
Adherencia	+95	+95	+95

Las tres gravas presentan un buen recubrimiento con el cemento asfáltico de penetración 120-150, luego de estar sumergidas en el agua. Por lo tanto se concluye que el agregado grueso tiene una buena adherencia con el ligante asfáltico.

4.6.2 Agregados Minerales Finos

El agregado fino es la fracción que pasa por el tamiz N°4 (6.4 mm) y queda retenido por el tamiz N°200 (74 um), que junto con el filler y el ligante, rellena los huecos del esqueleto mineral.

4.6.2.1 Granulometría del Agregado Fino

Como se puede observar en la Figura 4.2 la curva granulométrica de la arena triturada procedente de la cantera Salas, posee una mayor cantidad de finos (16% pasante la malla 200) que la arena zarandeada proveniente de la cantera Km. 42+000 y que la arena gruesa procedente de la cantera Minera La Gloria. Tanto la arena triturada como la zarandeada poseen un porcentaje de grava.

4.6.2.2 Peso Unitario

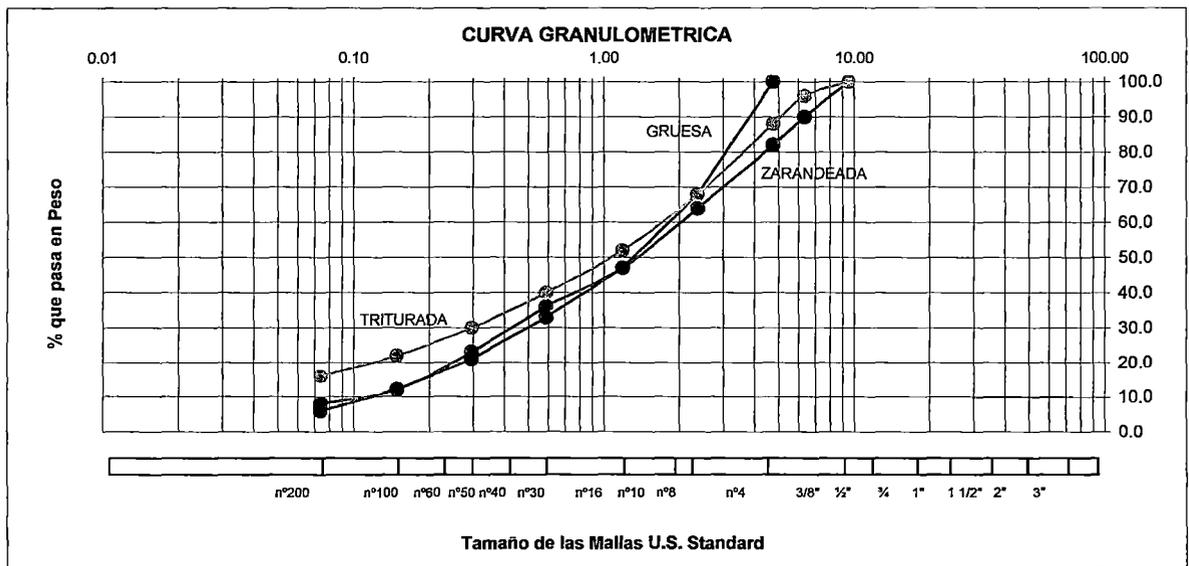
ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Peso Unitario Suelto	1.457	1.447	1.690
Peso Unitario Compactado	1.631	1.651	1.860

Suponiendo que se necesita 1 tonelada de agregado fino para producir la mezcla asfáltica. Entonces si utilizara uno de los agregados analizados, se necesitaría los siguientes volúmenes como se muestra en el cuadro, y además la respectiva cantidad de volquetes para su transporte.

	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
VOLUMEN (M3)	686.34	691.09	591.72
	686	691	592
VOLQUETES (10 M3)	68.60	69.10	59.20
	69	70	60

FIGURA 4.2
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS
AGREGADO FINO

Tamiz	Abertura mm.	Acum.Pasa (%)		
		GLORIA	SALAS	KM 42+000
		ARENA GRUESA	ARENA TRITURADA	ARENA ZARAND
1"	25.4			
3/4"	19.05			
1/2"	12.7			
3/8"	9.53		100.00	100.00
1/4"	6.35		96.00	90.00
N 4	4.76	100.00	88.00	82.00
N 8	2.38	68.00	68.00	64.00
N 10	2.00			
N 16	1.19	47.00	52.00	47.00
N 30	0.59	33.00	40.00	36.00
N 40	0.426			
N 50	0.297	21.00	30.00	23.00
N 80	0.177			
N 100	0.149	12.00	22.00	12.00
N 200	0.074	6.00	16.00	8.00
< N 200				



LEYENDA	
○	CANTERA SALAS
●	CANTERA LA GLORIA
■	CANTERA KM 42+000

Como se observa, cuanto menor es el peso unitario suelto mayor será el volumen requerido y por lo tanto, mayor será el costo de transporte. La arena procedente de Lima tiene un peso unitario mayor que las procedentes de Arequipa.

4.6.2.3 Gravedad Especifica del Agregado Fino

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Peso Específico Bulk Base Seca	2.532	2.568	2.727
Peso Específico Bulk Base Saturada	2.566	2.596	2.757
Peso Específico Aparente	2.622	2.642	2.812

Se observa que al igual que la grava, la arena procedente de Lima tiene un peso específico mayor que el de Arequipa, aproximadamente en el orden de un 7%. El valor del peso específico del agregado fino influirá en el resultado del peso específico del agregado total en la mezcla y así como el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

4.6.2.4 Absorción del Agregado Fino

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Absorción	1.35	1.09	1.11

Las arenas, a pesar de ser de diferente naturaleza, poseen un valor de absorción similar a comparación de las gravas de Arequipa que poseen una absorción mayor que la de Lima.

4.6.2.5 Contenido de Arcillas y Partículas Friables

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Contenido de Arcillas y Partículas Friables	0.60	0.70	0.25

La presencia de terrones de arcilla y partículas friables en las arenas de Arequipa se encuentran en mayor proporción, pero están dentro del máximo permisible (1%).

4.6.2.6 Sales Solubles

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Sales Solubles Totales	0.0370	0.0142	0.0155

La presencia de sales solubles en los agregados finos es escasa al igual que los gruesos.

4.6.2.7 Durabilidad al Sulfato de Sodio o de Magnesio

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Durabilidad al Sulfato de Sodio o Magnesio	11.80	14.47	3.61

A diferencia de las gravas, las arenas proveniente de Arequipa sufren mayor disgregación frente a los sulfatos en comparación con la de Lima, llegando la arena triturada a estar cerca al valor máximo exigido.

4.6.2.8 Impurezas Orgánicas

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Impurezas Orgánicas	1	2	1

Estos valores son menores que 3, por lo tanto indican que las arenas son aceptables y no presentan impurezas orgánicas. Entre ellas se aprecia que la arena triturada presenta un color más oscuro que las otras dos arena, por eso

la numeración 2, lo que significa la presencia de trazas de impurezas orgánicas.

4.6.2.9 Equivalente de Arena

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Equivalente de Arena	72.0%	44.0%	68.0%

La arena triturada presenta mayor cantidad de contenido de arcilla que las otras dos arenas, lo que significa que está más sucia. Si se considera dentro del diseño de la mezcla asfáltica, lo recomendable es realizar un ensayo de equivalente de arena con la mezcla de las arenas en las proporciones establecidas. Si cumplen con las especificaciones, no habría ninguna observación en cuanto a su uso. La arena zarandeada es la que se encuentra más limpia.

4.6.2.10 Índice de Plasticidad <N°40 y <N°200

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Índice de Plasticidad < N°40	NP	NP	NP
Índice de Plasticidad < N°200	2.0	NP	4.0

Se observa que las arenas son no plásticas cuando es < N°40, en cambio cuando es < N°200 sí presentan plasticidad, lo cual sería perjudicial en la mezcla al contacto con el agua.

4.6.2.11 Adhesividad de los Ligantes Asfálticos a los Agregados Finos (Procedimiento Riedel-Weber)

ENSAYO	AREQUIPA		LIMA
	ZARANDEADA	TRITURADA	GRUESA
Riedel Weber	Grado 2	Grado 2	Grado 1

Las arenas analizadas no cumplen con la adherencia, esto se debe a su naturaleza y afinidad con el ligante asfáltico. Como se mencionó anteriormente, este ensayo es actualmente discutido por lo que sólo analiza una porción del agregado fino, lo cual no refleja su verdadero comportamiento en la mezcla.

Los agregados en general se vienen considerando tradicionalmente como materiales inertes pero realmente no lo son, ya que no sólo influyen las resistencias mecánicas, sino que por sus características y propiedades geométricas, térmicas y químicas, afectan al diseño y ejecución de un pavimento, a su mantenimiento y a la seguridad del tránsito vial.

En el Cuadro 4.5 se muestra el Resumen de los Resultados obtenidos en el Laboratorio para cada uno de los agregados en estudio con sus requerimientos exigidos, donde se puede apreciar si cumplen o no con las especificaciones. En cuanto a la absorción de los agregados, tanto la grava como la arena no cumplen con los requerimientos exigidos, por lo cual se debe tener un cuidado especial en el diseño de la mezcla asfáltica para que tenga un buen comportamiento. De igual manera sucede con la plasticidad del material < N°200 y la poca afinidad del agregado fino con el asfalto.

A pesar de no cumplir con algunas propiedades, se diseñará la mezcla asfáltica teniendo en cuenta los criterios antes mencionados y considerando que estas especificaciones son generales (MTC), las cuales pueden ser modificadas según los requerimientos del proyecto y la disponibilidad del material en la zona.

**CUADRO 4.5
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

AGREGADO GRUESO	NORMA	AREQUIPA		LIMA	ESPECIFICACIONES TECNICAS
		CANTERA SALAS KM 39+500		CANTERA MINERA LA GLORIA	
		GRAVA 1/2"	GRAVA 3/4"	GRAVA 3/4"	
Peso Unitario Suelto	ASTM C-29	1.263	1.460	1.350	
Peso Unitario Compactado	ASTM C-29	1.365	1.646	1.550	
Peso Específico Bulk Base Seca	ASTM C-127	2.323	2.385	2.706	
Peso Específico Bulk Base Saturada	ASTM C-127	2.399	2.461	2.725	
Peso Específico Aparente	ASTM C-127	2.514	2.583	2.758	
Absorción de agua	ASTM C-127	3.28	3.2	0.69	1.0% máx
Abrasión	ASTM C-131	33.5	33.2	15.8	35% máx
Terrones de arcilla	MTC E212	0.03	0.14	0.02	1.0% máx
Salas Solubles	MTC E219	0.0072	0.0076	0.004	0.5% máx
Durabilidad	ASTM C-88	6.34	7.08	6.08	15% máx
Caras fracturadas (1 o más)	MTC E210	94	98	96	85% mín
Caras fracturadas (2 o más)	MTC E210	72	76	89	50% mín
Partículas chatas y alargadas	ASTM D-693	2.0	2.1	8.4	10% máx
Revestimiento y Desprendimiento	ASTM D-1664	+95	+95	+95	+95

AGREGADO FINO	NORMA	AREQUIPA		LIMA	ESPECIFICACIONES TECNICAS
		CANTERA 42+000	CANTERA SALAS	CANTERA MINERA LA GLORIA	
		ARENA ZARANDEADA	ARENA TRITURADA	ARENA GRUESA	
Peso Unitario Suelto	ASTM C-29	1.457	1.447	1.690	
Peso Unitario Compactado	ASTM C-29	1.631	1.651	1.860	
Peso Específico Bulk Base Seca	ASTM C-128	2.532	2.568	2.727	
Peso Específico Bulk Base Saturada	ASTM C-128	2.566	2.596	2.757	
Peso Específico Aparente	ASTM C-128	2.622	2.642	2.812	
Absorción de agua	ASTM C-128	1.35	1.09	1.11	0.5% máx
Impurezas Orgánicas	AASHTO T 21	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Terrones de arcilla	MTC E212	0.6	0.7	0.25	1.0% máx
Salas Solubles Totales	MTC E219	0.037	0.0142	0.0155	0.5% máx
Equivalente de Arena	ASTM D-2419	72	44	68	50% mín
Durabilidad	ASTM C-88	11.8	14.47	3.61	15% máx
Índice de Plasticidad mat. < N° 40	MTC E111	NP	NP	NP	NP
Índice de Plasticidad mat. < N° 200	MTC E111	2.0	NP	4.0	NP
Adhesividad Riedel Weber	MTC E220	Grado 2	Grado 2	Grado 1	Grado 4

4.7 FILLER O RELLENO MINERAL

El filler o relleno mineral es esencial para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de más, o de menos, puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o rica. Dichos cambios pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno mineral utilizado, lo cual debe ser cuidadosamente controlado. El filler es responsable de muchos cambios en las propiedades de las mezclas, por lo que su estudio es tema preferente de investigación en nuestros días.

El filler tiene dos funciones principales: aumentar la estabilidad de la mezcla asfáltica terminada y aumenta la densidad de la mezcla asfáltica llenando los vacíos (% de vacíos altos debido a la falta de finos en la mezcla). En algunos casos se viene empleando como mejoradores de adherencia, pero no todos los asfaltos debido a la naturaleza química de los crudos de petróleo reúnen las condiciones necesarias para que el filler (cal hidratada o cemento pórtland) sean empleados como mejoradores de adherencia.

4.7.1 Cal Hidratada

Durante la edad de piedra, el hombre primitivo utilizaba las calizas para configurar el fuego y hacer herramientas rudimentarias. Fundía las losas de caliza descomponiéndolo en una piedra blanca, la cual calcinaba por efecto del fuego y el resultado era la cal viva que posteriormente se hidrataba con el agua de lluvia. Se llama cal a todo producto, que proceda de la calcinación de las piedras calizas de alta pureza; dependiendo de las características de la caliza y del proceso de producción, se obtiene una mejor o peor calidad, y una clasificación por sus componentes.

El término de “Cal” se denomina al Oxido de Calcio (*Cal Viva*) y al Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) *Cal Hidratada*, con pequeñas porciones de sexquíóxidos ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), dióxido de silicio (SiO_2) y Oxido de Magnesio (MgO) obtenidos por calcinación de rocas calcáreas, resultando un producto fino blanquísimo

empleado como filler en mezclas asfálticas. Las propiedades más significativas del uso de la cal en las mezclas asfálticas es la reducción de la susceptibilidad al agua, menor peso específico y menor concentración crítica con respecto al cemento portland.

Entre las diferentes aplicaciones de la Cal Hidratada tenemos:

- *Tintes*: Por sus cualidades de color, poder de cobertura, propiedades químicas y adherencia, se utiliza en la fabricación de tintes para blanquear, pinturas para algodón, tintes a base de agua, tintes a base de caseína y tintes para albañilería.
- *Bloques de Silical*: Permite la obtención de bloques de color claro y alta resistencia a la compresión para la construcción de vivienda.
- *Concreto Celular*: Se utiliza en mezclas con cemento Portland, produciendo un concreto de poco peso.
- *Placas Aislantes*: Obtenidas con mezclas de proporciones diferentes de cal hidratada, diátomea, vermiculita, arena de cuarzo y fibras minerales.
- *Mezclas Asfálticas*: El poder alcalino de la cal neutraliza la agresiva acidez de los agregados, dándoles un aumento de dureza y resistencia a la penetración de agua, mejora la resistencia a la degradación y aumenta la proporción de asfalto.
- *Placas Divisorias*: Se obtiene de la mezcla en proporciones variadas, de cal hidratada, yeso, retenedores de aire y, comúnmente, fibras minerales.
- *Estabilización de Suelos*: Mejora considerablemente las condiciones geotécnicas de los suelos arcillosos, haciéndolos aptos para la utilización en pavimentos para vías, fundaciones, pistas para aeropuertos, parqueaderos, etc.
- *Morteros*: Actúa como agente químico en los morteros elaborados con arena y otros aditivos.
- *Agricultura*: Es una de las aplicaciones más antiguas. Es útil en la reducción de la acidez del suelo, permite la liberación de los fosfatos y de los materiales nutrientes de los fertilizantes, mejora la estructura física de los suelos, contribuye al crecimiento de los niveles de calcio en las cosechas y donde son bajos los niveles de magnesio. El calcio y el magnesio fertilizan el forraje y es

benéfico para el ganado. Se utiliza para la elaboración de pesticidas y funguicida.

- *Industria Química:* Es uno de los más importantes reactivos para la industria química y tiene un bajo costo.
- *Industria Alimenticia:* Se usa mucho en la industria de la refinación del azúcar, también para la elaboración del maíz y el tratamiento de productos enlatados.
- *Industria Metalúrgica:* Se utiliza para la fabricación del acero.
- *Protección del Medio Ambiente:* El mayor consumidor de cal es el tratamiento de agua.
- *Otras aplicaciones:* Se utiliza para proteger contra la oxidación los materiales de construcción

4.7.2 Aspectos Químicos

Los parámetros que determinan la calidad de la cal son (AASHTO T-219):

- Contenido de Cal Activa: Mínimo 90%.
- Contenido de Cal No Hidratada: Máximo 7%.
- Contenido de Agua: Máximo 3.
- Color: El color es el resultado de la pureza de la caliza, y es fundamental para algunos usos.

La cal se endurece por un proceso conocido como carbonatación, es decir, enlace de moléculas por absorción de gas carbónico del agua o del aire. Las propiedades adherentes de la cal son muy buenas. En cuanto a la resistencia, la cal no se endurece tan rápido como el cemento ni obtiene las mismas resistencias, pero si y posee un cierto nivel de resistencia. De hecho, éste era el ligante más utilizado a lo largo de la historia, hasta el descubrimiento del cemento portland.

Para prevenir el stripping (desprendimiento del asfalto de la superficie del agregado), es un requerimiento esencial del proceso, que el asfalto seleccionado para la mezcla contenga una suficiente cantidad de ácidos orgánicos, los cuales

pueden reaccionar con la cal hidratada. Los productos de esta reacción son aptos para controlar los daños de la humedad sobre el pavimento, mejorar el revestimiento y subsecuentemente la adhesividad del asfalto al agregado.

La cal como aditivo se le adiciona a los agregados de baja calidad para poder usarlos en mezclas asfálticas. A veces es difícil de cubrir ciertos agregados con asfalto debido a que sus superficies son silíceas o ácidas. La cal hidratada altamente alcalina, inicia una reacción química que cambia el carácter de la superficie del agregado y neutraliza cualquier componente ácido presente en el asfalto, mejorando también las propiedades de recubrimiento y adhesividad.

La cal hidratada empleada para fines de mejorar la adherencia, deberá cumplir con requerimientos que señalan las especificaciones estándar de la ASTM C-207 Tipo N, en las cuales el contenido de óxido de calcio más óxido de magnesio, no deberá ser menor del 95%, por lo tanto de no cumplir dicho requisito, su empleo sería solamente como filler rellenador de vacíos y no como aditivo mejorador de adherencia.

Luego de realizar el Análisis Químico de la Cal Hidratada procedente de Cales Santa Clara S.A. se obtuvo que el contenido de Cal Activa es 90.1, por lo tanto el grado de susceptibilidad de daños por humedad no es tan significativa como las que poseen valores bajos de cal activa.

4.7.3 Aspectos Físico-Mecánicos

Además de las características químicas de la cal, se realizan ensayos para determinar sus características físico-mecánicas que son esenciales para el diseño de la mezcla asfáltica si cumplen con los requisitos exigidos.

4.7.3.1 Análisis Granulométrico del Relleno Mineral. MTC E216, AASHTO T-37, ASTM D546

Se realiza el ensayo para conocer la granulometría de la cal a utilizarse en la mezcla asfáltica y la adición de finos. La cal hidratada en estudio tuvo la siguiente granulometría:

Malla	% Que Pasa
600 μm (N° 30)	100
300 μm (N° 50)	100
75 μm (N° 200)	97

Como se observa, la granulometría de la cal cumple con las exigencias especificadas, teniendo el mayor porcentaje en la malla N° 200.

4.7.3.2 Gravedad Especifica MTC E206, AASHTO T-85, ASTM C127

Es de igual importancia que en los agregados conocer el peso específico de la cal, porque la cantidad de este material está determinado en proporción al peso del diseño de la mezcla.

- *Volumen Aparente*, es el volumen de un sólido permeable incluyendo en su volumen la parte de vacíos accesibles al agua en las condiciones que se establezcan.
- *Peso Específico Aparente*, se define como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente.

ENSAYO	CAL HIDRATADA SANTA CLARA
Peso Específico Aparente	2.325

4.7.3.3 Índice de Plasticidad. <N°200. MTC E111, AASHTO T-90, ASTM D424

Es necesario que el Índice de Plasticidad se determine para controlar la sensibilidad de la cal hidratada al agua.

ENSAYO	CAL HIDRATADA SANTA CLARA
Índice de Plasticidad < N°200	NP

Como la cal es No Plástica, entonces no tendremos problemas en cuanto a la humedad.

CAPITULO 5 EVALUACION DE MATERIALES ASFALTICOS Y ADITIVOS

EVALUACION DE MATERIALES ASFALTICOS Y ADITIVOS

5.1 CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperatura ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

El asfalto usado en pavimentación, llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregados y, por lo tanto, es un excelente ligante. Además es un excelente impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales; lo que significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil, y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman las medidas durante la construcción para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes como se muestra en los siguientes cuadros: Viscosidad en asfalto original (Cuadro 5.1), Viscosidad después de envejecimiento (Cuadro 5.2) y Penetración (Cuadro 5.3). Esta última clasificación es con la que las entidades trabajan y exigen en las especificaciones.

CUADRO 5.1
SISTEMA DE CLASIFICACION POR VISCOSIDAD A 60°C (AASHTO M 226)
(Clasificación basada en asfalto original)

PRUEBA	Grado de Viscosidad					
	AC - 2.5	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 30	AC - 40
Viscosidad, 60°C, poises	250+/-50	500+/-100	1000+/-200	2000+/-400	3000+/-600	4000+/-800
Viscosidad, 135°C, Cs-mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración 25°C, 100 g. 5 s/min	220	140	80	60	50	40
Punto Inflamador, Ensayo Cleveland, °C (°F)-mínimo	163 (325)	177 (350)	219 (425)	232 (450)	232 (450)	232 (450)
Solubilidad en Tricloroetileno, %-mínimo	99	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO						
Pérdida por calentamiento, %-máximo (opcional) (3)		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60°C, poises-máximo	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm-mínimo	100 (1)	100	75	50	40	250
Prueba de la Mancha (cuando y como se especifique) (2) con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					

(1) Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100.

(2) El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba. En el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

(3) El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

CUADRO 5.2
SISTEMA DE CLASIFICACION POR VISCOSIDAD A 60°C (AASHTO M 226)
(Clasificación basada en el residuo del ensayo de RTFO)

PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T 240 (1)	Grado de Viscosidad				
	AR - 10	AR - 20	AR - 40	AR - 80	AR - 160
Viscosidad, 60°C, poises	1000+/-250	2000+/-500	4000+/-1000	8000+/-2000	16000+/-4000
Viscosidad, 135°C, Cs-mínimo	140	200	275	400	550
Penetración 25°C, 100 g. 5 s/min	65	40	25	20	20
% de Pen original, 25°C-mínimo	-	40	45	50	52
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm-mínimo	100 (2)	100 (2)	75	50	52
Pruebas sobre el asfalto original					
Punto Inflamador, Ensayo Cleveland, °C (°F)-mínimo	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubilidad en Tricloroetileno, %-mínimo	99	99	99	99	99

(1) AASHTO T 179 (TFO) puede ser usado, pero AASHTO T 240 deberá ser el método de referencia.

(2) Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100.

La abreviación AR corresponde a "Residuo Envejecido"

CUADRO 5.3
SISTEMA DE CLASIFICACION POR PENETRACION (AASHTO M 20)

Características	Grado de Penetración									
	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150		200 - 300	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g. 5 s. 0.1 mm.	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto Inflamador, Ensayo Cleveland, °F	450	-	450	-	450	-	425	-	350	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	-	-	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99	-	99	-	99	-	-	-	99	-
TFO, 3.2 mm, 163°C, 5 horas										
Pérdida por calentamiento, %	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5
Penetración del residuo, % del original	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Ductilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
Prueba de la Mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con:										
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados									

NOTA: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba, y en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

El Superpave utiliza un sistema completamente nuevo de especificaciones, en el cual tiene como base la performance vial y los ligantes se seleccionan en función al clima. La temperatura para la cual los requerimientos deben cumplirse es lo que diferencia a los varios grados de ligantes. Por ejemplo, un ligante clasificado como PG 64-22 debe satisfacer los requerimientos de las propiedades físicas a altas temperaturas hasta los 64°C y a bajas temperaturas hasta -22°C.

El Cuadro 5.4 detalla los grados de ligantes usados en las especificaciones Superpave. Los grados PG 76 y 82 son usados sólo para incluir cargas a bajas velocidades o cargas estacionales o excesivo tránsito de camiones.

**CUADRO 5.4
GRADO DEL LIGANTE DE SUPERPAVE**

ALTA TEMPERATURA	BAJA TEMPERATURA
PG 46-	34, 40, 46
PG 52-	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG 58-	16, 22, 28, 34, 40
PG 64-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 70-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 76-	10, 16, 22, 28, 34
PG 82-	10, 16, 22, 28, 34

En la Figura 5.1 se muestra el Mapa de Áreas Geográficas del Perú para la Selección del Tipo de Ligante, en base a las condiciones climáticas. Este Mapa ha sido realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante la Oficina de Apoyo Tecnológico a cargo de la Ing. Mercedes Sancho; en el cual al investigar los diferentes cementos asfálticos que se producen en nuestro país, concluye lo siguiente:

LIGANTE ASFALTICO	
CONVENCIONAL	SUPERPAVE
PEN 60 - 70	PG 64 - 16
PEN 85 - 100	PG 58 - 16
PEN 120 - 150	PG 52 - 28

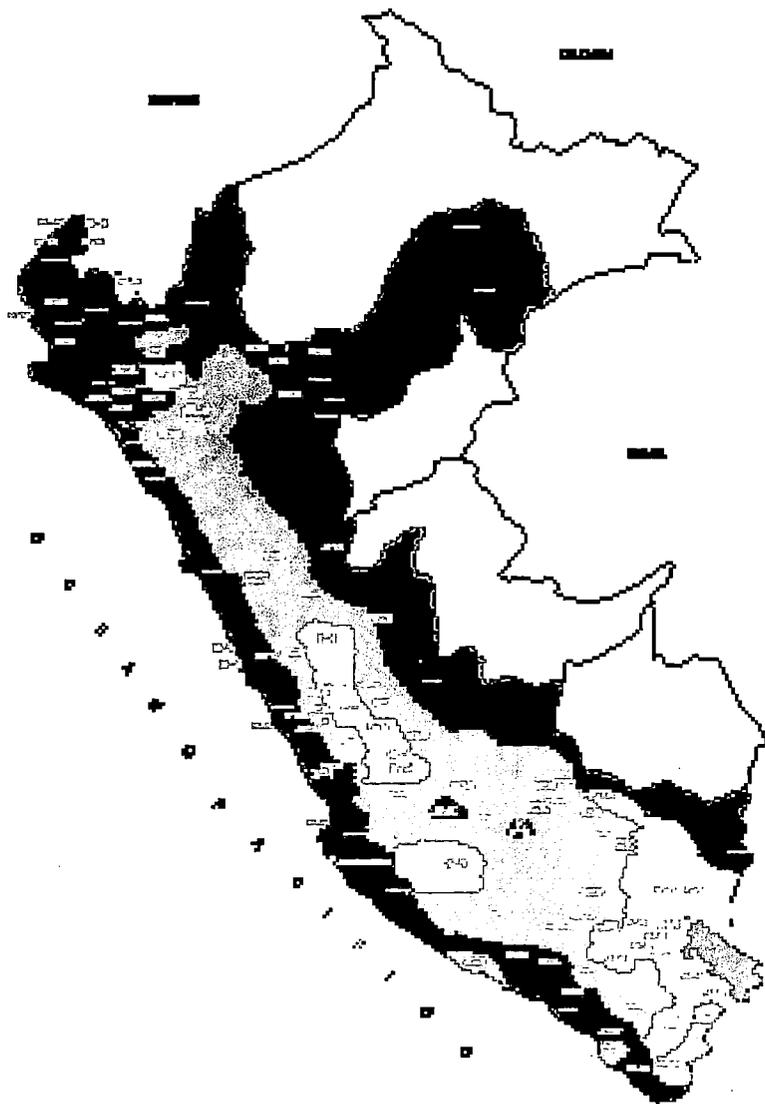


FIGURA 5.1
SELECCIÓN DE GRADOS DE ASFALTO SUPERPAVE

Altura \leq 500 – 2400 m.s.n.m.

- PG 52 – 10
- PG 58 – 10; 58 – 16
- PG 64 – 10

Altura entre 2400 – 4400 m.s.n.m.

- PG 46 – 10; 46 – 16, 46 - XX
- PG 52 – 10, 52 – 16, 52 – 28.
- PG 58 – 10

Alturas mayores de 4400 m.s.n.m.

- PG 46 – 10, 46 – 16, 46 – XX

Alturas entre 80 – 1000 m.s.n.m.

- PG 52 – 10
- PG 58 – 10
- PG 64 – 10

5.1.1 Propiedades Químicas del Asfalto

El asfalto tiene propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Pero lamentablemente los ensayos existentes para analizar la composición química requieren de equipos sofisticados, y la influencia de su composición química en el comportamiento en la estructura del pavimento es aún tema de investigación. Una descripción química del asfalto ayudará a entender la naturaleza del material.

El asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. Cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito, y son los que le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano, son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte de los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos pueden variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburos con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas

para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando un aumento en la viscosidad del asfalto.

5.1.2 Propiedades Físicas del Asfalto

El asfalto es el material aglomerante empleado para la fabricación de mezclas asfálticas. Debido a sus propiedades es posible recubrir las partículas de los agregados, adherirse a su superficie, y una vez compactada y enfriada, desarrollar una cohesión entre las partículas transformando las partículas sueltas en una mezcla capaz de resistir el paso de los vehículos.

5.1.2.1 Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Existen pruebas rutinarias para evaluar la durabilidad del asfalto, como la Prueba de película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO).

5.1.2.2 Adhesión y Cohesión

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; mas bien, el ensayo es del tipo “califica - no califica”, y si es, o no, lo suficientemente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

- *Adhesión*, es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.
- *Cohesión*, es la capacidad del asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.

5.1.2.3 Susceptibilidad a la Temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos, se vuelven más duros a medida que su temperatura disminuye, y más blandos a medida que su temperatura aumenta. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si tienen el mismo grado de consistencia; indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

5.1.2.4 Endurecimiento y Envejecimiento

El endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación, el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto, como ocurre durante el mezclado. No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse.

El endurecimiento del asfalto continua en el pavimento después de la construcción, debido a la oxidación y polimerización, los cuales pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento una cantidad pequeña de vacíos de aire interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

5.1.3 Ensayos para Determinar las Propiedades del Cemento Asfáltico

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la American Society for Testing and Materials (ASTM) han adoptado las especificaciones a que se ha hecho referencia últimamente para la clasificación de cementos asfálticos. En la siguiente tabla se muestra una lista de ensayos con el método apropiado según AASHTO o ASTM.

**CUADRO 5.5
ENSAYOS REQUERIDOS POR EL CEMENTO ASFALTICO**

Ensayo	Método de Ensayo		Especificaciones	
			AASHTO M226 (1) ASTM D3381 (1)	AASHTO M20 ASTM D946
	AASHTO	ASTM	Clasif. Viscosidad	Clasif. Penetración
Viscosidad absoluta	T202	D2171	X	----
Viscosidad cinemática	T201	D2170	X	----
Penetración	T49	D5	X	X
Punto de Inflamación (COC)	T48	D92	X	X
Película delgada en horno	T179	D1754	X	X
Película delgada en horno rotatorio	T240	D2872	X	----
Ductilidad	T51	D113	X	X
Solubilidad en tricloroetileno	T44	D2042	X	X
Ensayo de la mancha (2)	T102	----	X	X
Agua	T55	D95	X	X
Punto de ablandamiento	T53	D36	----	----
Peso Específico	T43	D70	----	----

(1) AASHTO M226 y ASTM D3381 tiene tres tablas de límites de especificaciones. Las dos primeras se basan en el asfalto original, mientras que la tercera se basa en el residuo del ensayo de película delgada en horno rotatorio.

(2) Ensayo opcional requerido por la AASHTO

5.1.3.1 Viscosidad. MTC E308, AASHTO 7-202. MTC E310, AASHTO T-201.

La viscosidad a 60°C (140°F) es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio.

La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que esta siendo diseñado.

5.1.3.2 Penetración. MTC E304, AASHTO T-49.

Este ensayo es otra medida de consistencia, la cual se basa en impedir que sean usado los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C. La medida de penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0.1 mm. También se realiza el ensayo a distintas temperaturas.

5.1.3.3 Punto de Inflamación. MTC E303, AASHTO T-48.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico, indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de una llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a la que el material ardería. Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual éste puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame usando comúnmente el Ensayo de Copa Abierta de Cleveland. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema.

5.1.3.4 Ensayo de Película Delgada en Horno (TFO) y Ensayo de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). MTC E316, AASHTO T-240.

Estos ensayos no son en realidad ensayos, sino procedimientos que exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan a las ocurridas

durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuadas sobre las muestras obtenidas después de estos ensayos, son usados para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

5.1.3.5 Ductilidad. MTC E306, AASHTO T-51.

Es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo extensión para el que se moldea una probeta en condiciones y medidas normalizadas. Se la lleva a una temperatura de 25°C (77°C) y se separa una parte de la probeta de la otra a una velocidad de 5 cm/min, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad es la distancia a la cual se rompe dicho hilo en centímetros.

5.1.3.6 Solubilidad. MTC E302, AASHTO T-44.

Es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas (materia inerte) como las sales, el carbón libre y los contaminantes inorgánicos, no se disuelven sino que se depositan en forma de partícula. Generalmente se usa tricloroetileno, que es menos peligroso que el bisulfuro de carbono y otros solventes.

5.1.3.7 Punto de Ablandamiento (Anillo Y Bola). MTC E307, AASHTO T-53, ASTM D2398.

El cemento asfáltico es un material viscoelástico y no cambia del estado sólido al líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura va en aumento.

Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones, se emplea para indicar a que temperatura los asfaltos se hacen fluidos.

5.1.3.8 Ensayo de la Mancha (Oliensis). MTC E314, AASHTO T-102.

Es un procedimiento que permite comprobar si un asfalto ha sido sometido a temperaturas capaces de originar procesos de descomposición térmica (cracking) o si ha sido contaminado con productos que los hayan tenido. Se ha demostrado que los asfaltos que han sufrido cracking en el proceso de refinado envejecen bajo el efecto de los agentes atmosféricos mucho más rápido.

5.1.3.9 Peso Específico. MTC E318, ASTM D70.

Es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual al agua, ambos a una temperatura determinada. Es importante conocer el peso específico del cemento asfáltico porque el asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando se enfría, lo que significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas y también porque es esencial para la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.

- *Peso específico*, es la relación entre el peso de un volumen dado del material a 25°C (77°F) o a 15.6°C (60°F) y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura y se expresa en la siguiente forma:

Peso específico, 25/25°C (77/77°F) o 15.6/15.6°C (60/60°F)

5.1.3.10 Índice de Penetración

Mide la susceptibilidad térmica del asfalto. Mientras más bajo sea el IP, más susceptible es el asfalto a los cambios de temperatura. La escala de

variación está entre -1.0 y $+1.0$, según las especificaciones (normas francesas).

5.1.4 Análisis de Resultados

Como se muestra a continuación en el Cuadro 5.6, los resultados obtenidos luego de ensayar 3 muestras diferentes de cemento asfáltico de penetración 120-150, procedente de una de las refinерías productoras de asfalto en nuestro país, cumplen con las especificaciones exigidas. Por lo tanto el cemento asfáltico puede ser usado en la mezcla sin ningún problema.

CUADRO 5.6
RESUMEN DE RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

ENSAYOS	CEMENTO ASFALTICO DE PENETRACION 120-150				
	MUESTRAS			ESPECIFICACIONES	
	01	02	03	Min.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g. 5 s. 0.1 mm.	131	135	140	120	150
Punto de Inflamación, Copa Abierta, °C	272	281	279	218	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	+100	+100	+100	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99.95	99.94	99.96	99	-
Penetración del residuo, % del original	55	59.3	54.5	42	-
Ductilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm	+100	+100	+100	100	-
Pérdida por calentamiento, %	0.6	0.62	0.57	-	1.3
Ensayo de la Mancha (Oliensis):					
Solvente nafta estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	
Solvente nafta-xileno, % xileno	-	-	-	-	
Solvente heptano-xileno, % xileno	-	-	-	-	
Indice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	0.48	0.3	0.58	-1.0	+1.0

5.2 ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

Los aditivos son productos químicos que se incorporan a la mezcla asfáltica, además de los agregados, filler mineral y cemento asfáltico, con el objeto de modificar alguna propiedad de la mezcla asfáltica ya sea para mejorar su resistencia a la fisuración, reducir su potencial

de oxidación o reducir su sensibilidad a la acción del agua. Sin embargo, el uso del aditivo no se debe considerar como un curatodo y no se debe emplear como un sustituto de una buena práctica de construcción.

Un aditivo mejorador de adherencia se utiliza cuando las características del asfalto a ser utilizado hace poco efectivo o totalmente inefectivo a otros aditivos como son el cemento portland y la cal hidratada que, en ciertos casos, bajo el denominativo de filler se incorporan a la mezcla no sólo para mejorar las condiciones de adherencia sino también como mejoradores de las propiedades mecánicas de la mezcla.

Si bien el uso de un aditivo incrementa el costo inicial de un pavimento en comparación del mismo sin la mencionada sustancia, la experiencia de su uso demuestra que la presencia del producto induce mejoras en el comportamiento de la mezcla en la primera parte de su vida útil traducidas en una cohesión satisfactoria, una estabilidad adecuada a los requerimientos del proyecto y un buen curado de la mezcla colocada y compactada.

Entre los aditivos más utilizados para mejorar la adherencia de los agregados figuran los productos orgánicos compuestos por sustancias de peso molecular elevado como son las aminas. Los aditivos de tipo orgánico son, en general, productos derivados del petróleo o compuestos poliméricos que reducen la sensibilidad de las mezclas a la acción de las aguas al reducir en gran parte la permeabilidad de los concretos asfálticos o al modificar su comportamiento con respecto a las fuerzas electroquímicas que generan la adherencia agregado - ligante asfáltico. La cantidad adecuada que se debe usar dependerá de ensayos de laboratorio, sin embargo la dosificación recomendada para su uso varía entre 0.5 a 1.0% del peso del asfalto, dependiendo del tipo de agregado, condiciones de humedad, naturaleza del asfalto, etc.

5.2.1 Ventajas del Uso de Aditivo

- Hace utilizable los agregados hidrofílicos, muchas veces los únicos disponibles en la zona, y que tiene buenas características físicas y mecánicas.

- Permite el uso de agregados húmedos obteniéndose un buen revestimiento y una firme adhesividad.
- Resuelve problemas en zonas lluviosas, en donde no es posible colocar mezclas asfálticas o riegos de asfalto líquidos, sobre bases húmedas, o en donde pueda desarrollarse lluvias inmediatas a la colocación de un tratamiento de pavimentación.
- Se consigue pavimentos que conservan sus propiedades de adhesividad, por ser resistentes al agua y por lo tanto, son más durables con la consiguiente reducción de costos de conservación y mantenimiento.

5.2.2 Aplicaciones

- En todo tipo de mezclas asfálticas: en frío y en caliente.
- En tratamientos superficiales, sellos, etc.
- Imprimación de bases o afirmados húmedos o bases de suelos salitrosos.
- Capa ligante sobre pavimentos antiguos, a fin de obtener una perfecta adherencia entre las capas.
- Estabilización de suelo-asfalto, para base de carreteras.
- En todo tratamiento asfáltico sobre superficies de concreto.

5.2.3 Control de Calidad

Se efectúa determinando el comportamiento del producto según ensayo de "Desprendimiento" ASTM D1664 con agregados húmedos y en el ensayo de Riedel Weber para los agregados finos.

5.2.4 Precauciones en el Manejo

Puede causar irritación si se deja permanecer en contacto con la piel, cualquier pequeña cantidad debe ser removida, el área de contacto será lavada con vinagre y

enjuagada con suficiente cantidad de agua, luego se lavará con jabón y por último con agua para asegurar la completa remoción.

5.2.5 Análisis de Resultados

Para el presente estudio se realizaron ensayos de Riedel Weber para comprobar la afinidad del agregado con el ligante asfáltico. Como se observó en el Cuadro 4.5 Resumen de Resultados de Análisis de Laboratorio del Capítulo 4 “Evaluación de Agregados”, el ensayo Riedel Weber no cumple con las arenas en estudio.

Se realizó el ensayo con la mezcla de las arenas según el diseño de mezcla y con adición de cal. Posteriormente se realizó el ensayo con la adición de 2 tipos de aditivos mejoradores de adherencia en diferentes proporciones, obteniéndose los siguientes resultados:

**CUADRO 5.7
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO RIEDEL WEBER**

INDICE DE ADHESIVIDAD	MEZCLA DE ARENA							
	SIN ADITIVO			CON ADITIVO Y 2% CAL				
	NATURAL	1% CAL	2% CAL	ADITIVO TIPO 1			ADITIVO TIPO 2	
0.5%				1.0%	1.5%	0.5%	1.0%	
Grado 0	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay
Grado 1	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay	No hay
Grado 2	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 3	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 4	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 5	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 6	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 7	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 8	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 9	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Grado 10	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total

Según los resultados obtenidos, no se consigue ninguna mejora en cuanto al resultado del ensayo Riedel Weber, por lo tanto se considera que la cantidad de cal

a utilizarse será según el diseño marshall. Considerando que en el mercado existen varios tipos de aditivos, se consideró usar el aditivo tipo 1 como solución para mejorar las características de afinidad de los agregados con respecto al cemento asfáltico, y además por ser el aditivo cuyo comportamiento ha sido comprobado en varios proyectos, teniendo buenos resultados.

CAPITULO 6

DISEÑO DE

MEZCLAS

ASFALTICAS

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en una combinación de agregados uniformemente mezclados recubiertos por cemento asfáltico. Para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del cemento asfáltico, además de lograr adecuada trabajabilidad y mezclado, deben ser calentados tanto el agregado como el asfalto antes del mezclado; de ahí el término **“Mezcla en Caliente”**.

El concreto asfáltico es un tipo de mezcla en caliente sometida a requerimientos estrictos, por lo cual deberá ser bien definida exactamente. Es una mezcla de alta calidad, cuidadosamente controlada, de cemento asfáltico y agregado bien graduado y de gran rendimiento, enteramente compactada llevándola a una masa de densidad uniforme tipificada como mezcla de graduación cerrada o densa para pavimentación.

6.1 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA

Una muestra de mezcla asfáltica preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento, el cual está enfocado en cuatro características y la influencia que éstas pueden tener en el comportamiento de la mezcla.

6.1.1 Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (peso de un volumen específico de mezcla). Es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento para obtener un rendimiento duradero. La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en densidad patrón y es usada como referencia para determinar la densidad del pavimento terminado. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un

porcentaje de la densidad del laboratorio, debido a que muy rara vez la compactación in-situ logra el valor obtenido en el laboratorio.

6.1.2 Vacíos de Aire

Los vacíos de aire son pequeños espacios de aire que están presentes entre los agregados en la mezcla compactada. Es necesario que las mezclas densamente graduadas contengan un cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto. El porcentaje permitido de vacíos está entre 3 y 5%, dependiendo del diseño especificado. La durabilidad de un pavimento asfáltico depende del contenido de vacíos. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados, a mayor densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla.

6.1.3 Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

Existen valores mínimos, anteriormente descritos en el Capítulo 3 “Antecedentes”, los cuales están recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de los agregados más durable será la mezcla, por lo que se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado obteniendo valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar películas delgadas de asfalto, mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto es

perjudicial para la calidad del pavimento, disminuir la cantidad de asfalto para economizar.

6.1.4 Contenido de Asfalto

El contenido de asfalto se establece mediante el diseño de mezcla utilizado. El contenido óptimo, depende de las características del agregado tales como la granulometría y capacidad de absorción. Cuanto mayor cantidad de finos contenga la graduación de la mezcla mayor será el área superficial total, y será mayor la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por el contrario, las mezclas más gruesas exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

- *El contenido total del asfalto*, es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla.
- *El contenido efectivo del asfalto*, es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es decir es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo del asfalto se obtiene restando la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

Por lo tanto, la capacidad de absorción de un agregado es una característica importante en la definición del contenido de asfalto en una mezcla.

6.2 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas asfálticas consiste en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas en el pavimento terminado, el cual contribuirá a la buena calidad de ésta. Por lo tanto, es importante estar consciente de qué significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada y qué representa.

6.2.1 Estabilidad

Es la capacidad de resistir deformaciones provocadas por las cargas del tránsito. La estabilidad debe ser lo suficientemente alta para mantener su forma y lisura bajo las cargas del tránsito esperado, pero no tan alto como para producir pavimentos demasiados rígidos y por lo tanto menos durables. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción interna y la cohesión.

La fricción entre las partículas está relacionada con las características del agregado en cuanto a la forma y la textura superficial, entre más angular sea el agregado y más áspera sea su textura, más alta será la estabilidad de la mezcla. También la estabilidad aumenta con la densificación de las partículas mediante granulometrías cerradas y una adecuada compactación.

La cohesión es la fuerza aglutinante de la mezcla, la cual varía con la intensidad de la carga, el área cargada y la viscosidad del asfalto. El contenido y naturaleza del filler y del ligante, también influyen en la estabilidad de la mezcla.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento como se muestra a continuación:

CAUSAS	EFFECTOS
<ul style="list-style-type: none">- Exceso de asfalto en la mezcla- Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla- Agregado redondeado sin, o pocas superficies trituradas	<ul style="list-style-type: none">- Ondulaciones, ahuellamiento y exudación- Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, dificultad en la compactación- Ahuellamiento y canalización

6.2.2 Durabilidad

Es la capacidad de resistir la desintegración debida al tránsito y al clima. La durabilidad de las mezclas dependen, hasta cierto punto, de los materiales que lo componen. La causa de la desintegración y rotura del ligante está ligado con su envejecimiento debido a la oxidación y volatilización. La durabilidad de una mezcla puede ser mejorada teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Mayor cantidad posible de asfalto, porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como las películas delgadas. Sella un gran porcentaje de vacíos haciendo difícil la penetración del aire y agua, pero se debe de dejar un cierto porcentaje de vacíos para permitir la expansión del asfalto.
- Graduación densa del agregado, duro y resistente a la separación; el cual mejora la impermeabilidad de la mezcla, resiste la desintegración bajo cargas del tránsito y la acción del agua. La resistencia a la separación puede ser mejorada con la adición de aditivos mejoradores de adherencia o rellenos minerales como la cal hidratada.
- Compactación de la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad posible para evitar el ingreso de agua y aire en el pavimento.

Algunas causas y efectos asociados con una poca durabilidad del pavimento:

CAUSAS	EFECTOS
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo contenido de asfalto - Alto contenido de vacíos en la mezcla - Agregados susceptibles al agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado - Endurecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento o desintegración - Desprendimiento del asfalto, dejando un pavimento desgastado o desintegrado

6.2.3 Impermeabilidad

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Al mejorar la impermeabilidad aumenta su durabilidad, se tiene un alto contenido de ligante, una estructura cerrada y una buena compactación en obra.

Los efectos asociados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos de graduación densa pueden ser debido a:

CAUSAS	EFFECTOS
- Bajo contenido de asfalto	- Las películas delgadas de asfalto causarán un envejecimiento y desintegración de la mezcla
- Alto contenido de vacíos en la mezcla	- Fácil penetración del agua y aire en la mezcla, causando oxidación y desintegración
- Compactación inadecuada	- Alto porcentaje de vacíos causando infiltración de agua y baja estabilidad

6.2.4 Trabajabilidad

Es la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, tipo de agregado y/o granulometría. Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conoce como mezclas tiernas, las cuales son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. El asfalto tiene algún efecto sobre la trabajabilidad debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que sea poco manejable mientras que una temperatura demasiado alta hará que la mezcla se vuelva tierna.

Algunas causas y efectos relacionados con la mala trabajabilidad se mencionan a continuación:

CAUSAS	EFECTOS
<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño máximo de partícula: grande - Demasiada cantidad de agregado grueso - Muy baja temperatura de mezcla - Demasiada arena de tamaño medio - Bajo contenido de relleno mineral - Alto contenido de relleno mineral 	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie áspera, difícil de colocar - Puede ser difícil de compactar y tendencia a segregarse durante su manejo - Agregado sin revestir, mezcla poco durable, superficie áspera, difícil de compactar - La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna - Mezcla tierna, altamente permeable - Mezcla muy viscosa, difícil de manejar y compactar, poco durable

6.2.5 Flexibilidad

Es la capacidad para acomodarse sin que se agriete, asentamientos graduales y a movimientos en la base y la subrasante. Los asentamientos diferenciales ocurren ocasionalmente, debido a las cargas del tránsito y los movimientos por la expansión del suelo. Por esta razón el pavimento asfáltico debe tener la capacidad de adaptarse a los asentamientos localizados o diferenciales sin quebrarse. La flexibilidad de una mezcla asfáltica aumenta con altos contenidos de ligante y agregados de granulometría relativamente abierta.

6.2.6 Resistencia a la Fatiga

Capacidad de soportar flexiones repetidas causadas por las cargas de tránsito. Cuanto mayor es la cantidad de asfalto, mayor es la resistencia a la fatiga, sin producir exudación o afloramiento en el pavimento compactado. Las pruebas indican que las mezclas de graduación cerrada tienen mayor resistencia a la fatiga que las de graduación abierta. La resistencia a la fatiga puede relacionarse íntimamente con el módulo de rigidez, es decir cuando aumenta la rigidez disminuye la fatiga.

Se presenta a continuación varias causas y efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga:

CAUSAS	EFFECTOS
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo contenido de asfalto - Altos porcentajes de vacíos - Falta de compactación - Espesor inadecuado del pavimento (delgado) 	<ul style="list-style-type: none"> - Agrietamiento por fatiga - Envejecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento por fatiga - Envejecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento por fatiga - Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

6.2.7 Resistencia al Desplazamiento

Capacidad de la superficie del pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al resbalamiento o desplazamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. En general los factores que proporcionan una alta resistencia al deslizamiento son los que contribuyen a una alta estabilidad y la naturaleza de los áridos. Una superficie áspera y rugosa tendrá mayor resistencia al desplazamiento que una superficie lisa. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos.

Los efectos asociados con una mala resistencia al deslizamiento pueden ser a causa de:

CAUSAS	EFFECTOS
<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de asfalto - Agregado mal graduado o con mala textura - Agregado pulido en la mezcla 	<ul style="list-style-type: none"> - Exudación, poca resistencia al deslizamiento - Pavimento liso, posibilidad de hidropilano (neumático rueda sobre una película de agua) - Poca resistencia al deslizamiento

6.2.8 Resistencia a la Rotura

Es la máxima tracción que puede soportar una mezcla asfáltica. La resistencia aumentará cuanto más reducido sea el tiempo de carga y menor la temperatura. La rotura puede producirse por efecto de las cargas de la circulación y tensiones que producen los cambios de temperatura o la acción del hielo. Los factores que influyen la resistencia a la rotura son el contenido de ligante, granulometría y naturaleza de los áridos, concentración de filler y densidad de la mezcla. Las mezclas sufren cambios de volumen como consecuencia de los cambios de temperatura. Si están restringidos por la fricción con otras capas del firme, se desarrollarán tensiones que pueden provocar la rotura del pavimento o colaborar en la misma.

CARACTERISTICAS DESEABLES PARA OPTIMIZAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Propiedades de la Mezcla	Contenido de Ligante	Granulometría de los Aridos	Grado de Compactación
Estabilidad	Bajo	Cerrada	Alto
Durabilidad	Alto	Cerrada	Alto
Impermeabilidad	Alto	Cerrada	Alto
Trabajabilidad	Alto	Cerrada	Alto
Flexibilidad	Alto	Abierta	----
Resistencia a la Fatiga	Alto	Cerrada	Alto
Resistencia al Deslizamiento	Bajo	Cerrada o Abierta	Alto
Resistencia a la Rotura	Alto	Cerrada	Alto

Se puede concluir que las mezclas con altos contenidos de asfalto, granulometría de tipo cerrado y adecuadas compactaciones en obra, son las que garantizan un mejor comportamiento.

6.3 DISEÑO Y ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SUPERPAVE

En la presente investigación no se ha considerado los criterios Superpave para el diseño de la mezcla asfáltica. Con el fin de familiarizar y dar un alcance de los procedimientos y equipos de ensayo que utiliza esta tecnología, en los capítulos anteriores se ha descrito muy brevemente los requerimientos exigidos y los criterios empleados para la clasificación de los materiales que conforman la mezcla. Así mismo, a continuación se describe los ensayos que se realizan para el diseño de mezcla.

Dos aspectos claves en el Sistema Superpave son: la compactación en el laboratorio y los ensayos de performance. La compactación se realiza con el Compactador Giratorio Superpave (Superpave Gyrotory Compactor, SGC). Este equipo fue diseñado para poder compactar en forma realista los especímenes de mezcla a la densidad alcanzada bajo las condiciones de clima y carga del pavimento, poder identificar el comportamiento de una potencial mezcla blanda (tender mixture) y otros problemas similares de compactación.

Los ensayos basados en la performance son: el Ensayo de Corte Superpave (Superpave Shear Tester, SST) y el Ensayo de Tracción Indirecta (Indirect Tensile Tester, IDT). Con el SST se realiza 6 ensayos sobre las muestras de MAC ejecutados a varias temperaturas para simular las temperaturas reales del pavimento. Si bien una parte de los ensayos apunta al fisuramiento por fatiga, el SST es una herramienta de diseño para evitar deformaciones permanentes. El IDT es usado para medir el “creep compliance” y la resistencia a tracción de la MAC, es una herramienta para el diseño contra el fisuramiento tanto por fatiga como por baja temperatura.

Los procedimientos de ensayo y los modelos de predicción de la performance fueron desarrollados de modo que permitiera a un ingeniero estimar la vida de servicio de una futura mezcla asfáltica en caliente en términos de ejes equivalentes (ESALs) o del lapso de tiempo para alcanzar un cierto nivel de ahuellamiento, fisuramiento por fatiga o fisuramiento por baja temperatura.

El Sistema Superpave logra lo que ningún procedimiento de diseño ha logrado: empalma las propiedades de los materiales con las propiedades de la estructura del pavimento para predecir la performance real del pavimento. Debido a que el diseño de mezcla y su análisis es más complejo que los métodos en uso, el alcance de su uso depende del nivel del tránsito para el cual se hace el diseño mostrado en el siguiente cuadro:

Tránsito, ESALs	Niveles de Diseño	Requerimientos de Ensayo ¹
$ESALs \leq 10^6$	1	Diseño Volumétrico
$10^6 < ESALs \leq 10^7$	2	Diseño Volumétrico + Ensayos de Predicción de Performance
$ESALs < 10^7$	3	Diseño Volumétrico + Aumento de los Ensayos de Predicción de la Performance

¹ En todos los casos, la susceptibilidad a la humedad deben ser evaluada usando la norma AASHTO T283

El Diseño Volumétrico, único requerimiento para el diseño de mezclas del Nivel 1, implica la fabricación de los especímenes de ensayo usando el SGC y la selección del contenido de asfalto basados en los vacíos de aire, vacíos del agregado mineral (VMA), vacíos llenados con asfalto (VFA) y la relación polvo llenante (filler) / contenido de asfalto efectivo. Las propiedades de consenso y las propiedades de fuente de origen deben ser cumplidas.

Hay 4 pasos básicos en los ensayos y proceso de análisis:

- **Selección de los Materiales (agregado, ligante, modificadores, etc.).** Consiste en la determinación del tránsito y factores ambientales para el proyecto. A partir de ellos, se selecciona el grado de performance del ligante asfáltico requerido. Las exigencias a cumplir por el agregado se determina en función del nivel de tránsito y de la ubicación del material en la estructura del pavimento. Los materiales son seleccionados en base a su capacidad para satisfacer o superar los criterios establecidos.
- **Selección de la Estructura del Agregado de Diseño (Design Agrégate Structure).** Es un proceso de prueba y error. Consiste en mezclar en diferentes porcentajes los

agregados disponibles para encontrar granulometrías que satisfagan los requerimientos de Superpave, empleando normalmente 3 mezclas de prueba. Una mezcla de prueba (trial blend) es considerada aceptable, si posee las propiedades volumétricas adecuadas (en base a las condiciones de tránsito y medio ambiente) para un previsto contenido de ligante asfáltico de diseño. Una vez seleccionada la mezcla de prueba, se convierte en la estructura del agregado de diseño.

- ***Selección del Contenido de Ligante Asfáltico de Diseño (Design Asphalt Binder Content)***. Consiste en variar la cantidad de ligante asfáltico a mezclar con la estructura del agregado de diseño para obtener propiedades volumétricas y de compactación que satisfagan los criterios de diseño de la mezcla (en base a las condiciones de tránsito y medio ambiente). Es una verificación de los resultados obtenidos en el paso anterior, además permite observar la sensibilidad de las propiedades volumétricas y de compactación de la estructura del agregado de diseño en relación con el contenido de asfalto. La estructura del agregado de diseño con el contenido de ligante asfáltico de diseño se convierte en la fórmula de trabajo de la mezcla (job mix formula).
- ***Evaluación de la Sensibilidad a la Humedad de la Mezcla Diseñada***. Consiste en ensayar la mezcla de diseño según la norma AASHTO T283 para determinar si la mezcla será susceptible a daño por humedad.

Los ensayos de performance se emplean sólo en situaciones de tránsito moderado a alto, es decir, son requeridos sólo para los Niveles 2 y 3. Usan nuevos equipos y procedimientos para asegurar que las mezclas de Superpave alcancen aceptables valores mínimos para los tipos de deterioros considerados (deformación permanente, fisuración por fatiga y fisuración por baja temperatura). En el Cuadro 6.1 se muestra los ensayos de performance para una construcción nueva de dos capas de mezcla asfáltica en caliente y en el Cuadro 6.2 para una mezcla usada en refuerzos.

**CUADRO 6.1
ENSAYOS DE PERFORMANCE (CONSTRUCCION NUEVA)**

Niveles de Diseño	Modos de Deterioro de la Performance		
	Deformación Permanente ¹	Fisuramiento por Fatiga	Fisuramiento por Baja Temperatura
2	Ensayo de corte simple a altura constante a Teff (PD) Ensayo de barrido de frecuencia a altura constante a Teff (PD)	Ensayo de corte simple a altura constante a Teff (FC) Ensayo de barrido de frecuencia a altura constante a Teff (FC) Ensayo de tracción indirecta a Teff (FC)	Creep compliance en tracción indirecta (0, -10, -20°C) Resistencia de tracción indirecta a -10°C Creep stiffness (S) y velocidad de creep (m)
3	Ensayo de barrido de frecuencia a altura constante (4, 20, 40°C) Ensayo de deformación específica uniaxial (4, 20, 40°C) Ensayo volumétrico (4, 20, 40°C) Ensayo de corte simple a altura constante (4, 20, 40°C)	Resistencia a la tracción indirecta (-10, 4, 20°C)	Creep compliance y resistencia en tracción indirecta (0, -10, -20°C)
¹ Para verificar la fluencia terciaria, los niveles 2 y 3 requieren ensayos de corte repetido a relación de tensión constante a Tc			

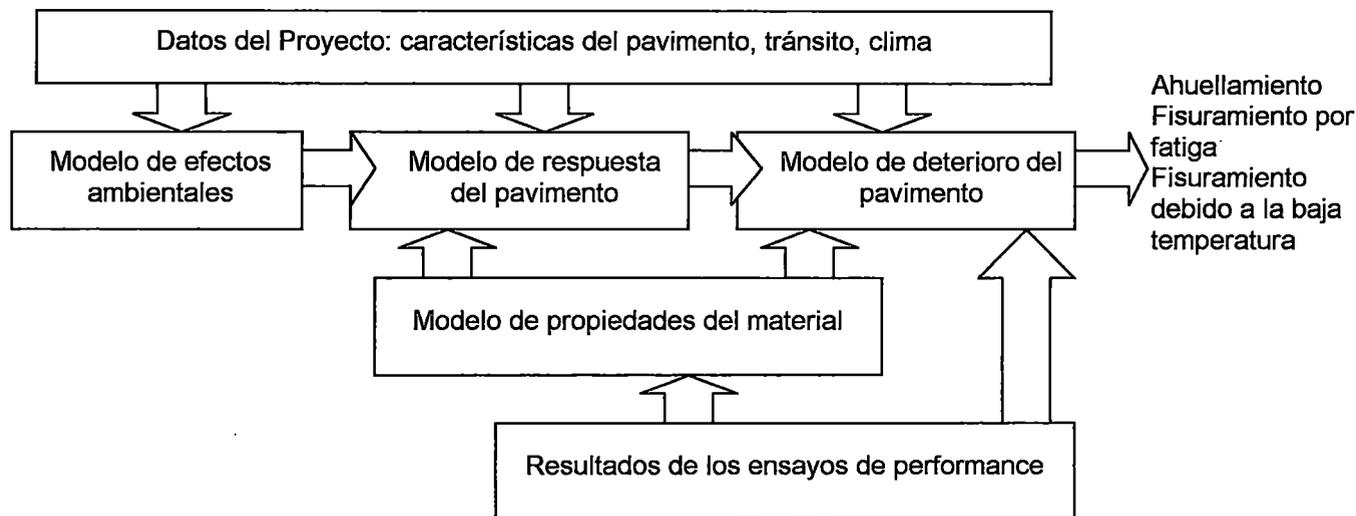
**CUADRO 6.2
ENSAYOS DE PERFORMANCE (REFUERZOS)**

Niveles de Diseño	Deformación Permanente ¹
2	Ensayo de corte simple a altura constante a Teff (PD) Ensayo de barrido de frecuencia a altura constante a Teff (PD)
3	Ensayo de barrido de frecuencia a altura constante (4, 20, 40°C) Ensayo de deformación específica uniaxial (4, 20, 40°C) Ensayo volumétrico (4, 20, 40°C) Ensayo de corte simple a altura constante (4, 20, 40°C)
¹ Para verificar la fluencia terciaria, los niveles 2 y 3 requieren ensayos de corte repetido a relación de tensión constante a Tc	

Los modelos de performance son predicciones algorítmicas que reciben como datos de entrada los resultados de los ensayos de performance y cuya salida es la predicción de la performance del pavimento, no sólo tienen en cuenta la nueva mezcla asfáltica diseñada sino también las características del pavimento in situ.

FIGURA 6.1

ENFOQUE DE PREDICCIÓN DE LA PERFORMANCE DE SUPERPAVE



6.4 DISEÑO SEGÚN MÉTODO MARSHALL. MTC E504, AASHTO T-245, ASTM D1559

Actualmente el Método Marshall es el más usado en el mundo para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Por lo tanto es el método empleado para la presente investigación, además existe el equipo para la realización de los ensayos y es el exigido en nuestras normas peruanas, tanto para el diseño de mezcla en laboratorio como para su control de calidad en campo.

El Método Marshall determina el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, provee información sobre propiedades de la mezcla, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. Es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que usan cemento asfáltico y agregados con tamaños máximos de 1” o menos. Los datos más importantes son el análisis de la relación densidad-vacíos y el ensayo de estabilidad-flujo de las muestras compactadas. Estos análisis garantizan que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Otra ventaja es que el equipo requerido no es caro.

6.4.1 Selección y Combinación de Agregados

El análisis granulométrico y la combinación de los agregados para obtener la granulometría deseada son pasos importantes en el diseño de mezcla, ya que afecta casi todas las propiedades de la mezcla. Se considera los agregados disponibles en la zona para la selección de materiales adecuados que cumplan con las especificaciones de calidad. Los agregados deberán ser los más apropiados y económicos que puedan ser encontrados, por ello es importante determinar la combinación más económica. Cuanto menos sea los tipos de agregados a combinar, más fácil será mantener el control de la mezcla en obra.

Se dispone de cuatro tipos de agregados producidos en obra, dos de arena y dos de grava, previos ensayos de laboratorio (Capítulo 4) cumplen los requerimientos de calidad para ser usados en mezclas asfálticas. Se realizó la combinación de agregados considerando en menor proporción la arena triturada debido al alto costo que genera su producción. Se consideró para el diseño de la mezcla, una graduación cerrada usando el Huso Granulométrico IV-B para capas superficiales (Cuadro 6.3).

En el Cuadro 6.4 se muestra la primera combinación de agregados a la cual denominaremos **Diseño de Mezcla N°1**, obteniéndose una proporción de 30% de grava y 70% de arena, interviniendo 40% de grava de $\frac{3}{4}$ " , 60" de grava de $\frac{1}{2}$ " , 20% de arena triturada y 80% de arena zarandeada. En la Figura 6.2 se muestra que esta combinación de agregados cumple con la especificación, encontrándose dentro del huso granulométrico.

A la vez se realizó el mismo diseño adicionándole 2% de cal hidratada con el fin de reducir los vacíos obtenidos en la mezcla del diseño anterior, denominándolo **Diseño de Mezcla N°2**, llegando casi al límite superior de la especificación granulométrica en la malla N°200, como se muestra en el Cuadro 6.5 y en la Figura 6.3.

**CUADRO 6.3
GRADACION PARA LOS TIPOS DE MEZCLAS ASFALTICAS (continúa)**

N°	I - A	II - A	II - B	II - C	II - D	II - E	III - A	III - B	III - C	III - D	III - E
Usos	Base	Sello	Sello o Capa Superficial	Capa Superficial o Capa Ligante	Capa Ligante o Base	Capa Ligante o Base	Capa Superficial	Capa Superficial de Nivelación o Capa ligante	Capa Ligante	Capa Ligante o Base	Capa Ligante o Base
Espesor Compactado para Capas Individuales	3" - 4"	3/8" - 3/4"	3/4" - 1/2"	1" - 2"	1 1/2" - 3"	3" - 4"	3/4" - 1 1/2"	1" - 2"	1" - 2"	1 1/2" - 3"	3" - 4"
Mallas	<i>Tipo Macadam</i>	<i>Graduación Abierta</i>					<i>Graduación Gruesa</i>				
	Porcentaje que pasa en peso										
2 1/2"	100										
1 1/2"	35-70					100					100
1"					100	70-100				100	75-100
3/4"	0-15			100	70-100	50-80		100	100	75-100	60-85
1/2"			100	70-100			100	75-100	75-100		
3/8"		100	70-100	45-75	35-60	25-50	75-100	60-85	60-85	45-70	40-65
N° 4		40-85	20-40	20-40	15-35	10-30	35-55	35-55	30-50	30-50	30-50
N° 8	0-5	5-20	5-20	5-20	5-20	5-20	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35
N° 16											
N° 30							10-22	10-22	5-20	5-20	5-20
N° 50							6-16	6-16	3-12	3-12	3-12
N° 100							4-12	4-12	2-8	2-8	2-8
N° 200	0-3	0-4	0-4	0-4	0-4	0-4	2-8	2-8	0-4	0-4	0-4
Contenido Normal de Asfalto por peso del total de mezcla	3 - 4.5%	3 - 6%					3 - 6%				
	El límite superior podrá aumentarse si se usa agregado absorbente.										
Limitaciones del tránsito	Ninguna	Ninguna					Ninguna				
Textura Superficial	Muy abierta y porosa	Abierta					Abierta, mediana a gruesa				
Agregado Requerido	La piedra, grava o escoria de altos hornos que se emplee, debe ser dura, sana y fracturada										

CUADRO 6.3
GRADACION PARA LOS TIPOS DE MEZCLAS ASFALTICAS (continuación)

Nº	IV - A	IV - B	IV - C	IV - D	V - A	V - B
Usos	Capa Superficial	Capa Superficial	Capa Superficial o Capa Ligante	Capa Ligante o Base	Capa Superficial	Capa Superficial o de Nivelación
Espesor Compactado para Capas Individuales	3/4" - 1 1/2"	1" - 2"	1 1/2" - 2 1/2"	2" - 3"	3/4" - 1 1/2"	1" - 2"
Mallas	<i>Graduación Cerrada</i>				<i>Graduación Fina</i>	
	Porcentaje que pasa en peso					
2 1/2"						
1 1/2"				100		
1"			100	80-100		
3/4"		100	80-100	70-90		100
1/2"	100	80-100			100	85-100
3/8"	80-100	70-90	60-80	55-75	85-100	
Nº 4	55-75	50-70	48-65	45-62	65-80	65-80
Nº 8	35-50	35-50	35-50	35-50	50-65	50-65
Nº 16						
Nº 30	18-29	18-29	19-30	19-30	25-40	25-40
Nº 50	13-23	13-23	13-23	13-23		
Nº 100	8-10	8-10	7-15	7-15	10-20	10-20
Nº 200	4-10	4-10	0-8	0-8	3-10	3-10
Contenido Normal de Asfalto por peso del total de mezcla	3.5 - 7%				4 - 7.5%	
	El límite superior podrá aumentarse si se usa agregado absorbente.					
Limitaciones del tránsito	Ninguna				Para tránsito muy pesado las variaciones en los porcentajes de los materiales tienden a afectar sensiblemente las mezclas. Por tanto, controlar bien el diseño en laboratorio antes de iniciar la mezcla.	
Textura Superficial	Mediana a fina				Densa y arenosa	
Agregado Requerido	La piedra, grava o escoria de altos hornos que se emplee, debe ser dura, sana y fracturada					

**CUADRO 6.3
GRADACION PARA LOS TIPOS DE MEZCLAS ASFALTICAS (continuación)**

Nº	VI - A	VI - B	VII - A	VII - B
Usos	Capa Superficial	Capa Superficial o de Nivelación, puede usarse como base cuando el agregado grueso es muy costoso	Capa Superficial puede usarse como base cuando el agregado grueso es muy costoso	Capa Superficial puede usarse como base
Espesor Compactado para Capas Individuales	1" - 2"	1" - 2"	1/2" - 1"	1/2" - 1"
Mallas	<i>Lámina de Piedra</i>		<i>Lámina de Arena</i>	
	Porcentaje que pasa en peso			
2 1/2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"	100	100		
3/8"	85-100	85-100	100	
Nº 4			85-100	100
Nº 8	65-80	65-80	80-95	95-100
Nº 16	50-70	47-68	70-89	85-98
Nº 30	35-60	30-55	55-80	70-95
Nº 50	25-48	20-40	30-60	40-75
Nº 100	15-30	10-25	10-35	20-40
Nº 200	6-12	3-8	4-14	8-16
Contenido Normal de Asfalto por peso del total de mezcla	4.5 - 8.5%		7 - 11%	
	El límite superior podrá aumentarse si se usa agregado absorbente.			
Limitaciones del tránsito	Ninguna			
Textura Superficial	Densa y arenosa		Densa y arenosa	
Agregado Requerido	Bien gradado, se prefiere arenas moderadamente angulosas		Bien gradado, se prefiere que sea ligeramente anguloso	
Aplicaciones Sugeridas	Capa Superficial: para calles, campos deportivos, canchas de tenis y pisos de fábricas. Empleado en carreteras cuando el agregado grueso escasea o es muy costoso. Además se emplea como capa niveladora		Como capa superficial en calles. En carreteras se usa cuando los agregados son muy costosos.	
			Para calles	

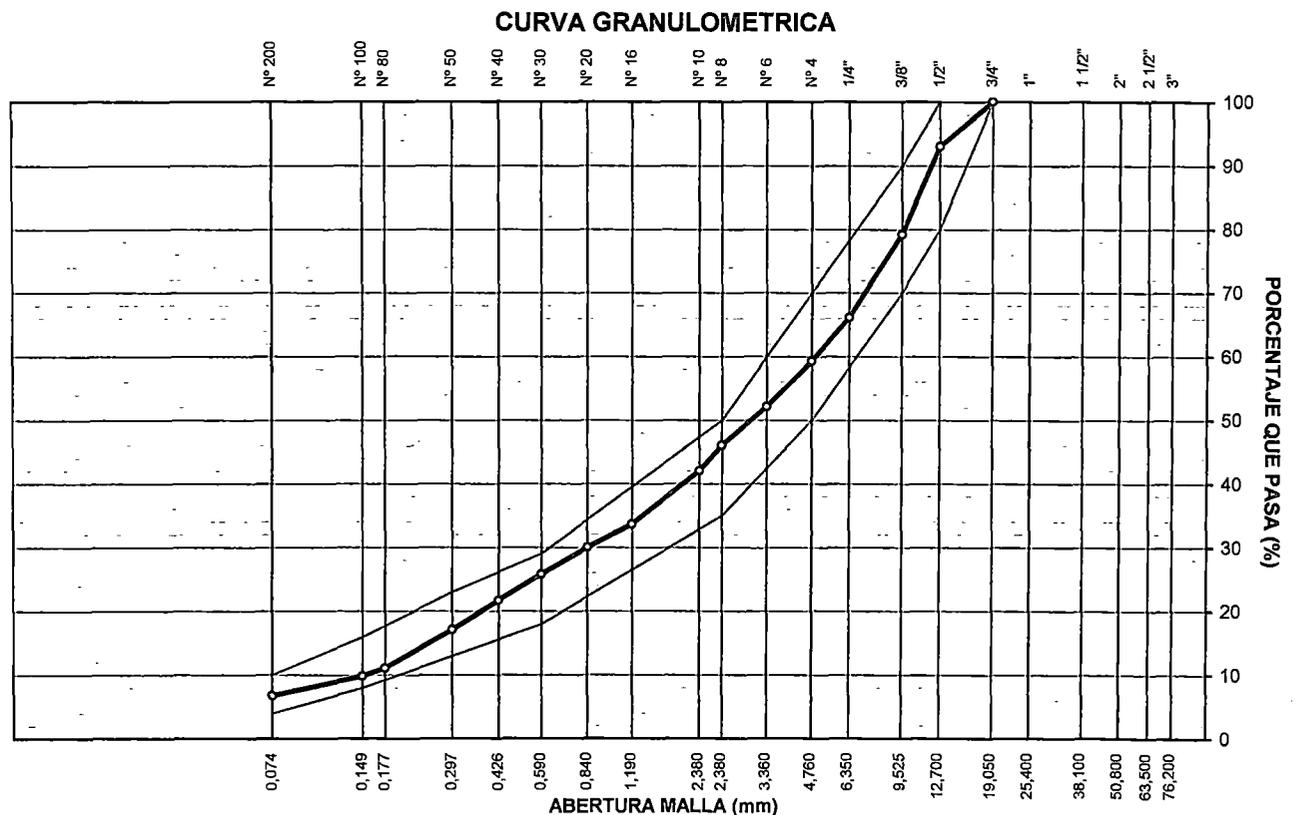
CUADRO 6.4
DISEÑO DE MEZCLA N° 1

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCION	GRAVA 3/4"		GRAVA 1/2"		ARENA TRITURADA		ARENA ZARANDEADA		MEZCLA DE GRAVAS		MEZCLA DE ARENAS		MEZCLA	
		39+500		39+500		39+500		42+000		GRAV 3/4": 40%	TRITURAD: 20%	GRAVA: 30%	ARENA: 70%		
		CANTERA	39+500		39+500		39+500		42+000		GRAV 1/2": 60%	ZARAND: 80%	RET.	PASA	RET.
	ABERTURA (mm)	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA
1"	25.400														
3/4"	19.050		100		100		100		100	-	100	-	100	-	100
1/2"	12.700	22	78	27	73	-	100	-	100	25	75	-	100	7	93
3/8"	9.525	34	44	54	19	-	100	-	100	46	29	-	100	14	79
1/4"	6.350	41	3	11	8	4	96	10	90	23	6	9	91	13	66
N° 4	4.760	3	-	5	3	8	88	8	82	4	2	8	83	7	59
N° 6	3.360				3	11	77	10	72	-	2	10	73	7	52
N° 8	2.380			2	1	9	68	8	64	1	1	8	65	6	46
N° 10	2.000			1	-	4	64	5	59	1	-	5	60	4	42
N°16	1.190					12	52	12	47	-	-	12	48	8	34
N° 20	0.840					6	46	5	42	-	-	5	43	4	30
N° 30	0.590					6	40	6	36	-	-	6	37	4	26
N° 40	0.426					5	35	6	30	-	-	6	31	4	22
N° 50	0.297					5	30	7	23	-	-	7	24	5	17
N° 80	0.177					7	23	9	14	-	-	9	16	6	11
N° 100	0.149					1	22	2	12	-	-	2	14	1	10
N° 200	0.074					6	16	4	8	-	-	4	10	3	7
-200	-				-	16	-	8	-	-	-	10	-	7	-

FIGURA 6.2

GRANULOMETRIA RESULTANTE DE DISEÑO DE MEZCLA N° 1

MALLAS SERIE AMERICANA	MEZCLA			
	GRAVA ARENA	# REFI	PASA # REFI	ESPECIFICACION TECNICA
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)	
3"	76.200			CARPETA
2 1/2"	63.500			
2"	50.800			
1 1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.050		100	100
1/2"	12.700	7	93	80 - 100
3/8"	9.525	14	79	70 - 90
1/4"	6.350	13	66	
N° 4	4.760	7	59	50 - 70
N° 6	3.360	7	52	
N° 8	2.380	6	46	35 - 50
N° 10	2.000	4	42	
N° 16	1.190	8	34	
N° 20	0.840	4	30	
N° 30	0.590	4	26	18 - 29
N° 40	0.426	4	22	
N° 50	0.297	5	17	13 - 23
N° 80	0.177	6	11	
N° 100	0.149	1	10	8 - 16
N° 200	0.074	3	7	4 - 10
-200		7	-	

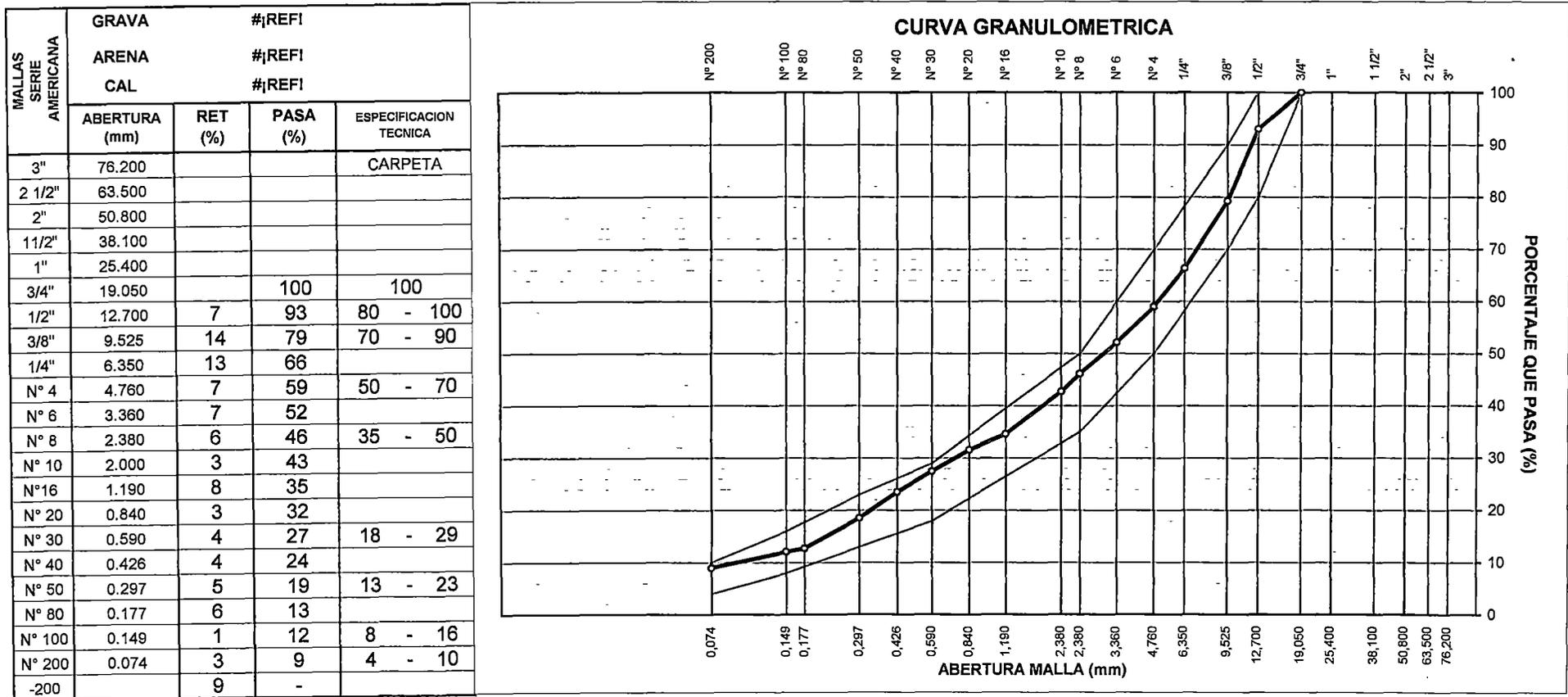


CUADRO 6.5
DISEÑO DE MEZCLA N° 2

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCION	GRAVA 3/4"		GRAVA 1/2"		ARENA TRITURADA		ARENA ZARANDEADA		CAL HIDRATADA "SANTA CLARA"		MEZCLA DE GRAVAS		MEZCLA DE ARENAS		MEZCLA CAL:	
		39+500		39+500		39+500		42+000		LIJMA		GRAV 3/4":	40%	TRITURAD:	20%	GRAVA:	30%
		CANTERA	39+500	39+500	39+500	42+000	LIJMA	GRAV 1/2":	60%	ZARAND:	80%	ARENA:	68%	2%			
	ABERTURA (mm)	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA
1"	25.400																
3/4"	19.050		100		100		100		100	-	100	-	100	-	100	-	100
1/2"	12.700	22	78	27	73	-	100	-	100	-	100	25	75	-	100	7	93
3/8"	9.525	34	44	54	19	-	100	-	100	-	100	46	29	-	100	14	79
1/4"	6.350	41	3	11	8	4	96	10	90	-	100	23	6	9	91	13	66
N° 4	4.760	3	-	5	3	8	88	8	82	-	100	4	2	8	83	7	59
N° 6	3.360				3	11	77	10	72	-	100	-	2	10	73	7	52
N° 8	2.380			2	1	9	68	8	64	-	100	1	1	8	65	6	46
N° 10	2.000			1	-	4	64	5	59	-	100	1	-	5	60	3	43
N°16	1.190					12	52	12	47	-	100	-	-	12	48	8	35
N° 20	0.840					6	46	5	42	-	100	-	-	5	43	3	32
N° 30	0.590					6	40	6	36	-	100	-	-	6	37	4	27
N° 40	0.426					5	35	6	30	-	100	-	-	6	31	4	24
N° 50	0.297					5	30	7	23	-	100	-	-	7	24	5	19
N° 80	0.177					7	23	9	14	-	100	-	-	9	16	6	13
N° 100	0.149					1	22	2	12	-	100	-	-	2	14	1	12
N° 200	0.074					6	16	4	8	3	97	-	-	4	10	3	9
-200	-				-	16	-	8	-	97	-	-	-	10	-	9	-

FIGURA 6.3

GRANULOMETRIA RESULTANTE DE DISEÑO DE MEZCLA N° 2



6.4.2 Determinación de los Pesos Específicos

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales, características importantes en la producción de mezclas debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados de acuerdo al peso. Al realizarse la calidad de los agregados se obtiene el peso específico y la absorción de cada uno de ellos; pero debido a la combinación de los agregados en el diseño, es preferible determinar el peso específico y la absorción de la mezcla de agregados según las proporciones establecidas.

De la combinación de mezcla de agregados se obtuvo los siguientes pesos específicos:

AGREGADO GRUESO		
IDENTIFICACION		
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en aire) (gr)	1237.00
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en agua) (gr)	734.00
C	Vol. de Masa+ Vol. de Vacios = A-B (gr)	503.00
D	Peso Mat. Seco en Estufa (105°C) (gr)	1197.20
E	Vol. de Masa = C-(A-D) (gr)	463.20
	Pe Bulk (Base Seca) = D/C	2.380
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	2.459
	Pe Aparente (Base Seca) =D/E	2.585
	% de Absorción =((A-D) / D)x100	3.32

AGREGADO FINO		
IDENTIFICACION		
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire) (gr)	300.00
B	Peso Frasco + H2O (gr)	662.30
C	Peso Frasco + H2O + A (gr)	962.30
D	Peso del Mat. + H2O en el Frasco	845.40
E	Vol. de Masa + Vol. de Vacio = C-D	116.90
F	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C) (gr)	294.10
G	Vol. de Masa = E-(A-F)	111.00
	Pe Bulk (Base Seca) = F/E	2.516
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/E	2.566
	Pe Aparente (Base Seca) = F/G	2.650
	% de Absorción = ((A-F)/F)*100	2.01

En los resultados existe una pequeña diferencia con respecto a los valores obtenidos para cada uno de los agregados, es decir, al ensayarlos por separado. El peso específico de la combinación de los agregados por ser el más real, será el usado en los cálculos del diseño de mezcla.

6.4.3 Preparación de las Muestras

Las probetas son preparadas con distintos contenidos de asfalto variando en un 0.5% y realizando 3 probetas para cada una de ellas. El número de golpes en cada cara de la probeta dependerá del tránsito de diseño: si es un tránsito ligero será 35 golpes, si es medio será 50 y si es pesado, 75 golpes. El método exacto de preparación y compactación de las muestras se indica en el Método Marshall (AASHTO T-245, ASTM D1559).

Para el ensayo marshall se preparó 15 probetas para cada uno de los diseños de mezcla con 75 golpes en cada cara, empezando con un porcentaje de contenido de asfalto de 5.5%.

6.4.4 Determinación del Peso Específico Total

Luego de compactar las probetas, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se extraen de su molde para determinar el peso específico total de cada muestra (AASHTO T-166, ASTM D1188). Esta medición es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

6.4.5 Ensayo de Estabilidad y Fluencia

El ensayo está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla (estabilidad) y la deformación que ocurre en la mezcla bajo carga (fluencia). Existe una tendencia de pensar que la estabilidad será mucho mejor, si el valor es más alto. Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es frecuentemente una medida de su calidad; sin embargo, no es necesariamente el caso de las mezclas

asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad. Cuando las mezclas tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Las que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

6.4.6 Análisis Densidad-Vacíos

El propósito del análisis es determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada. Para calcular el porcentaje de vacíos es necesario realizar el ensayo Rice (AASHTO T-209) para cada contenido de asfalto.

6.4.7 Análisis de Resultados

Los valores de estabilidad y fluencia son graficados, al igual que los datos obtenidos en el ensayo marshall, donde se observa el comportamiento de la mezcla conforme se aumente o disminuya el contenido de asfalto.

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla se determina por el promedio de los valores determinados en los gráficos, los cuales deben producir:

- Óptima o adecuada estabilidad
- Densidad máxima, y
- Límites medios para el porcentaje de vacíos

Al analizar los resultados obtenidos en el ensayo marshall con el Diseño de Mezcla N°1 (30% grava y 70% arena) se observa que existe un alto porcentaje de vacíos como se muestra en los Anexos. Considerando los criterios antes descritos, el contenido óptimo de asfalto es 6.6% asumiendo el porcentaje de vacíos 3% por acercarse al límite inferior.

DISEÑO N°1

	% CA
Máxima Densidad	6.1
Máxima Estabilidad	6.1
Porcentaje de Vacíos (3%)	7.6
OPTIMO CONTENIDO (%)	6.60

De igual forma se analizó los resultados del Diseño de Mezcla N°2 (30% de grava, 70% de arena y 2% de cal), obteniéndose un óptimo contenido de asfalto de 6.5% considerando un porcentaje de vacíos de 2%, debido a que esta mezcla será colocada en zona de altura.

DISEÑO N°2

	% CA
Máxima Densidad	6.3
Máxima Estabilidad	5.8
Porcentaje de Vacíos (2%)	7.4
OPTIMO CONTENIDO (%)	6.47

Con el ensayo marshall realizado y los óptimos contenidos de asfalto obtenido en cada diseño, se obtuvo los siguientes valores:

MARSHALL	DISEÑO		ESPECIFICACION
	N°1	N°2	
Contenido Optimo de Asfalto (%)	6.6	6.5	
Densidad (gr/cm3)	2.207	2.239	
Estabilidad (kg)	1026	1096	815 kg
Flujo 0.25 mm	17	18.4	8 – 14
Porcentaje de Vacíos	4.5	3.5	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral	16.3	14.8	14
Vacíos llenos de Asfalto	72.5	76.8	65 - 75
Relación Est/Flujo	2414	2383	1700 - 2500

La mayoría de los valores cumplen la especificación técnica, a excepción del flujo que supera los límites permitidos. Se verificó, según el criterio asumido, que la Mezcla del Diseño N°2 disminuyó el porcentaje de vacíos, aumentó la estabilidad y densidad debido a la adición de la cal hidratada. A la vez disminuyó la relación estabilidad/flujo, la cual la hará menos rígida.

La Figura 6.4 muestra la comparación de los resultados obtenidos de los diseños de mezcla, observándose mejor la influencia de la cal hidratada en el comportamiento de la mezcla. Por lo que se concluye que el diseño de mezcla asfáltica adoptado es el Diseño N°2 con un contenido de cemento asfáltico de 6.5%.

6.5 ASPECTOS COMPARATIVOS DEL DISEÑO DE MEZCLA CON AGREGADOS VOLCÁNICOS DE BAJO PESO ESPECIFICO Y CON AGREGADOS ESTÁNDAR

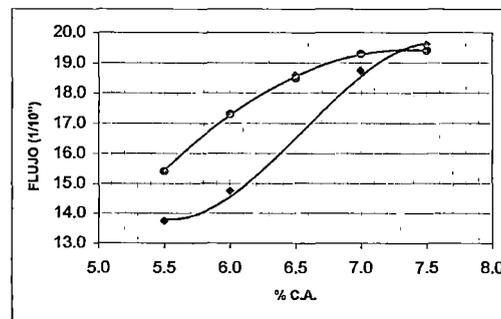
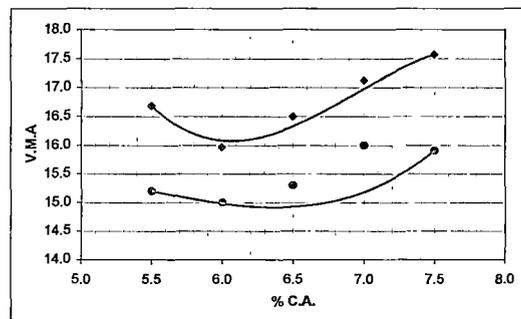
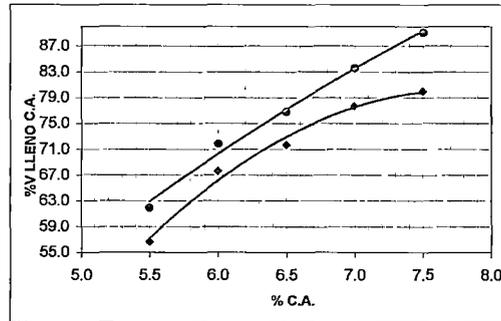
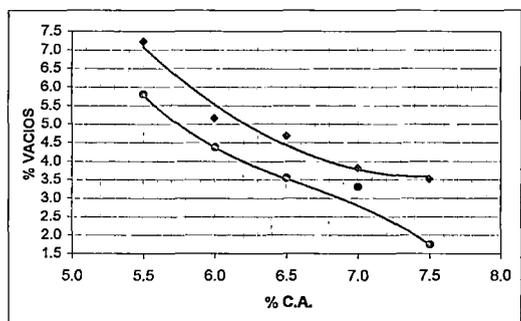
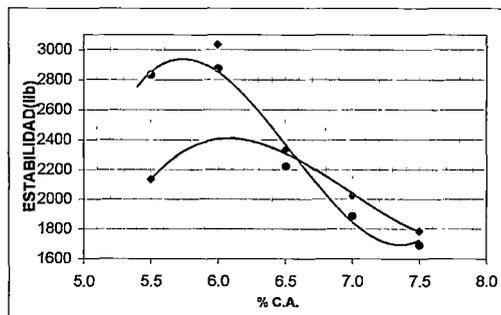
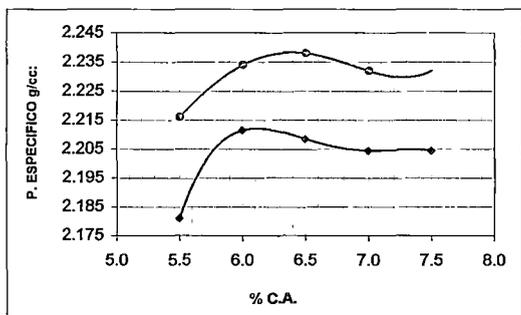
Para realizar la comparación con estos agregados procedentes de distintas regiones del país, uno de Arequipa y otro de Lima, se adecuó la granulometría del agregado estándar al del agregado en estudio. Como se describió en el Capítulo 4 “Evaluación de Agregados”, poseen características diferentes por lo que se generó la curva granulométrica del Diseño N°2 con los agregados de Lima.

Teniendo en común la granulometría y usando el mismo tipo de cemento asfáltico (Pen 120-150), se realizó el diseño de mezcla con los agregados estándar, denominándolo **Diseño de Mezcla N°3**. Al graficar los resultados obtenidos del ensayo marshall, se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de 5.7% asumiendo el porcentaje de vacíos 3% por acercarse al límite inferior.

DISEÑO N°3	
	% CA
Máxima Densidad	6.0
Máxima Estabilidad	5.6
Porcentaje de Vacios (3%)	5.5
OPTIMO CONTENIDO (%)	5.70

En la Figura 6.5 se muestra que la mezcla con los agregados estándar poseen un mayor peso específico debido a la naturaleza del agregado, además de absorber un menor porcentaje de asfalto (0.8% menos). Además, la estabilidad marshall es menor a comparación con el Diseño de Mezcla N°2, debido al menor contenido de asfalto y por lo

FIGURA 6.4
GRAFICO DE CURVAS MARSHALL (AREQUIPA)

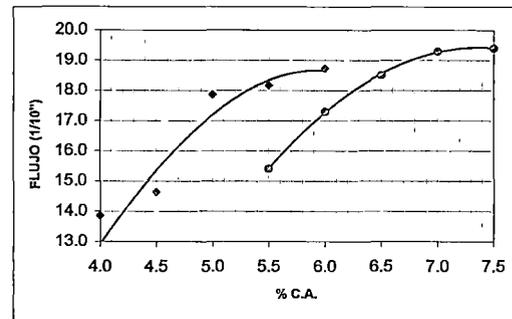
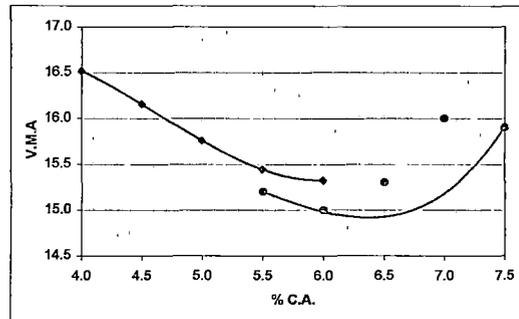
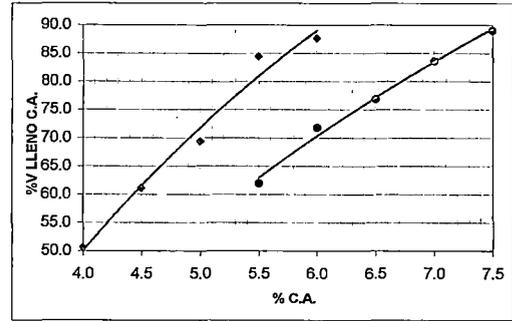
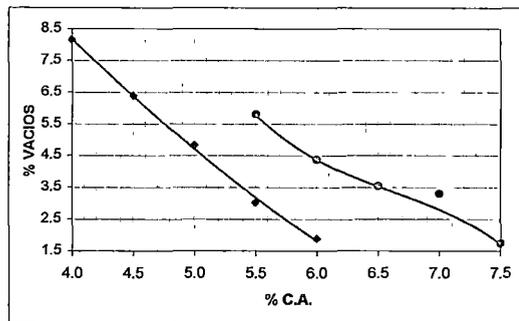
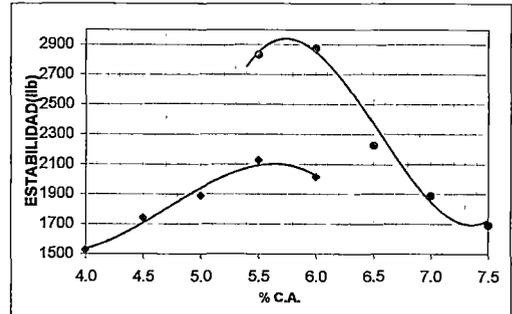
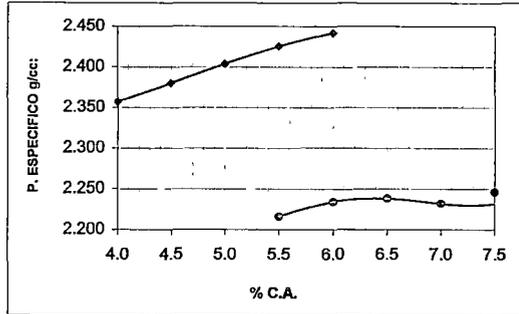


MEZCLA ASFALTICA NATURAL (DISEÑO N° 1)					
% CA.	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
P. ESPECIFICO	2.181	2.212	2.209	2.205	2.205
% VACIOS	7.2	5.2	4.7	3.8	3.5
V. M. A.	16.7	16.0	16.5	17.1	17.6
%VACIO LLENO C.A.	56.7	67.7	71.7	77.7	80.0
FLUJO pulg.	13.8	14.8	18.6	18.8	19.6
ESTABILIDAD lb.	2135	3036	2331	2025	1786
ESTABILIDAD/FLUJO	155.3	205.8	125.3	108.0	91.1

MEZCLA ASFALTICA 2% CAL (DISEÑO N° 2)					
% CA.	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
P. ESPECIFICO	2.216	2.234	2.238	2.232	2.246
% VACIOS	5.8	4.4	3.5	3.3	1.7
V. M. A.	15.2	15.0	15.3	16.0	15.9
%VACIO LLENO C.A.	61.9	71.8	76.8	83.6	89.1
FLUJO pulg.	15.4	17.3	18.5	19.3	19.4
ESTABILIDAD lb.	2832	2875	2221	1888	1692
ESTABILIDAD/FLUJO	183.9	166.2	120.1	97.8	87.2

LEYENDA	
—————	MEZCLA ASFALTICA NATURAL (DISEÑO N° 1)
-----	MEZCLA ASFALTICA 2% DE CAL (DISEÑO N° 2)

FIGURA 6.5
GRAFICO DE CURVAS MARSHALL



MEZCLA ASFALTICA LIMA					
% CA.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
P. ESPECIFICO	2.357	2.380	2.404	2.426	2.442
% VACIOS	8.2	6.4	4.8	3.0	1.9
V. M. A.	16.5	16.2	15.8	15.4	15.3
%VACIO LLENO C.A.	50.6	61.1	69.4	84.4	87.7
FLUJO pulg.	13.9	14.6	17.9	18.2	18.7
ESTABILIDAD lb.	1525	1743	1889	2126	2016
ESTABILIDAD/FLUJO	110.0	119.1	105.7	117.0	107.6

MEZCLA ASFALTICA AREQUIPA					
% CA.	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
P. ESPECIFICO	2.216	2.234	2.238	2.232	2.246
% VACIOS	5.8	4.4	3.5	3.3	1.7
V. M. A.	15.2	15.0	15.3	16.0	15.9
%VACIO LLENO C.A.	61.9	71.8	76.8	83.6	89.1
FLUJO pulg.	15.4	17.3	18.5	19.3	19.4
ESTABILIDAD lb.	2832	2875	2221	1888	1692
ESTABILIDAD/FLUJO	183.9	166.2	120.1	97.8	87.2

LEYENDA	
———	MEZCLA ASFALTICA CON AGREGADOS DE LIMA
———	MEZCLA ASFALTICA CON AGREGADOS DE AREQUIPA

tanto el índice de rigidez es menor. A continuación se detalla los resultados del ensayo marshall con el óptimo de asfalto para cada uno de los diseños:

MARSHALL	DISEÑO		ESPECIFICACION
	Nº2	Nº3	
Contenido Optimo de Asfalto (%)	6.5	5.7	
Densidad (gr/cm3)	2.239	2.433	
Estabilidad (kg)	1096	958	815 kg
Flujo 0.25 mm	18.4	18.5	8 – 14
Porcentaje de Vacíos	3.5	2.5	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral	14.8	15.3	14
Vacíos llenos de Asfalto	76.8	82.2	65 - 75
Relación Est/Flujo	2383	2071	1700 - 2500

Ambos diseños cumplen con la estabilidad, porcentaje de vacíos y rigidez; el porcentaje de vacíos llenos de asfalto ha aumentado por poseer menor absorción los agregados de Lima. Del Diseño Marshall, se observa que el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado de Arequipa es de 1.3% y el de Lima 0.5%, siendo la cantidad de asfalto efectivo el mismo para los dos diseño 5.2%. Finalmente se verificó que las propiedades y características de los agregados son fundamentalmente importantes en el comportamiento de las mezclas asfálticas, por estar presentes casi en su totalidad (95%).

Antes de la preparación de la mezcla asfáltica diseñada en el laboratorio, se debe realizar un tramo de prueba con el diseño definido para verificar su comportamiento in situ. De los resultados obtenidos se podría predecir que el Diseño Nº2 al ser una mezcla más rígida que el Diseño Nº3 podría ser un pavimento menos durable, de igual forma por poseer agregados redondeados con pocas superficies trituradas podría producirse ahuellamientos en su superficie.

Al evaluar el caso en que se desee utilizar los agregados procedentes de Lima para la preparación de la mezcla asfáltica en la Carretera Yura – Patahuasi: Tramo Vial I, por poseer mejores características físicas, el costo de transporte de los agregados tanto grueso como fino desde la Cantera Minera La Gloria hasta la Planta de Asfalto en Arequipa, sería de S/.0.27/kg como se observa en el cuadro adjunto. Sabiendo que su peso unitario suelto

es 1,588 kg/m³, entonces el costo por m³ de agregado transportado de Lima a dicha planta sería S/.428.76/m³.

DISTANCIAS VIRTUALES

CENTROS DE ABASTECIMIENTO

MINERA LA GLORIA: (AGREGADOS)

CUADRO DE DISTANCIAS VIRTUALES

RUTAS		DISTANCIA VIRTUAL
DE	A	(KM)
MINERA LA GLORIA	PLANTA	1,108.90

Para el cálculo de los fletes se empleo la última Resolución CRTT que aprueba la Fijación Tarifaria del Servicio Público de Transporte de Carga en Camiones en la Ruta del Sistema Nacional de Carreteras R.C.D. N° 027-91-TC/CRTT-T de Junio de 1991. (Artículo 3o. y 10o.)

RUTAS		DIST. REAL	FACTOR	DISTANCIA VIRTUAL (KM)
DE	A			
LIMA - OBRA:				
Minera La Gloria	Lima	14.8	1.00	14.80
Lima	Arequipa	1,009.00	1.00	1,009.00
Arequipa	Yura	24.80	1.20	29.80
Yura	Planta	39.50	1.40	55.30
TOTAL	—>			1,108.90

NOTA:

PLANTA DE ASFALTO: KM. 39+500

COSTO DEL FLETE A OBRA

SOLIDOS:	S/. x Ton	S/. x Kg
MINERA LA GLORIA - OBRA: 1,108.90 > 500		
0.04685 x 1,108.90 =	51.95	0.05195

ACTUALIZACION A JUNIO DE 2003

$$K = \frac{Iu (32) \text{ AGOSTO.03}}{Iu (32) \text{ JUNIO.91}} = \frac{340.59}{65.52} = 5.198$$

SOLIDOS:

MINERA LA GLORIA - OBRA: S/. 0.27 / KG

Además como los agregados procedentes de Lima son de propiedad privada, el costo referencial por metro cúbico de dichos materiales según la Revista “El Constructivo” (Setiembre-Octubre) son: S/.30.42 Piedra Chancada de $\frac{3}{4}$ ” y Arena Gruesa S/.18.24. Mientras que los agregados procedentes de Arequipa son extraídos in situ del talud, el costo aproximado de su producción es de S/.32.40 la Piedra Chancada (donde consiste las siguientes actividades: Chancado y Zarandeo, Carguío a Zaranda, Extracción c/equipo de Cantera, Transporte Interno) y la Arena S/.25.32 (Extracción c/equipo de Cantera, Transporte Interno, Zarandeo con Equipo, Carguío Agregados). Como en el Diseño de Mezcla la proporción de piedra es de 30% y de arena 70%, el costo del material de Lima es de S/.21.89 mientras que el de Arequipa S/.27.44, abaratando el costo del material en S/.5.55/m³.

En conclusión es más económico utilizar y aprovechar los agregados de la región para la construcción de la carretera, disminuyendo su costo en S/. 423.21/m³.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Tanto la arena procedente de Lima como las de Arequipa, no cumplen con el Ensayo Riedel Weber (índice de adhesividad mayor a 4). A pesar de ser una de las principales exigencias en nuestras normas vigentes para la aceptación o rechazo del agregado a utilizarse en mezclas asfálticas, no se consideró para el descarte de nuestro material, debido a que este ensayo no refleja realmente la afinidad del agregado con el ligante porque no lo ensaya en su conjunto, sino considera una parte de su granulometría.

- El agregado grueso procedente de Arequipa posee un porcentaje de absorción del orden de 3%, siendo el máximo especificado en nuestras normas 1%. A pesar de ello, en el diseño de mezcla realizado se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de 6.5%, y en el diseño realizado con los agregados procedentes de Lima se obtuvo un 5.7%, disminuyendo tan solo 0.8% en el contenido óptimo de asfalto, el cual es la diferencia de los porcentajes del asfalto absorbido por dichos agregados. Por lo consiguiente, a pesar de ser agregados altamente absorbentes, no aumenta enormemente el porcentaje de asfalto a aplicarse en la mezcla asfáltica. Definiendo así, que esta característica del agregado de origen volcánico no es un factor para descartar el material.

- Los agregados gruesos analizados de origen volcánico procedentes de Arequipa, cumplen con las Especificaciones Superpave, a excepción del ensayo de caras fracturadas (2 o más caras), siendo esta propiedad consecuencia del método de chancado utilizado más no de su origen, el cual puede ser mejorado cambiando la forma de chancado al momento de su producción.

- Al analizar y comparar los agregados utilizados en la presente investigación, se verificó que el agregado procedente de Lima cumple con todas las especificaciones técnicas, incluso las de Superpave, garantizando su buen comportamiento en la mezcla y la acertada decisión de ser éstos el patrón de comparación (Agregados Standard). Pero ello no significa que sean los mejores agregados a utilizarse para la producción de mezclas asfálticas.

- Al analizar en el laboratorio los resultados de los agregados de origen volcánico, se comprobó que tienen un buen comportamiento dentro de la mezcla. Siendo estos materiales utilizados para futuras obras de carretera dentro del área de influencia, previo análisis técnico-económico donde se verifique la ventaja de su uso como cantera de abastecimiento de materiales (distancia de transporte).

- De los resultados obtenidos en el laboratorio se podría predecir que la Mezcla Asfáltica realizada con los agregados de Arequipa por ser más rígida que la Mezcla con los agregados de Lima, podría resultar una carpeta menos durable; de igual forma por poseer agregados redondeados con pocas superficies trituradas podría producirse ahuellamientos en su superficie. Es por ello la importancia de realizar un tramo de prueba en la zona de estudio, antes de su aprobación para la construcción de la carretera.

- Realizando un análisis económico comparativo de los agregados en estudio, el costo por m³ de agregado transportado de Lima hasta la Planta de Asfalto donde se preparará la mezcla es aproximadamente de S/.428.76/m³. Además por ser uno de propiedad privada y el otro de libre explotación, se encontró un aumento de S/.5.55 aproximadamente, pero a pesar de ello la diferencia es mínima a comparación del costo de transporte, siendo más económico y viable su producción.

- La importancia de esta investigación, es que estos materiales propios de la región pueden ser utilizados para fines de construcción de carreteras y no ser descartados por no cumplir ciertos parámetros que no influyen significativamente en el comportamiento y propiedades de la mezcla asfáltica.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta que las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG – 2000) son una guía, y que cada proyecto debe tener sus propias especificaciones técnicas que dependen de la ubicación, tipo de material, clima, etc., con su propio diseño de mezcla.
- No solamente realizando el diseño de mezcla en laboratorio y cumpliendo todas los requerimientos de calidad especificados, garantiza el buen comportamiento de la mezcla asfáltica colocada en obra, debido a que las condiciones climáticas son diferentes en cada región de nuestro país. Además los procedimientos constructivos aplicados son muy importantes para asegurar su periodo de servicio.
- Es necesario que luego de realizar adecuadamente el diseño de la mezcla asfáltica, se haga un tramo experimental en obra, antes de su colocación a lo largo de la carretera, para verificar el comportamiento de la mezcla asfáltica diseñada previamente en el laboratorio.
- El método Marshall a pesar de ser muy utilizado y exigido en nuestro medio, no resulta ser una metodología suficiente, siendo necesario la aplicación de nuevas metodologías de ensayos donde se evalúen las condiciones reales a las cuales estará sometida la mezcla durante su vida de servicio como el Ensayo TSR (Esfuerzo a la Tensión), Ensayo Lottman, Ensayo del Cantabro, etc. siendo lamentablemente éstos muy costosos y escasos en nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

■ Tesis:

- Alvino García, Nicolás Evaristo. “CONTROL DE OBRA DE LA CARRETERA YURA - PATAHUASI, TRAMO I”. Tesis de Grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. 2001.
- Meléndez Palma, José Hermógenes. “INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE CARPETAS ASFALTICAS EN ZONAS DE ALTURA”. Tesis de Maestría de la Sección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. 2000.

■ Expedientes Técnicos:

- Expediente Técnico Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Yura – Patahuasi - Santa Lucía. Tramo I: Km. 0+000 – Km. 53+336.35. “DISEÑO DE MEZCLA N° 2 CON PEN 120 - 150”. Marzo 2000.
- Expediente Técnico Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Yura – Patahuasi - Santa Lucía. Tramo I: Km. 0+000 – Km. 53+336.35. “DISEÑO DE MEZCLA N° 11 CON PEN 85 - 100”. Julio 2001.
- Expediente Técnico Construcción, Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ilo – Desaguadero. Tramo VII: Km. 275+000 – Km. 315+000. “MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INFORME ESPECIAL N° 1”. Setiembre 1999.

■ Artículos de Revistas y Ponencias:

- Horan, Robert D. “ASPHALT MIX CURING AT THE DESIGN LAB AT THE FIELD”. 2001.

- Espinoza G., Nestor René. “IMPORTANCIA DE LA ADHERENCIA DE LOS AGREGADOS FINOS EN LA CALIDAD DE UN CONCRETO ASFALTICO”. 8vo Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 1995.
- Maguiña Astete, Alina. “METODO QUIMICO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE CAL HIDRATADA PARA EMPLEARLA COMO FILLER EN MEZCLAS ASFALTICAS”. 10mo Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Sevilla, España. 1999.

❖ **Manuales y Normas:**

- Instituto del Asfalto. “ANTECEDENTES DEL DISEÑO Y ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE SUPERPAVE”. Traducción suministrada por el Instituto Panamericano de Carreteras. 1994.
- Instituto del Asfalto. “METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS. Para Concreto Asfáltico y Otros Tipos de Mezcla en Caliente”. Serie de Manuales N°2 (MS-2). Sexta Edición. 1995.
- Instituto del Asfalto. “PRINCIPIOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE”. Serie de Manuales N°22 (MS-22). Estados Unidos. 1982.
- Instituto del Asfalto. “TECNOLOGIA DEL ASFALTO Y PRACTICAS DE CONSTRUCCION”. Traducido por la Comisión Permanente del Asfalto de la República de Argentina, 1985.
- Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras. EM - 1999.
- Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras. EG - 2000.
- Minaya González, Silene; Ordóñez Huaman Abel. Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos, Volumen I. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos y Pavimentos. 2001.

- American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. 1989.
- American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO

■ **Boletín Técnico:**

- Emulsiones Asfálticas E.I.R.L. “AR – RED RADICOTE, ADITIVO PARA ASFALTO MEJORADOR DE ADHERENCIA TIPO AMINA”. Perú. 2001.
- Petróleos del Perú. “ASFALTOS”. División Técnica del Departamento de Ventas del Area Comercial – PETROPERU S.A., Perú.

■ **Libros:**

- De Navacerrada Farias, Gonzalo. “FIRMES DE CARRETERAS Y AUTOPISTAS”. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 1970.
- Juárez Badillo, Eulalio; Rico Rodríguez, Alfonso. “MECANICA DE SUELOS”. Tomo I. Editorial Limusa, S.A. México. 1998.
- Howel, Williams; Francis J., Turner; Charles M., Gilbert. “PETROGRAFIA”. Primera Edición en Español. Compañía Editorial Continental, S.A. México. 1968.
- Mora Quiñónes, Samuel. “MECANICA DE SUELOS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS”. CONCYTEC, Perú. 1986.
- Rico Rodríguez, Alfonso; Del Castillo, Hermilio. “LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES: CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS”. Editorial Limusa, S.A. México. 2000.

ANEXOS

Anexo 01
Resultados de Control de Obra
de la Mezcla Asfáltica

01.01

Mezcla Asfáltica con PEN 85-100

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

FECHA	29-06-01	30-06-01	04-07-01	05-07-01	06-07-01	07-07-01	09-07-01	10-07-01	11-07-01	12-07-01	13-07-01	14-07-01	16-07-01	17-07-01	18-07-01	19-07-01	20-07-01	21-07-01
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

GRANULOMETRIA

% QUE PASA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	92.8	92.4	91.8	90.8	91.4	91.4	89.6	90.2	91.1	91.2	89.6	91.2	92.7	94.4	94.4	93.1	91.9	96.6
3/8"	85.0	83.1	81.3	81.5	77.6	81.6	81.4	81.1	79.3	80.7	81.3	80.8	80.2	82.5	82.5	82.2	79.1	83.4
1/4"																		
No4	61.7	57.1	58.4	58.3	57.2	56.8	56.0	58.2	56.0	57.9	55.9	57.5	57.2	57.1	57.1	57.7	57.8	57.1
No8	44.8	43.1	44.4	43.6	45.6	43.2	40.6	45.1	42.3	46.4	40.5	44.8	43.7	45.0	45.0	46.5	47.2	41.5
No16																		
No30	24.9	26.1	26.6	25.5	28.4	25.5	22.7	26.1	24.4	29.4	22.6	26.5	27.1	27.7	27.7	29.2	27.7	24.4
No50	17.9	18.5	20.2	19.2	21.4	19.7	17.2	21.2	18.1	22.4	17.1	19.3	20.5	20.7	20.7	21.7	21.1	18.1
No100	11.1	11.9	13.2	13.6	13.9	12.6	11.0	12.5	11.6	14.7	10.9	11.5	12.6	12.6	12.6	13.8	13.6	11.5
No200	6.1	7.2	7.9	8.9	8.3	7.7	6.6	7.2	6.9	8.9	6.5	5.6	8.9	6.7	6.7	7.3	7.0	6.3

CARACTERISTICAS

MEZCLA

% ASFALTO - (Pb)	6.25	6.10	6.04	6.15	6.12	6.05	6.18	6.26	6.19	6.07	6.12	6.14	6.15	6.15	6.15	6.16	6.17	6.17
ASFALTO EFECTIVO - %	5.10	4.87	4.88	4.93	4.91	4.84	4.86	5.02	4.02	4.95	4.91	4.91	4.91	4.94	4.87	4.84	4.90	5.04
DENSIDAD - gr/cc	2.267	2.269	2.270	2.267	2.266	2.267	2.268	2.265	2.264	2.268	2.270	2.263	2.271	2.263	2.273	2.273	2.273	2.263
VACIOS - %	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	5.5	3.3	3.2	3.7	3.3	3.6	3.3	3.4	3.3	3.4
ESTABILIDAD - kg	1421	1271	1118	1158	1164	1275	1298	1243	1178	1128	1199	1177	1194	1146	1167	1148	1162	1165
FLUJO - mm	3.3	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.5	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4
I.RIGIDEZ - kg/cm	4306	3852	3494	3509	3424	3750	3709	3551	3465	3223	3747	3363	3731	3371	3432	3479	3418	3426
V.M.A. - %	15	14	14	15	14	14	14	15	15	14	14	15	14	15	14	14	14	15
V.F.A. - %	77	76	76	76	76	75	76	76	62	77	77	75	77	76	77	76	77	77
Ic	6.9	8.5	6.9	8.4	9.5	8.1	8.1	8.8	7.1	6.1	7.6	7.1	7.3	8.3	7.4	7.2	7.0	8.3
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ESTABILIDAD RET. - %			96	92	96	89	95	95	98	97	97	96		97	97	97	98	97
RELACION F/B	0.92	1.11	1.23	1.36	1.27	1.20	1.00	1.08	1.05	1.38	1.00	0.86	1.36	1.02	1.02	1.11	1.06	0.96
CONCENTRACION <N°200	0.30	0.34	0.36	0.38	0.37	0.35	0.32	0.33	0.33	0.39	0.31	0.28	0.38	0.32	0.32	0.34	0.33	0.31
Cv	0.878	0.883	0.883	0.881	0.882	0.883	0.883	0.879	0.882	0.883	0.884	0.880	0.883	0.881	0.884	0.884	0.884	0.880

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

FECHA	22-07-01	23-07-01	24-07-01	26-07-01	27-07-01	22-08-01	23-08-01	24-08-01	25-08-01	28-09-01	29-09-01	01-10-01	02-10-01	03-10-01	04-10-01	05-10-01	06-10-01	23-10-01
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	92.7	91.6	93.1	91.7	92.6	92.6	93.2	92.5	92.1	92.4	91.4	93.1	92.0	91.5	91.6	92.4	91.9	91.2
3/8"	80.4	81.6	80.2	77.9	81.7	82.4	80.6	82.5	83.1	79.5	81.1	80.2	83.4	81.8	80.3	82.8	78.7	80.1
1/4"																		
No4	57.8	56.5	57.6	56.9	58.2	57.4	58.3	57.6	57.0	57.8	57.5	57.6	58.4	58.4	57.1	57.9	56.5	57.4
No8	43.4	42.0	46.1	44.3	47.8	45.6	45.0	46.5	46.9	47.5	45.5	46.1	46.2	46.1	45.1	47.7	46.1	45.2
No16																		
No30	26.6	27.1	28.2	26.7	29.3	27.9	29.7	29.8	29.4	29.6	28.6	28.2	29.1	26.8	29.6	29.8	28.4	28.6
No50	19.8	19.4	21.3	21.4	21.1	21.0	22.6	22.6	21.8	21.8	19.0	21.3	22.0	21.1	22.6	22.4	21.3	22.0
No100	13.4	12.0	12.9	12.2	12.5	13.7	15.0	14.4	14.1	13.6	13.1	12.9	14.3	13.6	14.4	14.0	12.4	13.2
No200	7.7	7.8	7.9	7.6	5.6	7.6	8.9	8.2	8.2	7.2	7.6	7.9	8.1	8.2	8.2	8.5	8.9	8.6

CARACTERISTICAS																		
MEZCLA																		
% ASFALTO - (Pb)	6.05	6.13	6.18	6.15	6.17	6.11	6.19	6.26	6.01	6.15	6.05	6.06	5.92	6.02	6.17	6.14	6.10	6.15
ASFALTO EFECTIVO - %	4.89	4.90	5.01	4.99	4.99	5.18	5.00	5.32	5.20	5.28	5.25	5.27	5.13	5.34	5.28	5.26	5.20	5.29
DENSIDAD - gr/cc	2.271	2.274	2.270	2.271	2.271	2.257	2.259	2.243	2.247	2.257	2.254	2.252	2.255	2.254	2.255	2.254	2.253	2.252
VACIOS - %	3.3	3.2	3.2	3.1	3.2	3.3	3.7	3.7	3.6	3.1	3.2	3.3	3.4	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3
ESTABILIDAD - kg	1163	1176	1176	1184	1223	1314	1369	1370	1221	1230	1135	1176	1252	1207	1235	1227	1231	1195
FLUJO - mm	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.2	3.3	3.1	3.1	3.3	3.6	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.3	3.5
I.RIGIDEZ - kg/cm	3323	3360	3459	3383	3597	4106	4148	4419	3939	3727	3153	3459	3682	3550	3529	3609	3730	3414
V.M.A. - %	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
V.F.A. - %	77	78	78	78	78	78	75	76	76	79	78	78	77	80	79	78	78	78
Ic	8.2	9.1	8.5	8.8	8.2	7.8	9.2	9.6	8.2	7.1	7.0	8.5	8.7	8.2	7.4	7.6	8.4	8.0
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ESTABILIDAD RET. - %	95	95	94	94	91	91	85	92	92	89	95	94	89	85	86	87	86	95
RELACION F/B	1.20	1.19	1.20	1.16	0.85	1.17	1.35	1.23	1.28	1.10	1.18	1.22	1.29	1.28	1.25	1.30	1.37	1.31
CONCENTRACION <N°200	0.35	0.35	0.36	0.35	0.28	0.35	0.38	0.36	0.37	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.36	0.37	0.39	0.38
Cv	0.884	0.885	0.882	0.884	0.882	0.878	0.878	0.871	0.876	0.878	0.878	0.877	0.879	0.877	0.877	0.876	0.877	0.876

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

FECHA	24-10-01	25-10-01	29-10-01	30-10-01	31-10-01	01-11-01	02-11-01	05-11-01	06-11-01	08-11-01	09-11-01	10-11-01	12-11-01	14-11-01	15-11-01	16-11-01	17-11-01	19-11-01
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	91.2	90.0	91.6	92.1	92.7	92.2	91.0	92.2	92.3	92.3	89.9	91.3	89.8	91.3	91.8	91.8	93.0	92.2
3/8"	80.6	79.7	83.7	82.4	83.2	81.1	80.9	83.1	83.1	83.3	83.0	81.0	82.8	78.6	80.1	80.1	80.3	80.0
1/4"																		
No4	57	56.0	56.1	57.5	56.4	57.4	57.6	57.4	57.4	57.6	58.4	56.0	56.4	57.3	57.9	57.9	57.3	56.1
No8	44.4	44.4	44.2	45.0	45.7	42.4	44.8	44.3	43.9	46.7	44.0	44.9	44.2	44.5	44.9	44.9	44.6	44.1
No16																		
No30	28	28.2	28.5	27.5	29.2	25.6	28.6	26.5	27.6	28.6	28.2	28.3	27.2	28.1	28.5	28.5	28.6	28.2
No50	21.8	21.2	21.1	20.4	22.3	19.1	21.2	19.3	20.8	21.9	21.0	21.2	21.9	21.6	21.5	21.5	20.4	20.9
No100	13.4	13.2	14.9	12.8	14.8	13.4	14.7	11.7	14.0	13.9	14.5	14.6	14.2	14.5	14.4	14.4	13.8	13.8
No200	8.8	8.2	8.9	7.3	8.3	6.9	8.1	5.4	8.4	8.0	8.9	8.1	8.5	8.6	8.1	8.1	8.1	8.4

CARACTERISTICAS																		
MEZCLA																		
% ASFALTO - (Pb)	5.90	6.05	6.25	6.27	6.11	6.22	6.22	6.27	6.28	6.26	6.27	6.25	6.26	6.19	6.17	6.16	6.25	6.21
ASFALTO EFECTIVO - %	5.13	5.18	5.23	5.32	5.26	5.39	5.36	5.41	5.45	5.49	5.54	5.43	5.47	5.41	5.48	5.44	5.45	5.29
DENSIDAD - gr/cc	2.251	2.248	2.251	2.254	2.253	2.249	2.251	2.252	2.250	2.240	2.249	2.249	2.248	2.253	2.251	2.250	2.251	2.253
VACIOS - %	3.4	3.5	3.5	3.3	3.2	3.3	3.3	3.1	3.1	3.5	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2
ESTABILIDAD - kg	1224	1211	1201	1192	1182	1186	1174	1184	1162	1140	1167	1171	1172	1190	1153	1161	1161	1166
FLUJO - mm	3.5	3.6	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.1	3.7	3.8	3.8	3.7
I.RIGIDEZ - kg/cm	3497	3364	3532	3506	3476	3389	3453	3289	3141	3081	3242	3165	3256	3839	3116	3055	3055	3151
V.M.A. - %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	15	15	15	15	15	15	15	15
V.F.A. - %	77	77	77	78	78	79	78	79	79	78	80	80	80	80	80	80	80	78
Ic	7.1	7.5	7.1	7.1	7.9	7.8	8.7	8.4	8.7	7.2	8.2	7.4	7.5	8.3	9.3	8.9	7.6	7.6
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ESTABILIDAD RET. - %	89	88	93	92	91	94	93	92	94	94	93	93	92	91	92	92	92	88
RELACION F/B	1.40	1.27	1.34	1.09	1.28	1.04	1.22	0.81	1.25	1.20	1.33	1.22	1.27	1.30	1.23	1.23	1.22	1.27
CONCENTRACION <N°200	0.39	0.37	0.38	0.33	0.37	0.32	0.36	0.27	0.37	0.36	0.38	0.36	0.37	0.38	0.36	0.36	0.36	0.37
Cv	0.878	0.876	0.876	0.875	0.877	0.874	0.875	0.875	0.874	0.870	0.873	0.875	0.874	0.876	0.875	0.875	0.875	0.877

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

FECHA	20-11-01	22-11-01	23-11-01	24-11-01	26-11-01	27-11-01	28-11-01	29-11-01	30-11-01	03-12-01	04-12-01	05-12-01	06-12-01	07-12-01	08-12-01	10-12-01	11-12-01	12-12-01
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	92.2	92.2	92.2	92.2	92.1	93.2	91.8	93.4	90.6	91.7	91.4	92.2	93.1	92.2	93.7	93.4	93.2	89.8
3/8"	80.0	80.0	80.0	80.0	80.9	81.6	82.3	80.9	83.1	83.2	80.7	80.7	83.7	81.1	82.8	79.5	81.0	81.1
1/4"																		
No4	56.1	56.1	56.1	56.1	57.3	57.3	56.5	57.2	56.1	57.4	57.8	57.1	56.6	57.9	56.3	57.2	56.1	57.0
No8	44.1	44.1	44.1	44.1	46.2	43.5	43.0	45.0	43.8	44.8	44.2	43.7	44.0	44.8	44.6	44.6	43.1	43.4
No16																		
No30	28.2	28.2	28.2	28.2	29.2	27.9	28.4	28.9	28.7	27.7	27.7	27.1	28.8	28.4	27.5	27.5	28.1	28.8
No50	20.9	20.9	20.9	20.9	22.0	20.3	21.2	21.2	21.9	21.1	21.2	20.6	20.8	21.7	21.3	20.7	21.3	21.5
No100	13.8	13.8	13.8	13.8	14.2	13.2	13.0	14.0	13.4	13.8	14.6	13.1	13.1	14.5	13.2	13.8	13.6	13.1
No200	8.4	8.4	8.4	8.4	8.0	9.0	8.0	8.5	8.6	7.4	8.9	8.8	8.3	8.5	7.8	8.1	8.3	8.6

CARACTERISTICAS																		
MEZCLA																		
% ASFALTO - (Pb)	6.00	6.21	6.14	6.20	6.18	6.20	6.16	6.23	6.20	6.22	6.22	6.23	6.2	6.21	6.25	6.23	6.24	6.19
ASFALTO EFECTIVO - %	5.16	5.31	5.26	5.30	5.35	5.45	5.35	5.41	5.36	5.41	5.48	5.48	5.43	5.50	5.38	5.42	5.41	5.40
DENSIDAD - gr/cc	2.253	2.252	2.253	2.253	2.249	2.251	2.251	2.253	2.251	2.251	2.250	2.249	2.251	2.250	2.252	2.252	2.253	2.251
VACIOS - %	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.1	3.1	3.0	3.1
ESTABILIDAD - kg	1216	1183	1177	1174	1187	1167	1180	1171	1183	1180	1178	1187	1188	1188	1160	1161	1185	1168
FLUJO - mm	3.5	3.4	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.6	3.5	3.5	3.6	3.3	3.7	3.5
IRIGIDEZ - kg/cm	3474	3479	3363	3354	3297	3334	3371	3346	3479	3471	3465	3297	3394	3394	3222	3518	3203	3337
V.M.A. - %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
V.F.A. - %	78	79	78	79	78	80	79	80	79	79	80	80	80	80	79	80	80	79
lc	7.8	8.2	8.1	8.0	8.1	7.9	10.4	5.7	7.6	8.9	8.4	7.8	7.8	7.8	11.6	8.5	8.3	6.1
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ESTABILIDAD RET. - %	88	92	92	93	91	93	91	92	91	93	92	90	90	90	93	93	91	91
RELACION F/B	1.32	1.27	1.28	1.27	1.21	1.36	1.22	1.28	1.30	1.12	1.34	1.32	1.26	1.28	1.17	1.22	1.25	1.30
CONCENTRACION <N°200	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36	0.39	0.36	0.37	0.37	0.34	0.38	0.38	0.37	0.37	0.35	0.36	0.36	0.38
Cv	0.879	0.876	0.877	0.877	0.875	0.875	0.876	0.876	0.876	0.875	0.874	0.874	0.876	0.874	0.876	0.875	0.876	0.875

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

FECHA	13-12-01	14-12-01	15-12-01	16-12-01	17-12-01	18-12-01	19-12-01	20-12-01	20-12-01	26-01-02	27-01-02	28-01-02	29-01-02	30-01-02
GRANULOMETRIA														
% QUE PASA	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
1"														
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	90.5	89.8	91.5	92.9	92.1	90.2	93.8	93.4	91.5	89.9	93.3	89.8	91.3	90.9
3/8"	82.5	83.5	80.8	79.7	79.7	79.6	83.5	80.7	80.5	79.1	79.2	82.9	82.3	79.7
1/4"														
No4	56.6	57.7	57.0	56.8	56.9	57.7	56.7	56.0	56.5	56.8	57.8	57.3	57.7	56.3
No8	44.5	44.8	44.8	44.1	43.6	43.9	44.8	44.9	44.7	44.6	43.9	43.7	44.7	43.2
No16														
No30	27.0	27.8	28.7	28.0	27.3	28.6	27.9	28.8	28.0	28.4	28.8	29.0	27.4	27.2
No50	20.3	20.2	20.7	20.4	21.9	21.9	20.7	20.4	20.1	22.0	20.3	20.0	20.8	21.3
No100	14.8	14.9	13.1	13.2	13.8	13.5	15.0	13.2	13.9	13.7	14.8	14.6	14.2	14.2
No200	8.9	8.6	8.9	8.7	8.6	9.0	8.6	8.3	8.6	8.1	8.0	9.0	8.1	8.9

CARACTERISTICAS														
MEZCLA														
% ASFALTO - (Pb)	6.23	6.25	6.22	6.24	6.25	6.23	6.21	6.25	6.26	6.19	6.22	6.25	6.27	6.24
ASFALTO EFECTIVO - %	5.39	5.49	5.43	5.42	5.42	5.48	5.38	5.43	5.39	5.39	5.48	5.47	5.49	5.38
DENSIDAD - gr/cc	2.252	2.251	2.252	2.253	2.252	2.251	2.252	2.250	2.251	2.252	2.251	2.250	2.250	2.249
VACIOS - %	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.1	3.1	3.2
ESTABILIDAD - kg	1182	1197	1192	1174	1163	1189	1185	1175	1190	1182	1181	1171	1176	1180
FLUJO - mm	3.6	3.6	3.5	3.6	3.7	3.5	3.6	3.7	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.5
I.RIGIDEZ - kg/cm	3283	3325	3406	3261	3143	3397	3292	3176	3400	3283	3374	3253	3267	3371
V.M.A. - %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
V.F.A. - %	79	80	80	80	80	80	79	80	79	80	80	80	80	79
Ic	7.6	7.6	8.3	8.6	8.2	8.0	7.4	7.8	7.8	7.8	8.6	8.6	8.5	9
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ESTABILIDAD RET. - %	92	90	91	91	92	92	91	82	91	91	91	91	91	89
RELACION F/B	1.34	1.29	1.34	1.31	1.29	1.35	1.30	1.25	1.29	1.23	1.21	1.35	1.21	1.34
CONCENTRACION <N°200	0.38	0.37	0.38	0.38	0.37	0.38	0.37	0.36	0.37	0.36	0.36	0.38	0.36	0.38
Cv	0.876	0.874	0.875	0.876	0.875	0.874	0.876	0.875	0.875	0.876	0.874	0.874	0.874	0.875

01.02

Mezcla Asfáltica con PEN 100-120

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	02-09-00	02-09-00	23-08-00	23-08-00	24-08-00	24-08-00	22-08-00	22-08-00	05-06-00	05-06-00	10-08-00	10-08-00	04-08-00	04-08-00	03-08-00	03-08-00	22-07-00	22-07-00
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	91.2	88.2	90.2	91.8	88.4	90.2	96.3	95.5	92.4	88.5	88.2	91.7	88.2	90.8	90.3	91.0	88.2	90.0
3/8"	79.2	75.4	81.6	82.9	80.7	83.5	85.8	86.4	78.2	78.3	78.2	77.1	78.2	76.8	75.6	78.8	75.2	76.5
1/4"																		
No4	55.0	55.2	55.1	56.4	58.9	56.4	59.0	56.6	56.7	55.8	55.9	55.9	55.7	56.2	56.0	56.3	55.1	56.2
No8	45.1	42.4	45.1	44.6	45.5	44.3	43.5	41.9	43.2	42.2	42.5	41.9	43.5	42.9	43.3	43.0	41.2	43.0
No16																		
No30	28.2	26.5	26.5	27.9	29.3	27.3	28.2	27.4	25.1	25.1	26.3	27.1	28.6	26.6	27.2	26.9	26.3	27.6
No50	21.1	18.9	20.4	22.5	22.5	22.0	22.2	21.8	19.0	19.7	19.8	19.7	22.5	20.3	18.6	19.6	18.2	19.2
No100	11.5	12.4	14.1	15.0	15.1	14.8	15.3	14.4	11.4	14.0	13.2	12.5	13.2	12.5	11.7	12.8	11.3	12.1
No200	7.8	7.0	7.9	8.9	8.7	8.2	9.3	8.7	7.6	8.1	7.8	7.2	7.6	7.1	7.3	7.9	7.8	7.4

**CARACTERISTICAS
MEZCLA**

% ASFALTO - (Pb)	7.15	7.21	7.23	7.32	7.22	7.42	7.40	7.35	7.57	7.54	7.20	7.10	7.25	7.32	7.19	7.49	7.10	7.12
ASFALTO EFECTIVO - %	5.52	5.62	5.65	5.77	5.72	5.75	5.86	5.69	5.99	5.93	5.66	5.60	5.66	5.72	5.63	5.82	5.46	5.53
DENSIDAD - gr/cc	2.241	2.240	2.240	2.241	2.240	2.245	2.241	2.244	2.253	2.249	2.239	2.240	2.240	2.243	2.240	2.242	2.238	2.240
VACIOS - %	3.6	3.4	3.4	3.3	3.5	3.2	3.4	3.4	2.5	2.7	3.4	3.4	3.4	3.3	3.5	3.3	3.8	3.7
ESTABILIDAD - kg	869	825	825	742	886	810	810	768	854	886	890	877	890	979	900	854	853	923
FLUJO - mm	3.6	3.5	3.8	4.0	4.0	3.8	3.4	3.5	3.6	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.4	3.6	3.5	3.7
I.RIGIDEZ - kg/cm	2414	2357	2171	1855	2215	2132	2382	2194	2372	2461	2543	2436	2472	2719	2647	2372	2437	2495
V.M.A. - %	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
V.F.A. - %	77	78	79	80	78	80	79	79	84	83	78	78	78	79	78	80	76	77
Ic	8.6	7.9	8.4	8.3	9.3	8.7	7.3	7.1	8.1	7.8	8.7	8.2	7.4	7.2	8.1	8.7	6.8	6.9
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	96	94	97	96	95	94	96	98	94	90	99	98	100	98	99	94	98	99
RELACION F/B	1.01	0.90	1.01	1.13	1.12	1.02	1.16	1.10	0.93	0.99	1.01	0.94	0.97	0.90	0.94	0.98	1.02	0.97
CONCENTRACION <N°200	0.32	0.30	0.32	0.35	0.35	0.33	0.36	0.34	0.31	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.31	0.32	0.33	0.31
Cv	0.868	0.867	0.867	0.865	0.864	0.866	0.862	0.866	0.863	0.864	0.866	0.867	0.866	0.866	0.867	0.864	0.867	0.867

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	20-07-00	20-07-00	19-07-00	19-07-00	18-07-00	18-07-00	17-07-00	17-07-00	15-07-00	15-07-00	14-07-00	14-07-00	13-07-00	13-07-00	07-06-00	07-06-00	08-06-00	08-06-00
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	89.8	89.8	86.4	90.9	89.2	89.2	90.5	92.9	92.3	88.6	89.5	90.3	90.6	91.3	90.2	88.3	91.2	91.3
3/8"	76.5	76.5	74.9	77.4	75.2	75.2	77.2	78.0	78.3	75.8	78.2	76.6	74.3	75.7	75.8	76.9	77.3	77.4
1/4"																		
No4	55.4	55.4	56.1	55.7	54.6	54.6	55.3	57.0	55.4	56.4	55.4	55.8	55.4	55.9	56.9	56.3	55.5	55.8
No8	42.3	42.3	42.6	43.1	43.9	43.9	40.2	41.3	41.5	43.1	44.5	41.7	44.2	43.1	42.3	41.9	41.3	41.4
No16																		
No30	27.2	27.2	27.2	24.3	25.7	25.7	23.5	24.8	24.8	24.9	26.6	26.6	26.3	27.6	25.3	26.1	26.5	26.5
No50	20.1	20.1	19.0	19.3	19.5	19.5	20.5	19.5	18.9	19.4	18.2	19.2	21.6	20.7	17.6	18.4	19.0	18.9
No100	12.4	12.4	11.4	12.2	11.7	11.7	12.3	12.7	11.2	14.0	13.2	12.1	13.4	12.1	12.5	13.1	12.7	12.5
No200	7.0	7.0	7.3	7.5	7.1	7.1	7.1	7.5	5.9	7.7	7.9	7.4	7.2	7.0	7.5	7.1	7.7	7.4

**CARACTERISTICAS
MEZCLA**

% ASFALTO - (Pb)	7.25	7.25	7.43	7.47	7.49	7.49	7.25	7.41	7.45	7.40	7.20	7.25	7.28	7.32	7.50	7.55	7.56	7.48
ASFALTO EFECTIVO - %	5.63	5.63	5.84	5.86	5.85	5.85	5.74	5.83	5.80	5.80	5.55	5.64	5.74	5.73	5.97	5.95	5.97	5.91
DENSIDAD - gr/cc	2.241	2.241	2.241	2.242	2.242	2.242	2.240	2.241	2.250	2.243	2.239	2.240	2.243	2.245	2.245	2.247	2.245	2.246
VACIOS - %	3.4	3.4	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	2.8	3.2	3.7	3.5	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.9
ESTABILIDAD - kg	948	948	944	885	900	900	895	897	962	969	985	932	915	934	800	980	890	864
FLUJO - mm	3.8	3.8	3.8	3.5	3.5	3.5	3.4	3.8	3.8	3.6	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	3.9
I.RIGIDEZ - kg/cm	2495	2495	2484	2529	2571	2571	2632	2361	2532	2692	2897	2663	2614	2594	2222	2579	2342	2267
V.M.A. - %	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
V.F.A. - %	78	78	80	81	81	81	80	80	82	80	77	78	80	80	82	82	82	82
lc	7.1	7.4	6.8	6.5	7.2	7.4	6.9	7.2	6.8	6.6	6.3	6.9	5.9	6.2	7.2	7.0	7.5	7.4
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	98	99	89	86	88	91	81	86	91	85	92	93	93	94	90	89	92	93
RELACION F/B	0.90	0.90	0.91	0.93	0.88	0.88	0.91	0.94	0.73	0.96	1.02	0.95	0.92	0.89	0.93	0.87	0.94	0.92
CONCENTRACION <N°200	0.30	0.30	0.30	0.31	0.29	0.29	0.30	0.31	0.26	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.31	0.30
cv	0.867	0.867	0.865	0.865	0.866	0.866	0.866	0.866	0.867	0.865	0.867	0.866	0.867	0.867	0.863	0.864	0.864	0.865

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	12-07-00	12-07-00	10-07-00	10-07-00	07-06-00	07-06-00	08-06-00	08-06-00	06-06-00	06-06-00	05-06-00	05-06-00	03-06-00	03-06-00	02-06-00	02-06-00	01-06-00	01-06-00
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	90.2	89.2	89.3	88.5	90.2	88.3	91.2	91.3	86.7	89.6	92.4	88.5	87.3	86.9	88.9	88.3	87.4	88.3
3/8"	76.8	76.3	78.3	77.3	75.8	76.9	77.3	77.4	77.4	78.1	78.2	78.3	78.8	76.2	77.3	76.4	76.2	75.4
1/4"																		
No4	56.6	56.3	56.2	56.1	56.9	56.3	55.5	55.8	56.3	54.4	56.7	55.8	54.8	55.1	55.4	55.8	56.3	55.8
No8	41.9	41.7	43.2	41.8	42.3	41.9	41.3	41.4	41.6	42.3	43.2	42.2	42.5	43.2	42.7	42.6	41.9	42.5
No16																		
No30	26	25.7	28.7	26.6	25.3	26.1	26.5	26.5	24.8	25.6	25.1	25.1	25.4	23.4	25.0	24.4	23.7	24.2
No50	17.7	17.9	19.2	18.4	17.6	18.4	19.0	18.9	18.2	20.2	19.0	19.7	19.7	20.1	19.8	19.0	17.8	18.7
No100	12.8	12.4	11.3	10.7	12.5	13.1	12.7	12.5	12.1	12.7	11.4	14.0	12.4	13.4	13.2	13.9	13.5	13.1
No200	7.7	7.6	7.8	7.6	7.5	7.1	7.7	7.4	7.3	7.2	7.6	8.1	7.3	7.4	7.9	8.4	8.2	7.7

CARACTERISTICAS

MEZCLA

% ASFALTO - (Pb)	7.00	7.20	7.30	7.45	7.50	7.55	7.56	7.48	7.70	7.53	7.57	7.54	7.48	7.32	7.51	7.55	7.50	7.48
ASFALTO EFECTIVO - %	5.48	5.58	5.75	5.85	5.97	5.95	5.97	5.91	6.11	5.88	5.99	5.93	5.85	5.78	5.89	5.92	5.93	5.87
DENSIDAD - gr/cc	2.238	2.241	2.240	2.242	2.245	2.247	2.245	2.246	2.242	2.246	2.253	2.249	2.240	2.238	2.241	2.243	2.245	2.240
VACIOS - %	3.8	3.6	3.3	3.2	2.9	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.5	2.7	3.2	3.3	3.1	3.0	2.9	3.2
ESTABILIDAD - kg	900	880	910	935	800	980	890	884	722	797	854	886	920	905	905	800	869	910
FLUJO - mm	3.4	3.3	3.5	3.4	3.6	3.8	3.8	3.9	4.1	3.9	3.6	3.6	3.7	3.6	3.8	3.6	3.6	3.8
I.RIGIDEZ - kg/cm	2647	2667	2600	2750	2222	2579	2342	2267	1761	2044	2372	2461	2486	2514	2382	2222	2414	2395
V.M.A. - %	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
V.F.A. - %	76	78	79	80	82	82	82	82	83	82	84	83	80	80	81	81	82	80
lc	6.9	7.2	7.1	7.5	7.2	7	7.5	7.4	6.8	7.4	8.1	7.8	7.2	7.5	6.6	6.8	8.3	7.2
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	92	91	86	84	90	89	92	93	89	92	94	90	90	96	94	91	88	90
RELACION F/B	1.02	0.98	0.99	0.94	0.93	0.87	0.94	0.92	0.88	0.88	0.93	0.99	0.90	0.94	0.97	1.03	1.01	0.95
CONCENTRACION <N°200	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.29	0.31	0.30	0.29	0.30	0.31	0.32	0.30	0.31	0.32	0.33	0.32	0.31
Cv	0.867	0.867	0.865	0.865	0.863	0.864	0.864	0.865	0.861	0.866	0.863	0.864	0.865	0.865	0.864	0.864	0.864	0.864

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	11-08-00	11-08-00	31-05-00	31-05-00	25-05-00	25-05-00	24-05-00	24-05-00	22-05-00	22-05-00	20-05-00	20-05-00	19-05-00	19-05-00	18-05-00	18-05-00	15-05-00	15-05-00
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	91.2	92.4	86.1	88.6	86.4	88.2	90.2	88.2	88.4	89.5	91.7	88.9	91.4	90.1	86.9	88.2	89.4	87.2
3/8"	77.2	76.1	73.3	78.2	77.3	78.2	78.7	77.2	74.7	75.2	77.5	78.0	80.5	75.6	73.6	74.2	75.5	76.5
1/4"																		
No4	55.9	55.7	56.4	56.0	55.0	55.4	57.0	56.2	55.3	55.8	55.4	54.5	54.3	54.5	55.2	55.6	56.1	55.2
No8	43.2	42.3	41.6	41.0	41.6	43.2	41.3	42.5	41.8	42.6	41.5	42.0	40.4	42.7	40.2	42.5	43.0	42.9
No16																		
No30	25.4	27.9	23.9	24.2	23.9	22.8	24.7	25.6	24.8	23.5	24.5	24.7	24.4	27.1	24.7	25.6	28.1	26.5
No50	20.5	19.8	18.2	17.8	18.0	19.5	18.3	19.6	17.9	18.5	16.7	19.2	19.1	19.3	19.2	17.5	20.6	21.8
No100	13.1	12.4	11.2	11.1	11.9	12.4	12.3	11.2	12.2	11.5	11.2	11.0	12.8	12.4	11.2	12.5	13.6	12.7
No200	7.5	7.6	6.6	7.3	6.6	6.7	7.1	7.4	6.9	6.7	6.9	7.3	7.5	7.1	6.7	6.9	7.5	7.8

**CARACTERISTICAS
MEZCLA**

% ASFALTO - (Pb)	7.19	7.27	7.45	7.50	7.50	7.35	7.54	7.45	7.56	7.42	7.61	7.52	7.57	7.32	7.62	7.34	7.43	7.35
ASFALTO EFECTIVO - %	5.72	5.76	5.88	5.92	5.91	5.75	6.01	5.87	5.94	5.92	5.98	5.86	5.97	5.68	6.00	5.79	5.86	5.76
DENSIDAD - gr/cc	2.241	2.243	2.241	2.242	2.245	2.241	2.243	2.241	2.256	2.251	2.241	2.245	2.245	2.240	2.245	2.240	2.250	2.243
VACIOS - %	3.2	3.1	3.2	3.0	2.9	3.3	2.9	3.2	2.4	2.6	3.0	2.9	2.7	3.4	2.8	3.2	2.8	3.2
ESTABILIDAD - kg	850	810	946	841	845	890	856	860	972	900	1000	956	848	870	775	800	827	900
FLUJO - mm	3.5	3.4	3.2	3.1	3.6	3.5	3.7	3.6	3.9	3.7	3.8	3.5	3.4	3.6	3.9	3.6	3.2	3.7
I.RIGIDEZ - kg/cm	2429	2382	2956	2713	2347	2543	2314	2389	2492	2432	2632	2731	2494	2417	1987	2222	2584	2432
V.M.A. - %	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
V.F.A. - %	80	80	81	81	82	80	82	80	85	84	82	82	83	79	83	80	83	80
lc	6.9	7.1	7.5	8.1	8.4	7.2	8.3	7.3	7.1	8.2	6.9	7.2	8.3	9.1	7.5	7.3	7.2	7.8
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	97	96	94	93	96	92	93	97	94	95	88	93	90	89	94	91	98	94
RELACION F/B	0.97	0.97	0.82	0.90	0.81	0.84	0.87	0.92	0.84	0.84	0.84	0.90	0.92	0.90	0.81	0.87	0.93	0.98
CONCENTRACION <N°200	0.31	0.31	0.28	0.30	0.28	0.29	0.29	0.30	0.29	0.28	0.28	0.30	0.30	0.30	0.28	0.29	0.31	0.32
Cv	0.867	0.867	0.864	0.864	0.865	0.866	0.863	0.864	0.864	0.865	0.863	0.866	0.864	0.867	0.863	0.865	0.866	0.867

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	16-05-00	16-05-00	02-08-00	02-08-00	13-05-00	13-05-00	13-05-00	12-05-00	12-05-00	10-05-00	10-05-00	09-05-00	09-05-00	04-05-00	04-05-00	03-05-00	03-05-00	02-05-00	02-05-00
GRANULOMETRIA																			
% QUE PASA																			
1"	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
1/2"	91.8	90.7	87.9	90.1	90.0	89.2	88.3	88.0	88.7	89.3	89.9	87.5	84.9	85.9	88.2	88.7	90.2	88.7	
3/8"	80.7	78.5	79.2	78.3	77.0	78.3	77.5	77.2	75.4	76.3	73.1	73.9	74.6	75.8	77.3	75.1	77.2	76.4	
1/4"	54.8	55.7	55.9	55.9	56.1	55.6	55.9	55.6	55.9	55.8	56.2	56.0	55.6	55.3	55.6	57.9	55.0	55.9	
No4	39.6	40.8	43.2	42.3	42.2	44.0	40.6	43.5	43.5	42.4	43.5	43.6	42.3	42.3	43.1	42.1	42.4	43.0	
No16	23.2	25.6	25.6	26.2	25.3	25.6	25.1	28.6	25.4	26.2	27.1	27.7	25.7	27.4	28.0	26.1	28.3	28.4	
No30	17.5	18.6	20.1	19.5	14.3	14.6	18.5	21.3	22.7	21.4	18.1	19.8	19.0	18.6	21.6	19.2	21.8	22.7	
No50	10.6	11.0	11.5	12.4	12.0	12.4	11.1	12.9	13.1	12.9	11.1	12.9	11.4	11.7	14.2	10.8	13.5	13.4	
No200	5.5	6.2	7.5	7.8	7.2	8.3	7.2	7.5	7.5	7.3	7.2	8.2	7.3	7.3	7.4	6.9	7.7	7.6	

CARACTERISTICAS

MEZCLA

% ASFALTO - (Pb)	7.27	7.2	7.31	7.43	7.06	7.31	7.27	7.30	7.25	7.33	7.00	7.21	7.20	7.16	7.19	7.50	7.50	7.25
ASFALTO EFECTIVO - %	5.62	5.60	5.77	5.85	5.61	5.74	5.71	5.71	5.70	5.79	5.50	5.63	5.62	5.51	5.61	5.93	5.79	5.67
DENSIDAD - gr/cc	2.245	2.241	2.241	2.244	2.261	2.263	2.251	2.252	2.250	2.253	2.251	2.258	2.249	2.248	2.255	2.265	2.267	2.263
VACIOS - %	3.3	3.5	3.2	3.0	2.5	2.3	2.9	2.8	2.9	2.7	3.1	2.7	3.1	3.3	2.8	2.2	2.2	2.5
ESTABILIDAD - kg	1010	1050	856	813	1090	1007	954	966	810	857	890	943	864	845	926	885	950	880
FLUJO - mm	3.7	3.6	3.5	3.7	3.9	3.8	3.9	3.4	3.7	3.8	3.8	3.9	3.5	3.6	4.0	3.8	3.7	3.6
I.RIGIDEZ - kg/cm	2730	2917	2446	2197	2795	2650	2446	2841	2189	2255	2342	2418	2469	2347	2315	2329	2568	2444
V.M.A. - %	16	16	16	16	15	15	16	16	16	16	15	15	16	16	15	15	15	15
V.F.A. - %	79	78	80	81	83	85	81	82	81	83	80	82	80	79	81	86	86	84
Ic	8.2	8.1	8.4	7.9	7.4	7.6	6.4	6.3	9.1	8.6	8.2	7.3	7.9	8.5	7.3	7.5	8.1	7.2
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	86	92	95	95	84	86	85	83	95	96	96	98	97	96	92	94	91	93
RELACION F/B	0.70	0.80	0.95	0.97	0.95	1.05	0.92	0.95	0.96	0.92	0.96	1.06	0.94	0.95	0.96	0.85	0.95	0.97
CONCENTRACION <Nº200	0.25	0.27	0.31	0.32	0.31	0.33	0.30	0.31	0.31	0.30	0.31	0.33	0.31	0.31	0.31	0.29	0.31	0.31
CV	0.869	0.867	0.866	0.866	0.871	0.869	0.869	0.869	0.869	0.867	0.872	0.871	0.870	0.870	0.871	0.864	0.867	0.870

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	30-04-00	30-04-00	29-04-00	29-04-00	28-04-00	28-04-00	25-04-00	25-04-00	24-04-00	24-04-00	23-04-00	23-04-00	22-04-00	22-04-00	14-04-00	14-04-00	13-04-00	13-04-00
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	90.0	88.7	88.1	90.8	87.4	90.0	88.9	87.8	92.5	90.4	90.5	91.2	88.5	90.5	86.3	90.9	82.4	83.4
3/8"	81.2	75.8	76.3	78.2	76.2	77.4	78.3	78.0	82.0	80.5	81.1	79.2	78.9	78.9	78.8	76.9	72.1	72.5
1/4"																		
No4	55.0	56.2	53.6	54.7	57.6	56.4	54.4	54.2	56.9	56.2	56.2	55.7	58.2	58.9	58.8	58.6	55.4	56.1
No8	41.1	40.2	42.3	42.5	42.8	43.7	42.2	43.5	42.8	43.2	41.7	42.5	43.3	45.3	43.4	44.2	43.1	42.1
No16																		
No30	27.5	25.6	26.5	28.4	28.1	28.2	27.9	26.5	27.2	27.5	26.9	27.4	26.4	27.6	26.1	26.7	26.5	25.4
No50	21.0	18.9	19.9	21.8	21.7	21.2	21.1	20.4	20.7	22.1	20.0	21.8	20.5	21.5	19.5	20.0	18.7	20.1
No100	13.4	13.5	12.4	14.5	14.8	13.4	13.9	12.4	13.1	11.7	12.0	11.4	13.3	12.9	11.9	12.0	11.5	12.4
No200	7.6	6.8	7.2	7.4	8.1	7.4	7.8	7.0	7.3	7.0	7.6	7.4	7.1	6.7	6.3	6.5	7.4	7.1

CARACTERISTICAS																		
MEZCLA																		
% ASFALTO - (Pb)	7.23	7.20	7.24	7.11	7.38	7.50	7.25	7.20	7.39	7.25	7.35	7.30	7.34	7.31	7.45	7.47	7.23	7.31
ASFALTO EFECTIVO - %	5.57	5.51	5.54	5.51	5.87	5.94	5.61	5.51	5.91	5.81	5.81	5.72	5.86	5.85	5.91	5.96	5.75	5.83
DENSIDAD - gr/cc	2.262	2.258	2.258	2.260	2.251	2.263	2.246	2.239	2.244	2.248	2.249	2.241	2.261	2.250	2.259	2.261	2.249	2.243
VACIOS - %	2.6	3.0	2.8	2.7	2.8	2.1	3.2	3.7	2.9	2.8	2.9	3.3	2.4	2.9	2.5	2.3	2.8	3.0
ESTABILIDAD - kg	757	800	850	832	847	824	795	800	885	812	878	900	968	980	810	767	901	890
FLUJO - mm	3.6	3.5	3.5	3.6	3.6	3.8	3.5	3.6	3.8	3.6	3.8	3.6	3.6	3.5	3.8	3.5	3.4	3.5
I.RIGIDEZ - kg/cm	2103	2286	2429	2311	2353	2168	2271	2222	2329	2256	2311	2500	2689	2800	2132	2191	2650	2543
V.M.A. - %	15	15	15	15	16	15	16	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16	16
V.F.A. - %	83	80	82	82	83	86	80	77	82	82	82	79	85	82	84	85	82	81
Ic	7.2	6.9	9.2	8.1	8.3	7.9	6.8	8.4	6.9	7.5	8.4	7.3	6.5	7.4	7.2	7.1	7.4	6.9
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	96	98	91	93	94	92	87	86	91	93	88	87	94	89	92	91	95	94
RELACION F/B	0.98	0.88	0.92	0.97	1.02	0.91	1.00	0.90	0.91	0.90	0.96	0.94	0.90	0.85	0.78	0.81	0.95	0.90
CONCENTRACION <N°200	0.32	0.29	0.30	0.31	0.32	0.30	0.32	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.30	0.29	0.27	0.28	0.31	0.30
Cv	0.872	0.873	0.873	0.873	0.865	0.864	0.870	0.868	0.865	0.867	0.867	0.866	0.866	0.866	0.865	0.863	0.868	0.866

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	12-04-00	12-04-00	12-09-00	12-09-00	13-09-00	13-09-00	14-09-00	14-09-00	15-09-00	15-09-00	16-09-00	16-09-00	20-09-00	20-09-00	19-09-00	19-09-00	21-09-00	21-09-00
GRANULOMETRIA																		
% QUE PASA	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
1"																		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	87.0	84.5	88.2	89.3	91.3	93.7	91.3	90.1	89.2	91.6	91.2	90.7	90.2	89.2	90.5	91.4	89.2	90.9
3/8"	77.2	76.4	76.3	77.5	79.2	80.4	78.0	78.3	75.6	79.1	75.9	74.6	78.2	77.1	78.9	79.7	76.2	75.7
1/4"																		
No4	56.1	56.1	54.8	56.8	55.1	56.6	55.7	56.0	54.0	54.9	56.1	57.5	55.4	54.6	55.5	55.1	55.4	54.9
No8	42.7	42.5	45.2	44.2	41.2	42.2	42.5	42.5	42.7	42.3	43.2	44.3	42.5	40.8	44.2	43.0	43.5	42.9
No16																		
No30	25.7	24.7	26.3	27.1	25.8	26.0	26.6	26.0	27.0	24.2	26.8	25.4	23.6	23.6	26.5	24.7	28.2	26.9
No50	22.1	21.5	20.2	19.2	20.3	19.5	19.0	19.7	19.8	18.8	19.4	18.4	19.8	17.4	18.9	17.6	20.1	19.7
No100	12.7	11.7	11.6	10.7	12.5	13.2	12.1	12.5	13.5	13.1	11.7	10.2	12.6	10.4	11.5	9.6	12.3	11.6
No200	6.8	6.7	7.6	7.4	6.7	6.8	7.5	7.1	6.7	7.3	6.4	4.8	7.2	5.4	6.1	5.9	6.2	5.9

CARACTERISTICAS

MEZCLA

% ASFALTO - (Pb)	7.25	7.32	7.20	7.23	7.20	7.00	7.38	6.88	7.30	6.93	7.25	7.35	7.19	7.20	7.20	7.10	7.12	7.20
ASFALTO EFECTIVO - %	5.73	5.74	5.76	5.67	5.52	5.44	5.64	5.29	5.52	5.29	5.65	5.78	5.57	5.56	5.48	5.46	5.52	5.57
DENSIDAD - gr/cc	2.248	2.247	2.240	2.247	2.246	2.244	2.248	2.254	2.250	2.254	2.250	2.253	2.251	2.252	2.253	2.251	2.250	2.251
VACIOS - %	3.0	3.1	3.1	3.2	3.4	3.6	3.3	3.3	3.2	3.3	3.1	2.8	3.1	3.0	3.2	3.2	3.2	3.1
ESTABILIDAD - kg	900	880	990	1018	1005	1115	890	845	900	970	845	830	800	799	891	860	810	858
FLUJO - mm	3.6	3.4	3.6	3.5	3.4	3.7	3.5	3.7	3.5	3.6	3.6	3.7	3.5	3.4	3.6	3.9	3.2	3.0
I.RIGIDEZ - kg/cm	2500	2588	2750	2909	2956	3014	2543	2284	2571	2694	2347	2243	2286	2350	2475	2205	2531	2860
V.M.A. - %	16	16	16	16	16	16	16	15	16	15	16	16	15	15	15	15	15	15
V.F.A. - %	81	81	80	80	78	77	79	78	79	78	80	82	80	80	79	79	79	80
Ic	7.1	6.9	8.2	8.1	8.2	8.1	7.3	7.2	7.3	7.2	8.1	8.3	7.9	7.6	7.3	7.2	8.1	8.5
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	90	92	89	92	96	97	96	93	89	92	94	89	97	95	93	96	96	98
RELACION F/B	0.87	0.85	0.98	0.95	0.86	0.90	0.94	0.96	0.85	0.98	0.82	0.61	0.93	0.70	0.79	0.77	0.81	0.76
CONCENTRACION <N°200	0.29	0.29	0.32	0.31	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.32	0.28	0.22	0.31	0.25	0.27	0.27	0.28	0.26
Cv	0.869	0.868	0.867	0.868	0.869	0.869	0.868	0.875	0.871	0.875	0.870	0.867	0.871	0.872	0.872	0.872	0.871	0.871

RESULTADOS DE MEZCLA ASFALTICA CON PEN 120-150 COLOCADO EN OBRA

FECHA	22-09-00	22-09-00	29-09-00	29-09-00	03-10-00	03-10-00	06-10-00	06-10-00	07-10-00	07-10-00	09-10-00	09-10-00
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

GRANULOMETRIA

% QUE PASA	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
1"												
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	90.8	91.9	92.5	94.5	93.2	95.4	95.2	96.3	92.5	95.5	92.1	93.4
3/8"	78.2	76.6	81.2	86.2	84.2	85.1	83.2	86.3	81.5	83.1	82.4	83.0
1/4"												
No4	55.6	54.1	55.4	54.9	55.4	56.3	55.2	55.4	55.7	55.1	56.1	57.0
No8	43.5	42.2	44.2	41.8	43.2	42.6	43.6	42.6	44.2	42.8	42.3	41.5
No16												
No30	28.2	26.1	26.3	24.7	26.8	26.0	25.1	26.3	26.5	25.7	26.5	25.0
No50	22.1	20.4	19.2	18.3	19.1	18.8	19.9	19.4	20.8	19.3	20.7	19.1
No100	13.5	12.8	12.4	10.3	12.5	11.8	11.5	10.9	12.4	11.0	12.4	10.8
No200	6.8	6.0	5.9	4.9	6.7	6.6	6.5	5.7	6.5	5.7	5.9	5.5

CARACTERISTICAS

MEZCLA

% ASFALTO - (Pb)	7.22	7.28	7.21	7.20	7.15	7.20	7.25	7.38	7.10	7.17	7.22	7.33
ASFALTO EFECTIVO - %	5.62	5.61	5.59	5.57	5.70	5.70	5.66	5.78	5.58	5.57	5.59	5.74
DENSIDAD - gr/cc	2.242	2.247	2.248	2.249	2.251	2.253	2.251	2.253	2.251	2.255	2.258	2.260
VACIOS - %	3.4	3.1	3.2	3.1	2.8	2.8	2.9	2.7	3.0	2.9	2.8	2.6
ESTABILIDAD - kg	950	980	895	831	810	878	800	872	890	917	900	829
FLUJO - mm	3.2	3.0	3.5	3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	3.6	3.7	3.6	3.7
IRIGIDEZ - kg/cm	2969	3267	2557	2444	2382	2509	2222	2295	2472	2478	2500	2241
V.M.A. - %	16	16	16	16	15	16	16	16	15	15	15	15
V.F.A. - %	79	80	80	80	82	82	81	83	80	81	81	83
Ic	6.8	6.6	7.4	7.6	6.8	6.7	8.3	8.4	7.2	7.6	6.8	7.2
CAL HIDRATADA - %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ADITIVO QUIMICO - %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ESTABILIDAD RET. - %	89	95	96	88	89	95	96	91	93	92	94	95
RELACION F/B	0.87	0.76	0.76	0.63	0.87	0.85	0.83	0.72	0.85	0.74	0.76	0.70
CONCENTRACION <N°200	0.29	0.27	0.26	0.23	0.29	0.29	0.28	0.25	0.29	0.26	0.26	0.25
Cv	0.867	0.870	0.870	0.871	0.869	0.869	0.870	0.868	0.872	0.872	0.872	0.868

Anexo 02
Resultados de Análisis
de Laboratorio

02.01

Análisis Petrográfico

ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO

Proyecto : TESIS "Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura- Pathuasi/ Arequipa, con Agregados Volcánicos"
 Bachiller: Nohely Magali Nikaido Fukuyama
 Procedencia : Cantera Salas
 Carretera: Yura- Patahuasi (Dpto. de Arequipa)
 Muestra : De Bolonería.
 Registro : 414(11.07.2002)
 Efectuado por: Ing. Esther Nieto Farina
 Fecha : Lima, Octubre del 2002.

CANTERA SALAS	
CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS	
COLOR	Pardo grisáceo superficialmente. Gris plomizo, gris violáceo y pardo brunáceo en superficie fresca.
TONALIDAD	Mesócrata
ESTADO SUPERFICIAL	Parcialmente alterados.
ESTADO INTERNO	Poco alterado a alterado moderadamente(oxidación marrón rojiza a modo de puntos diseminados).
ESTRUCTURA	Masiva.
TEXTURA	Cristalina (porfíritica) y piroclástica.
FRACTURA	Irregular
ORIGEN	Igneo
NATURALEZA	Subvolcánica (70%) Piroclástica (30%)
CLASIFICACION	Andesitas porfíriticas, Porfidodacítico(70%) Aglomerado volcánico (30%)
DESCRIPCIÓN	Bolones o rodados de roca, forma subredondeada , textura superficial rugosa al tacto. Las de naturaleza subvolcánica oscuras algo alteradas (oxidación rojiza diseminada, dando cavidades pequeñas a modo de poros), las piroclásticas aspecto terroso, pulverulento. Dureza intermedia al golpe del martillo de geólogo.

OBSERVACIONES: Muestra remitida e identificada por el interesado.



Esther Nieto Farina

Ing. ESTHER NIETO FARINA
 División Geología, Cimentaciones y Drenaje
 OFICINA APOYO TECNOLÓGICO-MTC

ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO

Proyecto : TESIS "Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura- Pathuasi/ Arequipa, con Agregados Volcánicos"
Bachiller: Nohely Magali Nikaido Fukuyama
Procedencia : Cantera Salas
Carretera: Yura- Patahuasi (Dpto. de Arequipa)
Muestra : Agregado Grueso
Registro : 414(11.07.2002)
Efectuado por: Ing. Esther Nieto Farina
Fecha : Lima, Octubre del 2002.

AGREGADO GRUESO

COMPONENTES

% PARCIALES

• Fragmentos Líticos	100
- Igneos Subvolcánicos (andesita porfírica, andesita afanítica, pórfidodacítico).....	80
- Igneos Piroclásticos (aglomerados volcánicos y tobas arenosas).....	20

TOTAL: 100 %

DESCRIPCIÓN:

Agregado compuesto de fragmentos líticos de naturaleza ígnea subvolcánica (grises oscuros y plumizos, forma subredondeada a subangulosos, textura superficial rugosa al tacto, poco alterados a inalterados) y piroclástica (pardo brunáceos a beige grisáceo , forma redondeada a subredondeada, rugosas al tacto superficialmente, parcialmente alterada).



Esther Nieto Farina
ING. ESTHER NIETO FARINA

División Geología, Cimentaciones y Drenaje
OFICINA APOYO TECNOLÓGICO-MTC

ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO

Proyecto : TESIS "Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura- Pathuasi/ Arequipa, con Agregados Volcánicos"
 Bachiller: Nohely Magali Nikaido Fukuyama

Procedencia : Canteras Km.42+000
 Carretera: Yura- Patahuasi (Dpto. de Arequipa)

Muestra : De Bolonería.

Registro : 414(11.07.2002)

Efectuado por: Ing. Esther Nieto Farina

Fecha : Lima, Octubre del 2002.

PROGRESIVA (Km.)	42 +000
CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS	
COLOR	Gris plomizo oscuro en superficie fresca y gris claro superficialmente Pardo brunáceo claro en superficie fresca y superficialmente.
TONALIDAD	Mesócrata
ESTADO SUPERFICIAL	Parcialmente alterados a inalterados.
ESTADO INTERNO	Poco alterado a alterado moderadamente(oxidación marrón rojiza y argilización).
ESTRUCTURA	Masiva.
TEXTURA	Cristalina (fanerítica, porfirítica) y piroclástica.
FRACTURA	irregular
ORIGEN	Igneo
NATURALEZA	Intrusiva (70%) Piroclástica (30%)
CLASIFICACION	Diorita cuarcífera, Tonalita y Monzonita porfirítica(70%) Aglomerado volcánico andesítico (30%)
DESCRIPCION	Bolones o rodados de roca, forma subredondeada a redondeada, textura superficial rugosa al tacto. Las de naturaleza intrusiva oscuras menos alteradas que las de color gris violáceo (tonalita) que por alteración dan tonalidades pardo brunáceas. Dureza intermedia al golpe del martillo de geólogo.

OBSERVACIONES: Muestra remitida e identificada por el interesado.



Esther Nieto Farina

Ing. ESTHER NIETO FARINA
 División Geología, Cimentaciones y Drenaje
 OFICINA APOYO TECNOLÓGICO-MTC

ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO

Proyecto : TESIS "Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura- Pathuasi/ Arequipa, con Agregados Volcánicos"
Bachiller: Nohely Magali Nikaido Fukuyama
Procedencia : Cantera Km.42+000
Carretera: Yura- Patahuasi (Dpto. de Arequipa)
Muestra : Agregado grueso
Registro : 414(11.07.2002)
Efectuado por: Ing. Esther Nieto Farina
Fecha : Lima, Octubre del 2002.

CANTERA Km. 42+000 (AGREGADO PASA MALLA 1/4" Y RETENIDO MALLA N°4)

<u>COMPONENTES</u>	<u>% PARCIALES</u>
• Fragmentos Líticos	100
- Igneos Intrusivos (diorita cuarcífera, monzonita, andesitas porfirítica)....	60
- Igneos Piroclásticos (aglomerados volcánicos y tobas/ignimbritas).....	40

TOTAL: 100 %	

DESCRIPCIÓN:

Agregado compuesto de fragmentos líticos de naturaleza ígnea intrusiva (grises oscuros y plumizos, forma subredondeada a subangulosa, textura superficial rugosa al tacto, poco alterados a inalterados) y piroclástica (pardo brunáceos a beige grisáceo , forma redondeada a subredondeada, rugosas al tacto superficialmente, parcialmente alteradas y poco densas).



Esther Nieto Farina

ING. ESTHER NIETO FARINA
División Geología, Cimentaciones y Drenaje
OFICINA APOYO TECNOLÓGICO-MTC

ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO

Proyecto : TESIS "Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura- Patihuasi/ Arequipa, con Agregados Volcánicos"
 Bachiller: *Nohely Magali Nikaido Fukuyama*
 Procedencia : Cantera Minera La Gloria (Dpto. de Lima)
 Muestra : Agregado Grueso
 Registro : 414(11.07.2002)
 Efectuado por: Ing. Esther Nieto Farina
 Fecha : Lima, Octubre del 2002.

AGREGADO GRUESO	
CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS	
COLOR	Gris plomizo y gris verdoso en superficie fresca principalmente, en menor porcentaje grises brunáceos, pardos.
TONALIDAD	Mesócrata
ESTADO SUPERFICIAL	Parcialmente alterados a inalterados.
ESTADO INTERNO	Poco alterado a alterado moderadamente(oxidación marrón rojiza).
ESTRUCTURA	Masiva.
TEXTURA	Cristalina (afanítica y porfirítica, fanerítica en menor porcentaje).
FRACTURA	Irregular
ORIGEN	Igneo
NATURALEZA	Subvolcánicas(80%) Intrusivas (20%)
CLASIFICACION	Andesitas, pórfidoandesitas (80%) Monzodiorita, diorita (20%)
DESCRIPCIÓN	Ágregado grueso (de 3/4" a 1/4"), formas angulosas a subangulosas, textura superficial rugosas al tacto , lisa en menor porcentaje. Poco alteradas superficialmente (leve oxidación marrón amarillenta. Dureza intermedia a alta al golpe del martillo de geólogo.

OBSERVACIONES: Muestra remitida e identificada por el interesado.



Esther Nieto Farina

Ing. ESTHER NIETO FARINA
 División Geología, Cimentaciones y Drenaje
 OFICINA APOYO TECNOLÓGICO-MTC

02.02

Análisis de Agregados



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
SOLICITADO : BACH. N. MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA ING° RESP : EZEQUIEL RIVAS DURÁN
UBICACIÓN : CARRETERA : YURA - PATAHUASI (TRAMO I) TECNICO : E. VALLADARES
MATERIALES : DE CANTERA LA GLORIA FECHA : julio-2002

CALIDAD DE AGREGADOS

IDENTIFICACION		PIEDRA 3/4 "		ARENA					
DESCRIPCION		% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA
Malla Serie Americana	Abertura (mm.)								
2"	50,800								
1 1/2"	38,100								
1"	25,400								
3/4"	19,050		100						
1/2"	12,700	37	63						
3/8"	9,525	41	22						
1/4"	6,350	17	5						
N° 4	4,760	1	4		100				
N° 6	3,360	1	3	18	82				
N° 8	2,380	-	3	14	68				
N° 10	2,000	-	3	6	62				
N° 16	1,190	1	2	15	47				
N° 20	0,840	-	2	7	40				
N° 30	0,590	-	2	7	33				
N° 40	0,426	-	2	7	26				
N° 50	0,297	1	1	5	21				
N° 60	0,177	-	1	7	14				
N° 100	0,149	-	1	2	12				
N° 200	0,074	1	-	6	6				
-200		-	-	6	-				
Límite Líquido (Malla -N°200)	(%)	--		27,0					
Índice Plasticidad (Malla -N°200)	(%)	--		4,0					
Peso Unitario Seco Suelto	(Kg/m3)	1350,0		1690,0					
Peso Unitario Seco Varillado	(Kg/m3)	1550,0		1860,0					
Peso Específico Bulk (Base seca)		2,706		2,727					
Peso Específico Bulk (Base saturada)		2,725		2,757					
Peso Específico Aparente (Base seca)		2,758		2,812					
Absorción de Agua	(%)	0,69		1,10					
Módulo de Fineza		--		3,19					
Abrasión	(%)	15,8		--					
Impurezas Orgánicas		--		Aceptable					
Partículas chulas y alargadas	(%)	8,4		--					
Caras de fractura (1 o más)	(%)	96,0		--					
Caras de fractura (2 o más)	(%)	89,0		--					
Sales Solubles Totales	(%)	0,0040		0,0155					
Equivalente de Arena	(%)	--		68,0					
Durabilidad 5c (SoMg)	(%)	6,17		3,20					

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas.


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

CALIDAD DE AGREGADOS

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. N. MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
UBICACIÓN : CARRETERA : YURA - PATAHUASI (TRAMO I)
MATERIALES : DE CANTERA Km. 42+000

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
ING° RESP : EZEQUIEL RIVAS DURÁN
TECNICO : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

IDENTIFICACION		ARENA ZARANDEADA							
DESCRIPCION		% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA
Malla Serie Americana	Abertura (mm.)								
2"	50,800								
1 1/2"	38,100								
1"	25,400								
3/4"	19,050								
1/2"	12,700								
3/8"	9,525		100						
1/4"	6,350	10	90						
N° 4	4,750	6	62						
N° 6	3,360	10	72						
N° 8	2,380	8	64						
N° 10	2,000	5	59						
N° 16	1,190	12	47						
N° 20	0,840	5	42						
N° 30	0,590	6	36						
N° 40	0,426	6	30						
N° 50	0,297	7	23						
N° 60	0,177	9	14						
N° 100	0,149	2	12						
N° 200	0,074	4	8						
-200		8	-						
Límite Líquido (Malla -N°200)	(%)	20,0							
Índice Plasticidad (Malla -N°200)	(%)	2,0							
Peso Unitario Seco Suelto	(Kg/m3)	1457,0							
Peso Unitario Seco Varillado	(Kg/m3)	1631,0							
Peso Específico Bulk (Base seca)		2,532							
Peso Específico Bulk (Base saturada)		2,566							
Peso Específico Aparente (Base seca)		2,622							
Absorción de Agua	(%)	1,350							
Módulo de Fineza		3,4							
Abrasión	(%)	--							
Impurezas Orgánicas		Aceptable							
Partículas chatas y alargadas	(%)	--							
Caras de fractura (1 o más)	(%)	--							
Caras de fractura (2 o más)	(%)	--							
Salas Solubles Totales	(%)	0,0370							
Equivalente de Arena	(%)	72,0							
Durabilidad 5c (SoMg)	(%)	6,03							

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas.


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



'Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos'

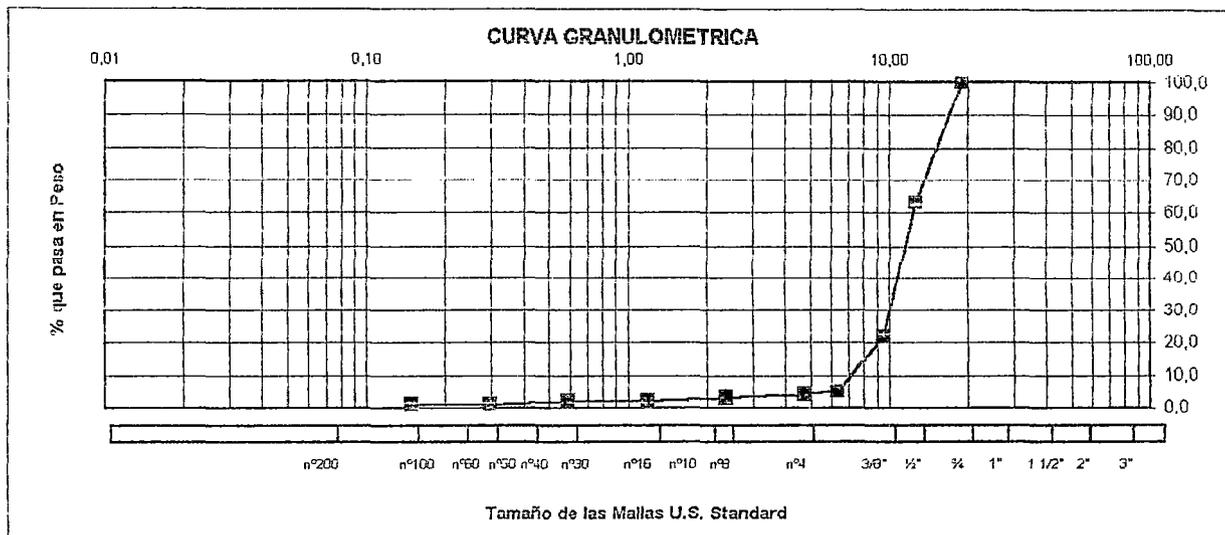
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D-2467**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
UBICACIÓN : LIMA
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
CANTERA : MINERA LA GLORIA
MUESTRA : PIEDRA 3/4"

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° : E. VALLADARES
REGISTRO : 414 (11.07.2002)
FECHA : julio-2002

Tamiz	Apertura mm.	Peso Ret. gr.	Retenido %	Ret Acum %	Acum Pasa %
3"	76,2				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,05				100,00
1/2"	12,7	1850,00	37,00	37,00	63,00
3/8"	9,525	2050,00	41,00	78,00	22,00
1/4"	6,35	850,00	17,00	95,00	5,00
N 4	4,76	50,00	1,00	96,00	4,00
N 8	2,38	50,00	1,00	97,00	3,00
N16	1,19	50,00	1,00	98,00	2,00
N 30	0,59	0,00	0,00	98,00	2,00
N 50	0,297	50,00	1,00	99,00	1,00
N 100	0,149	0,00	0,00	99,00	1,00
N 200	0,074	50,00	1,00	100,00	
< N 200					
Total		5000,00			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

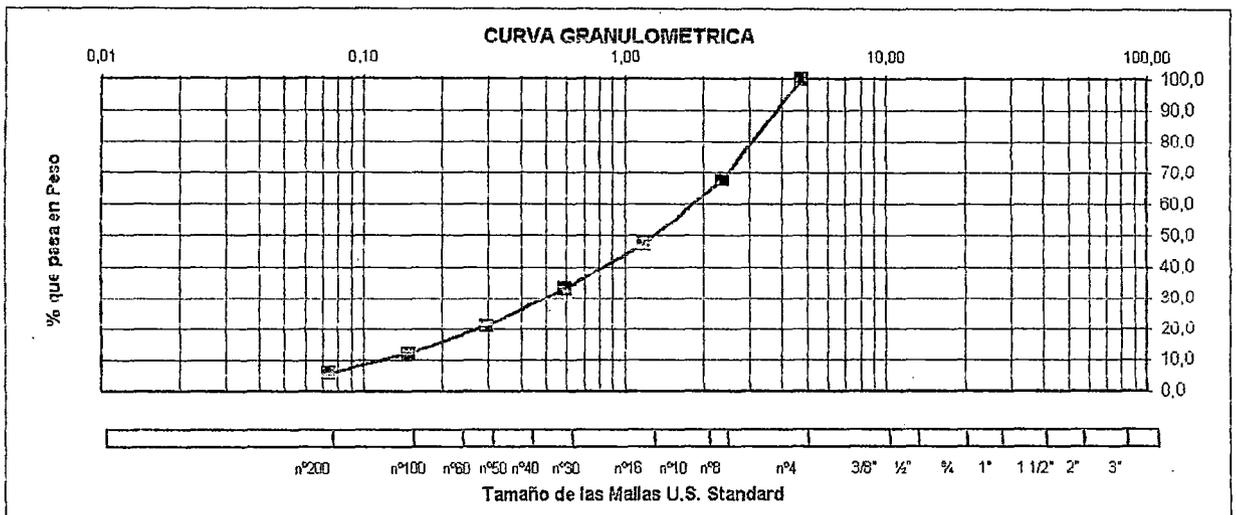
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 ASTM D-2487**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 UBICACIÓN : LIMA
 SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
 CANTERA : MINERA LA GLORIA
 MUESTRA : ARENA

ING° RESP. E. RIVAS DURAN
 TEC° : E. VALLADARES
 REGISTRO 414 (11.07.2002)
 FECHA: julio-2002

Tamiz	Abertura mm.	Peso Ret gr	Retenido %	Ret.Acum %	Acum.Pasa %
3"	76,2				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,05				
1/2"	12,7				
3/8"	9,525				
1/4"	6,35				
N 4	4,76				100,00
N 8	2,38	320,00	32,00	32,00	68,00
N 16	1,19	210,00	21,00	53,00	47,00
N 30	0,59	140,00	14,00	67,00	33,00
N 50	0,297	120,00	12,00	79,00	21,00
N 100	0,149	90,00	9,00	88,00	12,00
N 200	0,074	60,00	6,00	94,00	6,00
< N 200		60,00	6,00	100,00	
Total		1000,00			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

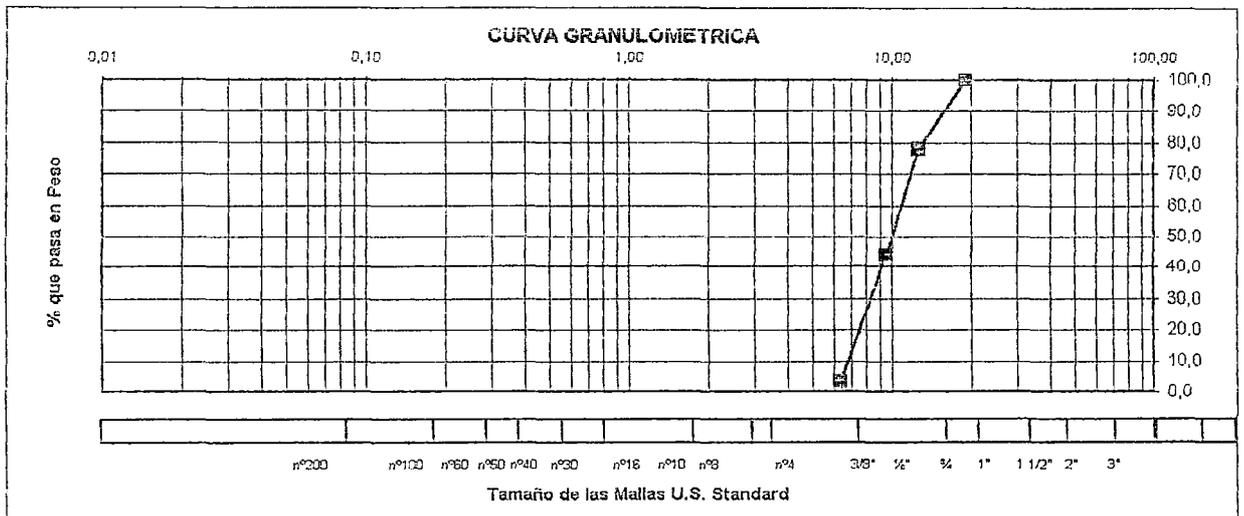
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 ASTM D-2487**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
 SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
 CANTERA : SALAS KM. 39+500
 MUESTRA : PIEDRA 3/4"

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
 TEC° : E. VALLADARES
 REGISTRO : 414 (11.07.2002)
 FECHA : julio-2002

Tamiz	Abertura mm.	Peso Ret gr.	Retenido %	Ret.Acum %	Acum.Pasa %
3"	76,2				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,05				100,00
1/2"	12,7	1100,00	22,00	22,00	78,00
3/8"	9,525	1700,00	34,00	56,00	44,00
1/4"	6,35	2050,00	41,00	97,00	3,00
N 4	4,76	150,00	3,00	100,00	
N 6	2,38				
N 16	1,19				
N 30	0,59				
N 50	0,297				
N 100	0,149				
N 200	0,074				
< N 200					
Total		5000,00			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

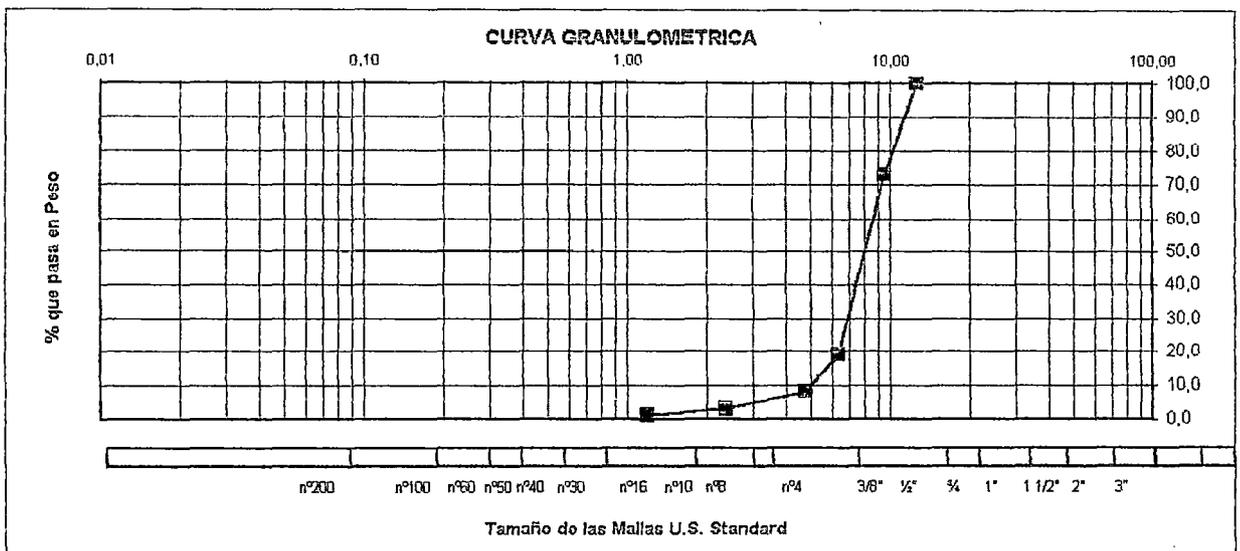
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 ASTM D-2487**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
 SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
 CANTERA : SALAS km. 39+500
 MUESTRA : GRAVILLA

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
 TEC° : E. VALLADARES
 REGISTRO : 414 (11.07.2002)
 FECHA : julio-2002

Tamiz	Abertura mm.	Peso Ret gr.	Retenido %	Ret.Acum %	Acum.Pasa %
3"	76,2				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,05				
1/2"	12,7				100,00
3/8"	9,525	1350,00	27,00	27,00	73,00
1/4"	6,35	2700,00	54,00	81,00	19,00
N 4	4,76	550,00	11,00	92,00	8,00
N 8	2,36	250,00	5,00	97,00	3,00
N 16	1,19	100,00	2,00	99,00	1,00
N 30	0,59	50,00	1,00	100,00	
N 50	0,297				
N 100	0,149				
N 200	0,074				
< N 200					
Total		5000,00			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

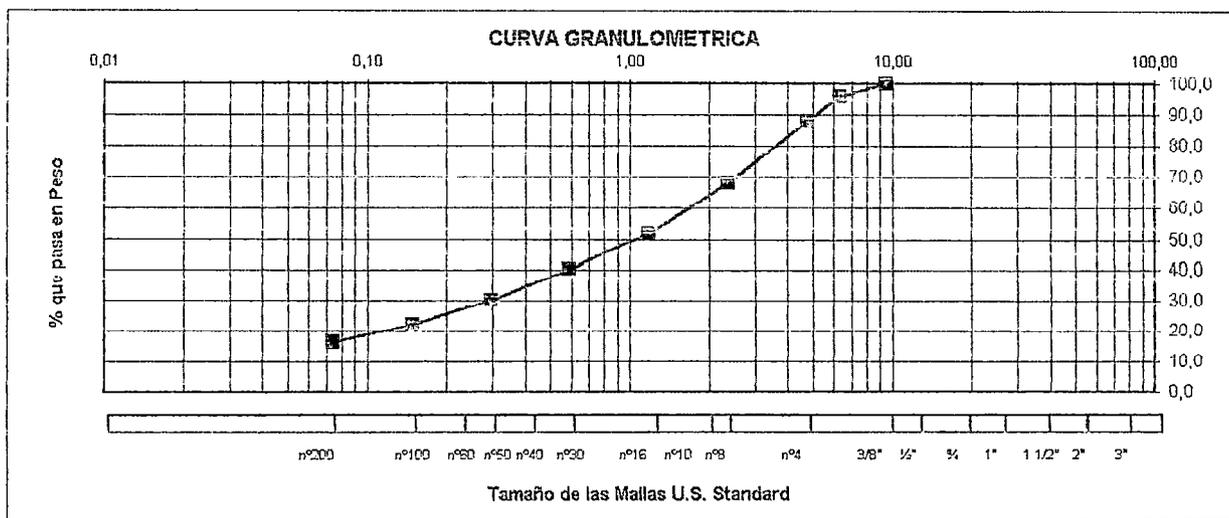
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 ASTM D-2487**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
 SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
 CANTERA : SALAS KM. 39+500
 MUESTRA : ARENA TRITURADA

ING° RESP. E. RIVAS DURAN
 TEC° : E. VALLADARES
 REGISTRO 414 (11.07.2002)
 FECHA: julio-2002

Tamiz	Abertura mm.	Peso Ret gr.	Retenido %	Ret.Acum %	Acum.Pasa %
3"	76,2				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,05				
1/2"	12,7				
3/8"	9,525				100,00
1/4"	6,35	40,00	4,00	4,00	96,00
N 4	4,76	60,00	6,00	12,00	88,00
N 8	2,38	200,00	20,00	32,00	68,00
N16	1,19	160,00	16,00	48,00	52,00
N 30	0,59	120,00	12,00	60,00	40,00
N 50	0,297	100,00	10,00	70,00	30,00
N 100	0,149	80,00	8,00	78,00	22,00
N 200	0,074	60,00	6,00	84,00	16,00
< N 200		160,00	16,00	100,00	
Total		1000,00			



(Signature)
 ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



‘Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos’

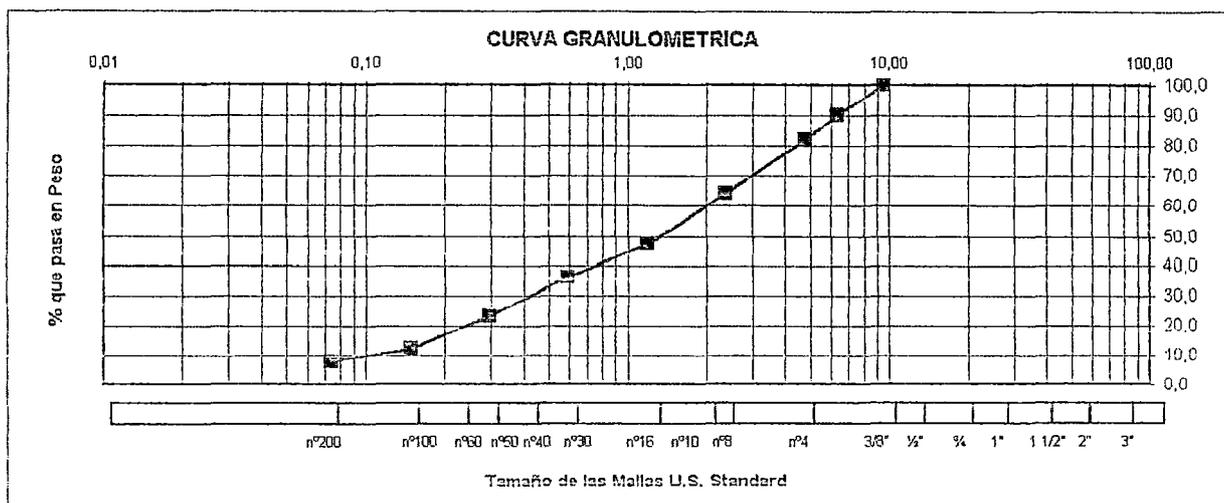
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
 ASTM D-2487**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
 SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
 CANTERA : KM 42+000
 MUESTRA : ARENA ZARANDEADA

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
 TEC° : E. VALLADARES
 REGISTRO : 414 (11.07.2002)
 FECHA : julio-2002

Tamiz	Abertura mm.	Peso Ret gr.	Retenido %	Ret.Acum %	Acum.Pasa %
3"	76,2				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,05				
1/2"	12,7				
3/8"	9,525				100,00
1/4"	6,35	100,00	10,00	10,00	90,00
N 4	4,76	90,00	9,00	18,00	82,00
N 6	2,36	180,00	18,00	36,00	64,00
N16	1,19	170,00	17,00	53,00	47,00
N 30	0,59	110,00	11,00	64,00	36,00
N 50	0,297	130,00	13,00	77,00	23,00
N 100	0,149	110,00	11,00	88,00	12,00
N 200	0,074	40,00	4,00	92,00	8,00
< N 200		80,00	8,00	100,00	
Total		1000,00			



(Signature)
 ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

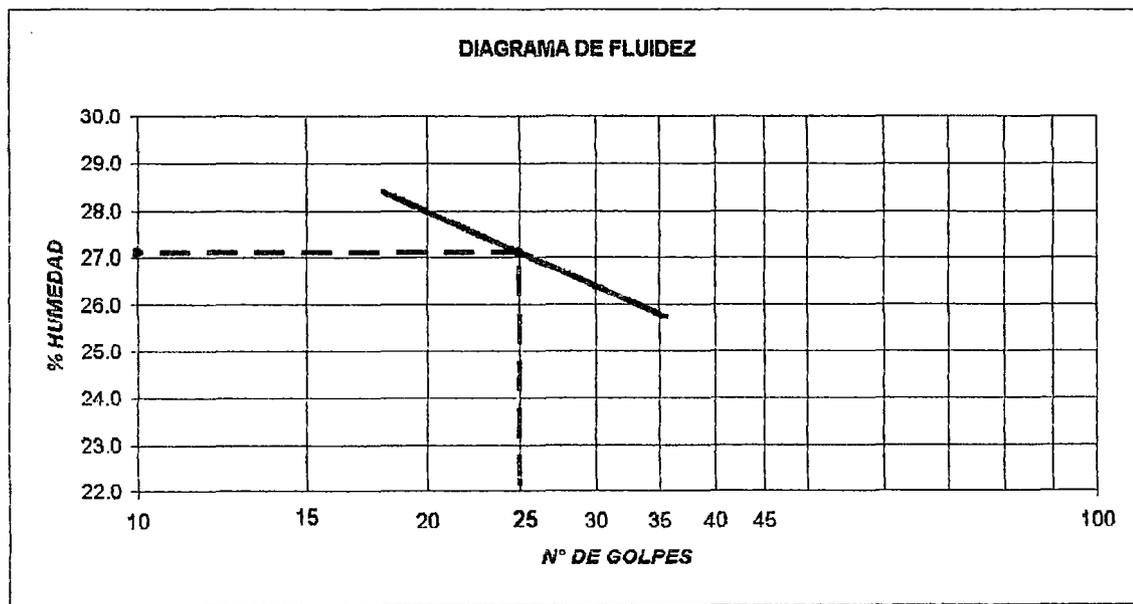


MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D-4318)

PROYECTO : TESIS DE GRADO	ING° RESP: E. RIVAS
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA	TECNICO : L. CESPEDES
UBICACIÓN : CANTERA LA GLORIA	FECHA : 28.06.2002
MUESTRA : ARENA	

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
ENSAYO No.						
CAPSULA No.	X-3	M-7	Y-17	Y-26	P-31	Y-40
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	24.63	31.30	29.67	28.27	23.66	23.72
PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	21.73	27.22	25.83	24.81	21.50	21.45
PESO AGUA (g)	2.90	4.08	3.84	3.46	2.16	2.27
PESO DE LA CAPSULA (g)	11.58	12.06	11.68	11.38	12.00	11.69
PESO SUELO SECO (g)	10.15	15.16	14.15	13.43	9.50	9.76
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	28.57	26.91	27.14	25.76	22.74	23.28
NUMERO DE GOLPES	18	23	28	34		



RESULTADOS DE ENSAYOS					
LÍMITE LÍQUIDO (%)	27	LÍMITE PLÁSTICO (%)	23	ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	4

OBSERVACIONES : EL ENSAYO SE REALIZO CON EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



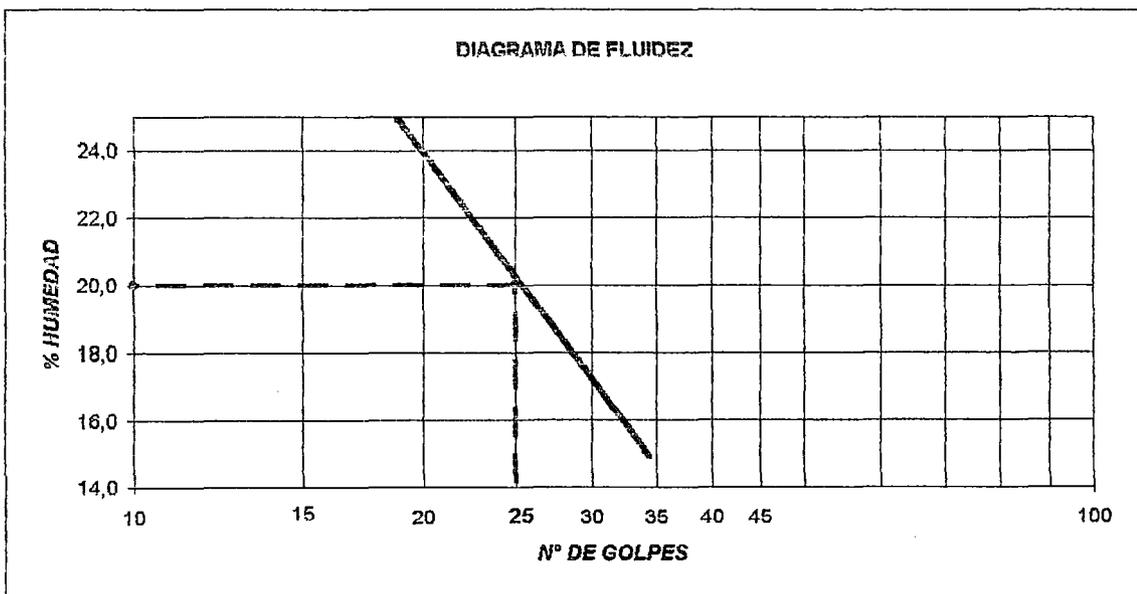
"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D-4318)

PROYECTO : TESIS DE GRADO	ING° RESP: E. RIVAS
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA	TECNICO : L. CESPEDES
UBICACIÓN : CANTERA KM 42+000	FECHA : 28,06,2002
MUESTRA : ARENA	

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
ENSAYO No.						
CAPSULA No.	M-34	M-40	Y-17	Y-26	M-25	M-31
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	24,15	30,01	28,56	26,80	24,53	25,23
PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	21,50	26,85	25,80	24,75	22,68	23,19
PESO AGUA (g)	2,65	3,16	2,76	2,05	1,85	2,04
PESO DE LA CAPSULA (g)	11,52	11,68	11,68	11,38	12,26	11,94
PESO SUELO SECO (g)	9,98	15,17	14,12	13,37	10,42	11,25
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	26,55	20,93	19,55	15,33	17,75	18,13
NÚMERO DE GOLPES	17	24	27	33		



RESULTADOS DE ENSAYOS					
LÍMITE LÍQUIDO (%)	20	LÍMITE PLÁSTICO (%)	18	ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	2

OBSERVACIONES : EL ENSAYO SE REALIZO CON EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO POR ABRASION A.S.T.M. C-131

MAQUINA DE LOS ANGELES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY M. NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN : LIMA
ING° RESP. : E. RIVAS DURÁN

TEC° : E. VALLADARES
REGISTRO : 414 (11.07.2002)
FECHA : Julio - 2002

IDENTIFICACIÓN	CANTERA : MINERA LA GLORIA
GRADUACIÓN	"B"
PESO INICIAL (g)	5000
PESO MAT. RET. MALLA Nº12 (g)	4208
PESO MAT. PASA MALLA Nº12 (g)	792
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)	15.8

TAMAÑO MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS			
PASA	RETIENE	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (08)	GRADO "D" (06)
3"	2 1/2"				
2 1/2"	2"				
2"	1 1/2"				
1 1/2"	1"	1250 g			
1"	3/4"	1250 g			
3/4"	1/2"	1250 g	2500 g		
1/2"	3/8"	1250 g	2500 g		
3/8"	Nº 03			2500 g	
Nº 03	Nº 04			2500 g	
Nº 04	Nº 08				5000 g

NOTA : LOS NUMEROS ENTRE PARENTESIS INDICAN LA CANTIDAD DE ESFERAS


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO POR ABRASION
A.S.T.M. C-131**

MAQUINA DE LOS ANGELES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY M. NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
ING° RESP. : E. RIVAS DURÁN

TEC° : E. VALLADARES
REGISTRO : 414 (11.07.2002)
FECHA : Julio - 2002

IDENTIFICACIÓN	CANTERA SALAS (km 39+500) PIEDRA DE 3/4"
GRADUACIÓN	"B"
PESO INICIAL (g)	5000
PESO MAT. RET. MALLA Nº12 (g)	3340
PESO MAT. PASA MALLA Nº12 (g)	1660
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)	33,2

TAMAÑO MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS			
PASA	RETIENE	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (08)	GRADO "D" (06)
3"	2 1/2"				
2 1/2"	2"				
2"	1 1/2"				
1 1/2"	1"	1250 g			
1"	3/4"	1250 g			
3/4"	1/2"	1250 g	2500 g		
1/2"	3/8"	1250 g	2500 g		
3/8"	Nº 03			2500 g	
Nº 03	Nº 04			2500 g	
Nº 04	Nº 08				5000 g

NOTA : LOS NUMEROS ENTRE PARENTESIS INDICAN LA CANTIDAD DE ESFERAS

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO POR ABRASION
 A.S.T.M. C-131**

MAQUINA DE LOS ANGELES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 SOLICITADO : BACH. NOHELY M. NIKAIIDO FUKUYAMA
 UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
 ING° RESP. : E. RIVAS DURÁN

TEC° : E. VALLADARES
 REGISTRO : 414 (11.07.2002)
 FECHA : Julio - 2002

IDENTIFICACIÓN	CANTERA SALAS (km 39+500) GRAVILLA
GRADUACIÓN	"C"
PESO INICIAL (g)	5000
PESO MAT. RET. MALLA Nº12 (g)	3325
PESO MAT. PASA MALLA Nº12 (g)	1675
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)	33.5

TAMAÑO MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS			
PASA	RETIENE	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (08)	GRADO "D" (06)
3"	2 1/2"				
2 1/2"	2"				
2"	1 1/2"				
1 1/2"	1"	1250 g			
1"	3/4"	1250 g			
3/4"	1/2"	1250 g	2500 g		
1/2"	3/8"	1250 g	2500 g		
3/8"	Nº 03			2500 g	
Nº 03	Nº 04			2500 g	
Nº 04	Nº 08				5000 g

NOTA : LOS NUMEROS ENTRE PARENTESIS INDICAN LA CANTIDAD DE ESFERAS

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

**DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO₄Mg
ASTM C-88**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN : LIMA
MATERIALES : DE CANTERA MINERA LA GLORIA

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
ING° RESP : EZEQUIEL RIVAS DURÁN
FECHA : Julio - 2002

AGREGADO GRUESO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	A-2	670.8	626.4			
1/2"	3/8"	A-3	330.4	310.4	6.43	78	5.02
3/8"	N°4	A-4	300.0	280.9	6.37	18	1.15
TOTAL :						96.00	6.17

AGREGADO FINO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
3/8"	N°4						
N°4	N°8	N-25	100.0	95.1	4.90	32	1.57
N°8	N°16	X-2	100.0	96.4	3.60	21	0.76
N°16	N°30	F-H	100.0	96.8	3.20	14	0.45
N°30	N°50	Q-15	100.0	96.5	3.50	12	0.42
TOTAL :						79.00	3.20

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas.


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO₄Mg ASTM C-88

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
MATERIALES : DE CANTERA SALAS km. 39+500

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
ING° RESP : EZEQUIEL RIVAS DURÁN
FECHA : Julio - 2002

AGREGADO GRUESO - PIEDRA							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	P-06	660.2	605.4			
1/2"	3/8"	P-07	330.1	296.6	8.92	56	5.00
3/8"	N°4	P-08	300.0	285.8	4.73	44	2.08
TOTAL :						100.00	7.08

AGREGADO GRUESO - GRAVILLA							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"	SDS - 29	330.1	275.7	16.48	27	4.45
3/8"	N°4	SDS - 30	300.4	291.7	2.90	65	1.89
TOTAL :						92.00	6.34

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas.

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

**DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO₄Mg
ASTM C-88**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN : YURA - AREQUIPA
MATERIALES : DE CANTERA SALAS km. 39+500

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
ING° RESP : EZEQUIEL RIVAS DURÁN
FECHA : Julio - 2002

AGREGADO FINO - ARENA TRITURADA							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
N°4	N°8	P-09	100.0	75.0	25.00	20	5.00
N°8	N°16	P-10	100.0	76.2	23.80	16	3.81
N°16	N°30	P-11	100.0	73.5	26.50	12	3.18
N°30	N°50	P-12	100.0	75.2	24.80	10	2.48
TOTAL :						58.00	14.47

MATERIALES : DE CANTERA km. 42+000

AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
N°4	N°8	MN - 6	100.0	79.5	20.50	18	3.69
N°8	N°16	MN - 7	100.0	82.0	18.00	17	3.06
N°16	N°30	MN - 8	100.0	80.1	19.90	11	2.19
N°30	N°50	MN - 9	100.0	78.0	22.00	13	2.86
TOTAL :						59.00	11.80

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas.

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

A.S.T.M. D-2419

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
ING° RESPONSABLE : E. RIVAS DURAN
TECNICO : E. VALLADARES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : Julio - 2002

MUESTRA		CANTERA : MINERA LA GOLRIA AGREGADO : ARENA			
A	HORA ENTRADA A SATURACIÓN	10:03:00	10:05:00	10:07:00	10:09:00
2	SALIDA DE SATURACIÓN (A+10')	10:13:00	10:15:00	10:17:00	10:19:00
B	HORA ENTRADA A DECANTACIÓN	10:13:48	10:15:50	10:17:52	10:19:52
4	SALIDA DE DECANTACIÓN (B+20')	10:33:48	10:35:48	10:37:48	10:39:48
5	ALTURA MATERIAL FINO (Pulg.)	5.95	5.90	5.85	6.00
6	ALTURA DE ARENA (Pulg.)	4.05	4.00	4.00	4.10
6	EQUIVALENTE DE ARENA (6/5*100)	68.1	67.8	68.4	68.3
7	PROMEDIO EQUIVALENTE ARENA (%)	68			

NOTA : LA INTERPRETACIÓN AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS, ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO; SALVO LAS RECOMENDACIONES EXPRESAS ADJUNTAS


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

A.S.T.M. D-2419

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
ING° RESPONSABLE : E. RIVAS DURAN
TECNICO : E. VALLADARES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : Julio - 2002

MUESTRA		CANTERA : SALAS km 39+500 AGREGADO : ARENA TRITURADA			
A	HORA ENTRADA A SATURACIÓN	13:00:00	13:02:00	13:04:00	13:06:00
2	SALIDA DE SATURACIÓN (A+10')	13:10:00	13:12:00	13:14:00	13:16:00
B	HORA ENTRADA A DECANTACIÓN	13:10:45	13:12:50	13:14:55	13:16:58
4	SALIDA DE DECANTACIÓN (B+20')	13:30:45	13:32:50	13:34:55	13:36:58
5	ALTURA MATERIAL FINO (Pulg.)	8.75	9.00	8.90	8.80
6	ALTURA DE ARENA (Pulg.)	3.90	3.95	3.95	3.85
6	EQUIVALENTE DE ARENA (6/5*100)	44.6	43.9	44.4	43.8
7	PROMEDIO EQUIVALENTE ARENA (%)	44			

NOTA : LA INTERPRETACIÓN AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS, ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO; SALVO LAS RECOMENDACIONES EXPRESAS ADJUNTAS


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

A.S.T.M. D-2419

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
ING° RESPONSABLE : E. RIVAS DURAN
TECNICO : E. VALLADARES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : Julio - 2002

MUESTRA		CANTERA : km 42+000 AGREGADO : ARENA ZARANDEADA			
A	HORA ENTRADA A SATURACIÓN	8:30:00	8:32:00	8:34:00	8:36:00
2	SALIDA DE SATURACIÓN (A+10')	8:40:00	8:42:00	8:44:00	8:46:00
B	HORA ENTRADA A DECANTACIÓN	8:40:47	8:42:52	8:44:55	8:46:58
4	SALIDA DE DECANTACIÓN (B+20')	9:00:47	9:02:52	9:04:55	9:06:58
5	ALTURA MATERIAL FINO (Pulg.)	4.85	4.90	4.95	5.00
6	ALTURA DE ARENA (Pulg.)	3.50	3.55	3.55	3.60
6	EQUIVALENTE DE ARENA (6/5*100)	72.2	72.4	71.7	72.0
7	PROMEDIO EQUIVALENTE ARENA (%)	72			

NOTA : LA INTERPRETACIÓN AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS, ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO; SALVO LAS RECOMENDACIONES EXPRESAS ADJUNTAS

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
A.S.T.M. C - 127**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN LIMA
PROCEDENCIA CANTERA MINERA LA GLORIA
PIEDRA DE 3/4"

REGISTRO : 414 (11.07.2002)
ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
PESO DEL MAT. SAT. Y SUP. SECO (EN AIRE)	1000,0
PESO DEL MAT. SAT. Y SUP. SECO (EN AGUA)	633,1
VOLUMEN DE LA MUESTRA	366,9
PESO DEL MATERIAL SECO EN ESTUFA	993,1
VOLUMEN DE LA MUESTRA SIN VACIOS	360,1
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g/cm ³)	2,706
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA (g/cm ³)	2,725
PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/cm ³)	2,758
ABSORCIÓN (%)	0,69

* ver relación de pesos según identificación de los matraces calibrados .

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
A.S.T.M. C - 128**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN LIMA
PROCEDENCIA CANTERA MINERA LA GLORIA
ARENA

RÉGISTRO : 414 (11.07.2002)
ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	RESULTADOS	PROMEDIO
N° MATRAZ CALIBRADO	"C"	"B"	
PESO DEL MATRAZ CALIBRADO (gr)	661,8	650,2	
PESO DE LA MUESTRA + MATRAZ CALIBRADO (gr)	961,8	950,2	
PESO DEL MATRAZ + MUESTRA + AGUA AL RAS (gr)	853,1	841,3	847,2
VOLUMEN TOTAL DE LA MUESTRA (cm ³)	108,7	108,9	108,8
PESO DEL MATERIAL SECO EN ESTUFA	296,8	296,7	296,8
VOLUMEN DE LA MUESTRA SIN VACIOS (cm ³)	105,5	105,6	105,6
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g/cm ³)	2,730	2,725	2,727
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA (g/cm ³)	2,760	2,755	2,757
PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/cm ³)	2,813	2,810	2,812
ABSORCIÓN (%)	1,06	1,11	1,10

* ver relación de pesos según identificación de los matraz calibrados .


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
A.S.T.M. C - 127**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN LIMA
PROCEDENCIA CANTERA SALAS km 39+500
PIEDRA 3/4

REGISTRO : 414 (11.07.2002)
ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
PESO DEL MAT. SAT. Y SUP. SECO (EN AIRE)	1000,0
PESO DEL MAT. SAT. Y SUP. SECO (EN AGUA)	593,9
VOLUMEN DE LA MUESTRA	406,1
PESO DEL MATERIAL SECO EN ESTUFA	969,0
VOLUMEN DE LA MUESTRA SIN VACIOS	375,1
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g/cm ³)	2,385
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA (g/cm ³)	2,461
PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/cm ³)	2,583
ABSORCIÓN (%)	3,20

* ver relación de pesos según identificación de los matraces calibrados .


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
A.S.T.M. C - 127**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN LIMA
PROCEDENCIA CANTERA SALAS km 39+500
GRAVILLA

REGISTRO : 414 (11.07.2002)
ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
PESO DEL MAT. SAT. Y SUP. SECO (EN AIRE)	1000,0
PESO DEL MAT. SAT. Y SUP. SECO (EN AGUA)	583,1
VOLUMEN DE LA MUESTRA	416,9
PESO DEL MATERIAL SECO EN ESTUFA	968,2
VOLUMEN DE LA MUESTRA SIN VACIOS	385,1
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g/cm ³)	2,322
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA (g/cm ³)	2,399
PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/cm ³)	2,514
ABSORCIÓN (%)	3,28

Ver relación de pesos según identificación de los matraz calibrados .


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



**"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo
Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"**

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
A.S.T.M. C - 128**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH NOHELY MAGALI NIKAIKO FUKUYAMA
UBICACIÓN LIMA
PROCEDENCIA CANTERA SALAS km 39+500
ARENA TRITURADA

REGISTRO : 414 (11.07.2002)
ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	RESULTADOS	PROMEDIO
N° MATRAZ CALIBRADO	"F"	"G"	
PESO DEL MATRAZ CALIBRADO (gr)	662,3	651,3	
PESO DE LA MUESTRA + MATRAZ CALIBRADO (gr)	962,3	951,3	
PESO DEL MATRAZ + MUESTRA + AGUA AL RAS (gr)	845,5	834,5	840,0
VOLUMEN TOTAL DE LA MUESTRA (cm ³)	116,8	116,9	116,8
PESO DEL MATERIAL SECO EN ESTUFA	292,25	292,3	292,3
VOLUMEN DE LA MUESTRA SIN VACIOS (cm ³)	109,1	109,2	109,1
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g/cm ³)	2,502	2,501	2,502
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA (g/cm ³)	2,568	2,567	2,568
PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/cm ³)	2,680	2,678	2,679
ABSORCIÓN (%)	2,652	2,634	2,64

* ver relación de pesos según identificación de los matraz calibrados .


ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO A.S.T.M. C - 128

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH NOHELY MAGALI NIKAIIDO FUKUYAMA
UBICACIÓN LIMA
PROCEDENCIA CANTERA km 42+000
ARENA ZARANDEADA

REGISTRO : 414 (11.07.2002)
ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : julio-2002

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	RESULTADOS	PROMEDIO
N° MATRAZ CALIBRADO	"A"	"D"	
PESO DEL MATRAZ CALIBRADO (gr)	657,7	658,0	
PESO DE LA MUESTRA + MATRAZ CALIBRADO (gr)	957,7	958,0	
PESO DEL MATRAZ + MUESTRA + AGUA AL RAS (gr)	840,6	841,3	841,0
VOLUMEN TOTAL DE LA MUESTRA (cm ³)	117,1	116,7	116,9
PESO DEL MATERIAL SECO EN ESTUFA	295,8	296,2	296,0
VOLUMEN DE LA MUESTRA SIN VACIOS (cm ³)	112,9	112,9	112,9
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g/cm ³)	2,526	2,538	2,532
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA (g/cm ³)	2,562	2,571	2,566
PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/cm ³)	2,620	2,624	2,622
ABSORCIÓN (%)	1,42	1,28	1,35

* ver relación de pesos según identificación de los matraz calibrados .


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**PESO UNITARIO DE AGREGADOS
A.S.T.M. C-29**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALY NIKAIKO FUKUYAMA
CANTERA : MINERA LA GLORIA
MUESTRA : ARENA

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : Julio - 2002

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	7859	7867	7873
2 Peso de Tara	3115	3115	3115
3 Peso de la Muestra Suelta	4744	4752	4758
4 Volumen de la Tara	2812	2812	2812
5 Peso Unitario Suelto Seco kg/m ³	1687	1690	1692
6 Promedio		1690	

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	8354	8343	8337
2 Peso de Tara	3115	3115	3115
3 Peso de la Muestra Compactada	5239	5228	5222
4 Volumen de la Tara	2812	2812	2812
5 Peso Unitario Compactado Seco kg/m ³	1863	1859	1857
6 Promedio		1860	

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**PESO UNITARIO DE AGREGADOS
A.S.T.M. C-29**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALY NIKAIKO FUKUYAMA
CANTERA : SALAS km. 39+500
MUESTRA : PIEDRA 3/4"

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : Julio - 2002

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	18778	18808	18896
2 Peso de Tara	4541	4541	4541
3 Peso de la Muestra Suelta	14237	14267	14355
4 Volumen de la Tara	9785	9785	9785
5 Peso Unitario Suelto Seco kg/m ³	1455	1458	1457
6 Promedio		1460	

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	20628	20686	20637
2 Peso de Tara	4541	4541	4541
3 Peso de la Muestra Compactada	16087	16145	16096
4 Volumen de la Tara	9785	9785	9785
5 Peso Unitario Compactado Seco kg/m ³	1644	1650	1645
6 Promedio		1646	


ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**PESO UNITARIO DE AGREGADOS
A.S.T.M. C-29**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALY NIKAIIDO FUKUYAMA
CANTERA : SALAS km. 39+500
MUESTRA : GRAVILLA

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : Julio - 2002

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	7982.0	7984.9	8005.2
2 Peso de Tara	4328	4328	4328
3 Peso de la Muestra Suelta	3654.0	3656.9	3677.2
4 Volumen de la Tara	2900	2900	2900
5 Peso Unitario Suelto Seco kg/m ³	1260	1261	1268
6 Promedio	1263		

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	8292.3	8283.6	8280.7
2 Peso de Tara	4328	4328	4328
3 Peso de la Muestra Compactada	3964.3	3955.6	3952.7
4 Volumen de la Tara	2900	2900	2900
5 Peso Unitario Compactado Seco kg/m ³	1367	1364	1363
6 Promedio	1365		

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**PESO UNITARIO DE AGREGADOS
A.S.T.M. C-29**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. NOHELY MAGALY NIKAIIDO FUKUYAMA
CANTERA : SALAS km 42+000
MUESTRA : ARENA ZARANDEADA

ING° RESP. : E. RIVAS DURAN
TEC° RESP. : E. VALLADARES
FECHA : Julio - 2002

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	8548	8559	8553
2 Peso de Tara	4328	4328	4328
3 Peso de la Muestra Suelta	4220	4231	4225
4 Volumen de la Tara	2900	2900	2900
5 Peso Unitario Suelto Seco kg/m ³	1455	1459	1457
6 Promedio	1457		

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA	1	2	3
1 Peso de Muestra + Tara	9058	9065	9050
2 Peso de Tara	4328	4328	4328
3 Peso de la Muestra Compactada	4730	4737	4722
4 Volumen de la Tara	2900	2900	2900
5 Peso Unitario Compactado Seco kg/m ³	1631	1633	1628
6 Promedio	1631		

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

02.03

Análisis de la Cal Hidratada



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

**OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

MUESTRA : CAL HIDRATADA
REGISTRO N° : 3 9 8 (05.07.2002)
PROCEDENCIA : SANTA CLARA S.A.
APOYO BACH. : NOHELY MAGALI NIKAI DO FUKUYAMA
TESIS DE GRADO : *MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON
AGREGADOS DE ORIGEN VOLCÁNICO, TRAMO I
YURA - PATAHUASI.
EFECTUADO POR : QUÍMICA ALINA MAGUÑA ASTETE
FECHA : Lima, 10 de Julio del 2002

**ANÁLISIS QUÍMICO PARA CAL TIPO I
AASHTO T - 219**

1. CONTENIDO DE CAL ACTIVA PORCENTAJE EN PESO DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ MAS CaO	90.1
2. CONTENIDO DE CAL NO HIDRATADA PORCENTAJE EN PESO DE CaO	5.4
3. CONTENIDO DE AGUA LIBRE PORCENTAJE EN PESO DE H_2O	0.0

NOTA: La muestra de Cal si Cumple Especificaciones AASHTO M-303, para su empleo en Mezclas
Asfálticas.

QUIM. ALINA MAGUÑA ASTETE
OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y E DE MAT.



02.04

Análisis del Cemento Asfáltico



"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150 .

Muestra N° 01

SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIDO F.

PROYECTO : TESIS DE GRADO

FECHA : 07.08.2002

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE

RECIBIDO : TEC. E. DALL'ORTO M.

MUESTREADO : INTERESADOS

EFFECTUADO : TEC. BORIS YUCRA - PEDRO CHAVEZ

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	131	120	150
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	272	218	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
SOLUBILIDAD TRICLORO ETILENO, %	99.95	99	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL	55	42	--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 25 °C, 5 cm/min, cm	+100	100	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.6	--	1.3
ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS):			
Solvente Nafta - Standard	NEGATIVO	NEGATIVO	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno	--	--	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	--	--	
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	0.48	- 1	+ 1

Observación:

- La muestra ensayada **CUMPLE** con exigencias dadas en las Normas ASTM D-946 y AASHTO M-20, y referencia francesa para un Cemento Asfáltico PEN 120 - 150.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



(Signature)
ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

**OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO
DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150

Muestra N° 01

SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.

PROYECTO : TESIS DE GRADO

FECHA : 07.08.2002

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE

RECIBIDO : TEC. E. DALL'ORTO M.

MUESTREADO : INTERESADOS

EFECTUADO : TEC. BORIS YUCRA - PEDRO CHAVEZ

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)

ENSAYOS SOBRE ASFALTO NATURAL (ORIGINAL)

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO DE ENSAYO
PENETRACIÓN, 100 g, 5s, 0.1 mm	ASTM D-5	
a 15 °C		56
a 20 °C		86
a 25 °C		131
a 30 °C		203
INDICE DE PENETRACIÓN		0.48
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36	41
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt	ASTM D-2170	
a 100 °C		1228.5
a 120 °C		509.4
a 135 °C		263.2
a 150 °C		136
CONTENIDO DE AGUA, %	ASTM D-95	0.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	ASTM D-70	1.020

ENSAYOS SOBRE ASFALTO RECUPERADO (PELICULA FINA)

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO DE ENSAYO
PENETRACIÓN, 100 g, 5s, 0.1 mm	ASTM D-5	
a 15 °C		30
a 20 °C		46
a 25 °C		72
a 30 °C		96
INDICE DE PENETRACIÓN		0.92
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	ASTM D-113	+100
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36	50,7
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt	ASTM D-2170	
a 120 °C		1018.9
a 135 °C		484.4
a 150 °C		230.3

Observación:

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO



Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Oficina de Apoyo Tecnológico



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150
Muestra N° 02
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIKO F.
PROYECTO : TESIS DE GRADO
FECHA : 07.08.2002

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. E. DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFECTUADO : TEC. BORIS YUCRA - PEDRO CHAVEZ
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	135	120	150
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	281	218	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
SOLUBILIDAD TRICLORO ETILENO, %	99.94	99	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL	59.3	42	--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 25 °C, 5 cm/min, cm	+100	100	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.62	--	1.3
ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS):			
Solvente Nafta - Standard	NEGATIVO	NEGATIVO	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno	--	--	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	--	--	
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	0.3	- 1	+ 1

Observación:

- La muestra ensayada **CUMPLE** con exigencias dadas en las Normas ASTM D-946 y AASHTO M-20, y referencia francesa para un Cemento Asfáltico PEN 120 - 150.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUEL RIVAS DURAN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





"Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos"

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150
Muestra N° 02
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIKO F.
PROYECTO : TESIS DE GRADO
FECHA : 07.08.2002

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. E. DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFECTUADO : TEC. BORIS YUCRA - PEDRO CHAVEZ
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)

ENSAYOS SOBRE ASFALTO NATURAL (ORIGINAL)

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO DE ENSAYO
PENETRACIÓN, 100 g, 5s, 0.1 mm	ASTM D-5	
a 15 °C		55
a 20 °C		86
a 25 °C		135
a 30 °C		204
INDICE DE PENETRACIÓN		0.3
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36	42
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt	ASTM D-2170	
a 100 °C		1147.6
a 120 °C		481.3
a 135 °C		250.8
a 150 °C		130.7
CONTENIDO DE AGUA, %	ASTM D-95	0.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	ASTM D-70	1.003

ENSAYOS SOBRE ASFALTO RECUPERADO (PELICULA FINA)

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO DE ENSAYO
PENETRACIÓN, 100 g, 5s, 0.1 mm	ASTM D-5	
a 15 °C		35
a 20 °C		53
a 25 °C		80
a 30 °C		108
INDICE DE PENETRACIÓN		1.23
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	ASTM D-113	+100
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36	49,9
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt	ASTM D-2170	
a 120 °C		863.1
a 135 °C		423.2
a 150 °C		207.5

Observación:

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150

Muestra N° 03

SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIKO F.

PROYECTO : TESIS DE GRADO

FECHA : 07.08.2002

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE

RECIBIDO : TEC. E. DALL'ORTO M.

MUESTREADO : INTERESADOS

EFFECTUADO : TEC. BORIS YUCRA - PEDRO CHAVEZ

REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	140	120	150
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	279	218	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
SOLUBILIDAD TRICLORO ETILENO, %	99.96	99	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL	54.5	42	--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 25 °C, 5 cm/min, cm	+100	100	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.57	--	1.3
ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS):			
Solvente Nafta - Standard	NEGATIVO	NEGATIVO	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno	--	--	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	--	--	
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	0.58	- 1	+ 1

Observación:

- La muestra ensayada **CUMPLE** con exigencias dadas en las Normas ASTM D-946 y AASHTO M-20, y referencia francesa para un Cemento Asfáltico PEN 120 - 150.
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120-150
Muestra N° 03
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROYECTO : TESIS DE GRADO
FECHA : 07.08.2002

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. E. DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFECTUADO : TEC. BORIS YUCRA - PEDRO CHAVEZ
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)

ENSAYOS SOBRE ASFALTO NATURAL (ORIGINAL)

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO DE ENSAYO
PENETRACIÓN, 100 g, 5s, 0.1 mm a 15 °C a 20 °C a 25 °C a 30 °C	ASTM D-5	59
		90
		140
		208
INDICE DE PENETRACIÓN		0.58
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36	42
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt a 100 °C a 120 °C a 135 °C a 150 °C	ASTM D-2170	1480.7
		564.9
		274.2
		133.1
CONTENIDO DE AGUA, %	ASTM D-95	0.0
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm ³	ASTM D-70	1.002

ENSAYOS SOBRE ASFALTO RECUPERADO (PELICULA FINA)

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO DE ENSAYO
PENETRACIÓN, 100 g, 5s, 0.1 mm a 15 °C a 20 °C a 25 °C a 30 °C	ASTM D-5	38
		54
		78
		107
INDICE DE PENETRACIÓN		1.941
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	ASTM D-113	+100
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D-36	52,8
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, cSt a 120 °C a 135 °C a 150 °C	ASTM D-2170	846.4
		424.6
		213.0

Observación:

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL HIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



02.05

Análisis de la Mezcla Asfáltica



Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 25.09.2002

N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			6.0		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	28.35			28.20		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	66.15			65.80		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.380			2.380		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.516			2.516		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)		6.9	6.9		6.8	6.9
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)		1,218.4	1,220.2		1,227.7	1,228.4
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)		1,227.4	1,228.4		1,235.4	1,236.0
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)		659.5	659.3		672.5	671.5
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)		567.9	569.1		562.9	564.5
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)		9.0	8.2		7.7	7.6
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)		9.9	9.0		8.5	8.4
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)		558.0	560.1		554.4	556.2
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)		2.183	2.179		2.214	2.209
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041		2.351			2.332	
19 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)		7.2	7.3		5.1	5.3
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)		2.474			2.474	
21 V.M.A. (%)		16.6	16.8		15.9	16.1
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)		57.0	56.3		68.1	67.2
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2.552			2.549	
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.2			1.2	
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4.3			4.9	
26 FLUJO (0.01 Pulgada)		14.2	13.3		15.1	14.4
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)		2,458.0	2,421.0		3,377.0	3,446.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD		0.9	0.9		0.9	0.9
29 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)		2,187.6	2,082.1		3,005.5	3,066.9



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos'

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 25.09.2002

N° DE BRIQUETAS	3A	3B	3C	4A	4B	4C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		6.50			7.00	
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		28.05			27.90	
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		65.45			65.10	
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		--			--	
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1.000			1.000	
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")		2.380			2.380	
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.516			2.516	
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE		--			--	
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)		6.9	6.9		7.0	7.0
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)		1,236.1	1,235.8		1,244.7	1,242.5
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)		1,244.2	1,242.8		1,252.3	1,249.7
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)		673.5	677.8		679.2	678.2
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)		570.7	565.0		573.1	571.5
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)		8.1	7.0		7.6	7.2
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)		8.9	7.7		8.4	7.9
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)		561.8	557.3		564.8	563.6
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)		2.200	2.217		2.204	2.205
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041		2.317			2.292	
19 PORCENTAJE DE VACÍOS		5.1	4.3		3.8	3.8
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)		2.474			2.474	
21 V.M.A.		16.9	16.2		17.1	17.1
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.		70.0	73.4		77.6	77.8
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2.551			2.551	
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL		1.2			1.2	
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO		5.4			5.9	
26 FLUJO (0.01 Pulgada)		18.8	18.4		19.0	18.5
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR		2,684.0	2,645.0		2,212.0	2,498.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD		0.86	0.89		0.86	0.86
29 ESTABILIDAD CORREGIDA		2,308.2	2,354.1		1,902.3	2,148.3



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 25.09.2002

N° DE BRIQUETAS	5A	5B	5C			
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7.50					
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	27.75					
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	64.75					
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.000					
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.380					
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.516					
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--					
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)		7.0	7.0			
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)		1,246.1	1,248.9			
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)		1,254.4	1,257.6			
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)		678.6	683.0			
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)		575.8	574.6			
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)		8.3	8.7			
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)		9.1	9.6			
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)		566.7	565.0			
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)		2.199	2.210			
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.285					
19 PORCENTAJE DE VACÍOS		3.8	3.3			
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.474					
21 V.M.A.		17.8	17.4			
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.		78.9	81.1			
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.551					
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.2					
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	6.4					
26 FLUJO (0.01 Pulgada)		18.1	21.1			
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR		2,072.0	2,082.0			
28 FACTOR DE ESTABILIDAD		0.86	0.86			
29 ESTABILIDAD CORREGIDA		1,781.9	1,790.5			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





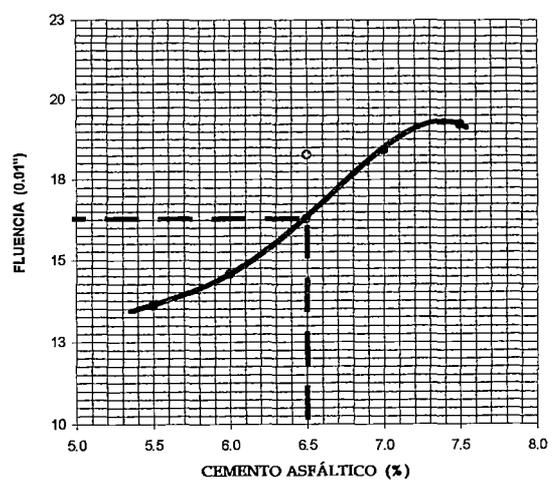
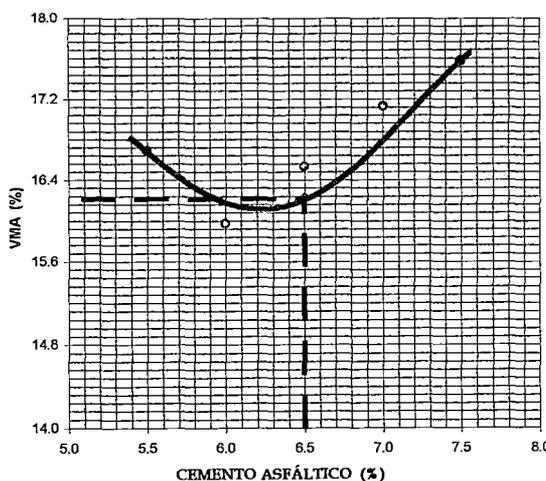
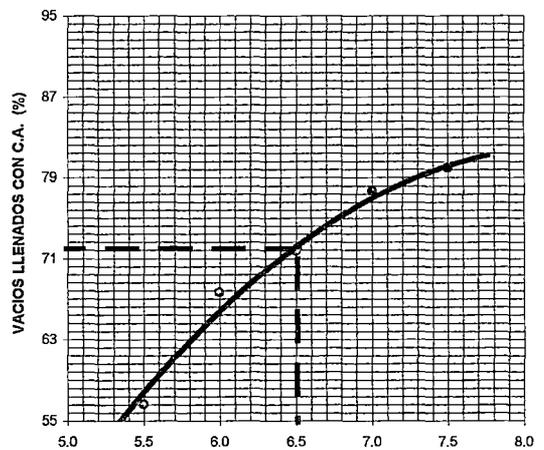
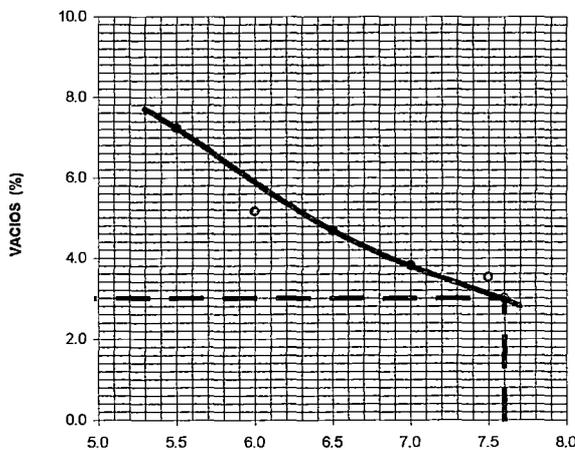
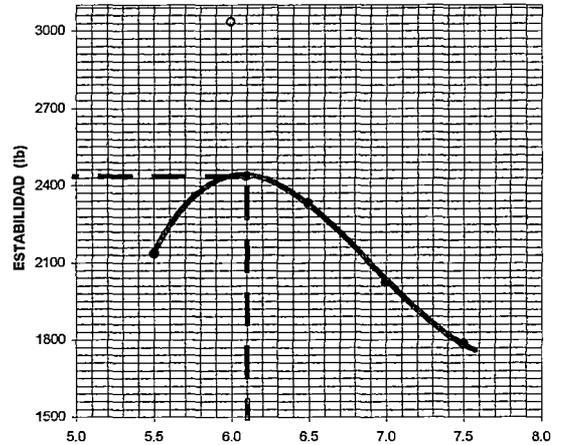
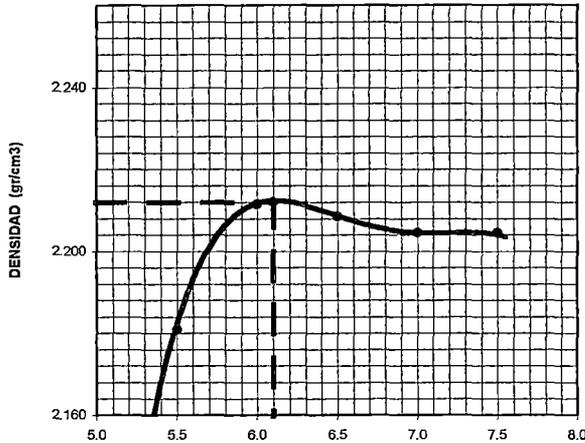
Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

GRÁFICO ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CEPEDAS
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 25.09.2002





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos'

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 02.10.2002

N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			6.0		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	28.35			28.20		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	64.26			63.92		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.89			1.88		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.380			2.380		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.516			2.516		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	2.325			2.325		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,222.8	1,226.0	1,224.6	1,227.4	1,231.9	1,225.8
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,231.3	1,235.4	1,235.5	1,236.0	1,241.4	1,236.5
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	670.0	672.2	670.5	675.0	680.7	677.0
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	561.3	563.2	565.0	561.0	560.7	559.5
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.5	9.4	10.9	8.6	9.5	10.7
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	9.3	10.3	12.0	9.5	10.4	11.8
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	552.0	552.9	553.0	551.6	550.3	547.7
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.215	2.218	2.214	2.225	2.239	2.238
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.352			2.336		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5.8	5.7	5.9	4.8	4.2	4.2
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.470			2.470		
21 V.M.A. (%)	15.3	15.1	15.3	15.3	14.8	14.8
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	61.9	62.4	61.6		71.9	71.7
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.553			2.554		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	1.3			1.3		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.3			4.8		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	15.6	15.1	15.6	17.5	17.4	17.1
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	3,182.0	3,159.0	3,205.0	3,214.0	3,230.0	3,246.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
29 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	2,832.0	2,811.5	2,852.5	2,860.5	2,874.7	2,888.9



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos*

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 02.10.2002

N° DE BRIQUETAS	3A	3B	3C	4A	4B	4C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.50			7.00		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	28.05			27.90		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	63.58			63.24		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.87			1.86		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.000			1.000		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.380			2.380		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.516			2.516		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	2.325			2.325		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9	6.9
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,238.7	1,238.8	1,239.5	1,244.6	1,246.1	1,245.6
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,246.4	1,247.9	1,249.8	1,251.7	1,255.5	1,256.4
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	683.9	683.7	685.6	686.5	687.3	685.4
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	562.5	564.2	564.2	565.2	568.2	571.0
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	7.7	9.1	10.3	7.1	9.4	10.8
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	8.5	10.0	11.3	7.8	10.3	11.9
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	554.0	554.2	552.9	557.4	557.9	559.1
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.236	2.235	2.242	2.233	2.234	2.228
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.320			2.3080		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	3.6	3.7	3.4	3.3	3.2	3.5
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.470			2.470		
21 V.M.A.	15.4	15.4	15.1	15.9	15.9	16.1
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	76.4	76.2	77.8	79.6	79.8	78.5
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.554			2.554		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.3			1.3		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	5.3			5.8		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	18.7	18.2	18.6	19.4	19.3	19.3
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2,561.0	2,431.0	2,496.0	2,121.0	2,098.0	2,144.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	2,279.3	2,163.6	2,221.4	1,887.7	1,867.2	1,908.2



ING. EZEQUEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 02.10.2002

N° DE BRIQUETAS	5A	5B	5C			
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7.50					
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	27.75					
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	62.90					
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.85					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.000					
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.380					
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.516					
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	2.325					
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.9	6.9	6.9			
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,252.3	1,254.6	1,253.1			
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,262.4	1,263.5	1,263.7			
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	693.5	695.4	694.3			
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	568.9	568.1	569.4			
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	10.1	8.9	10.6			
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	11.1	9.8	11.7			
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	557.8	558.3	557.8			
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.245	2.247	2.247			
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.286					
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	1.8	1.7	1.7			
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.470					
21 V.M.A.	15.9	15.9	15.9			
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	88.8	89.2	89.2			
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.552					
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.3					
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	6.3					
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	19.5	19.5	19.2			
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1,866.0	1,901.0	1,936.0			
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89	0.89	0.89			
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	1,660.7	1,691.9	1,723.0			




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





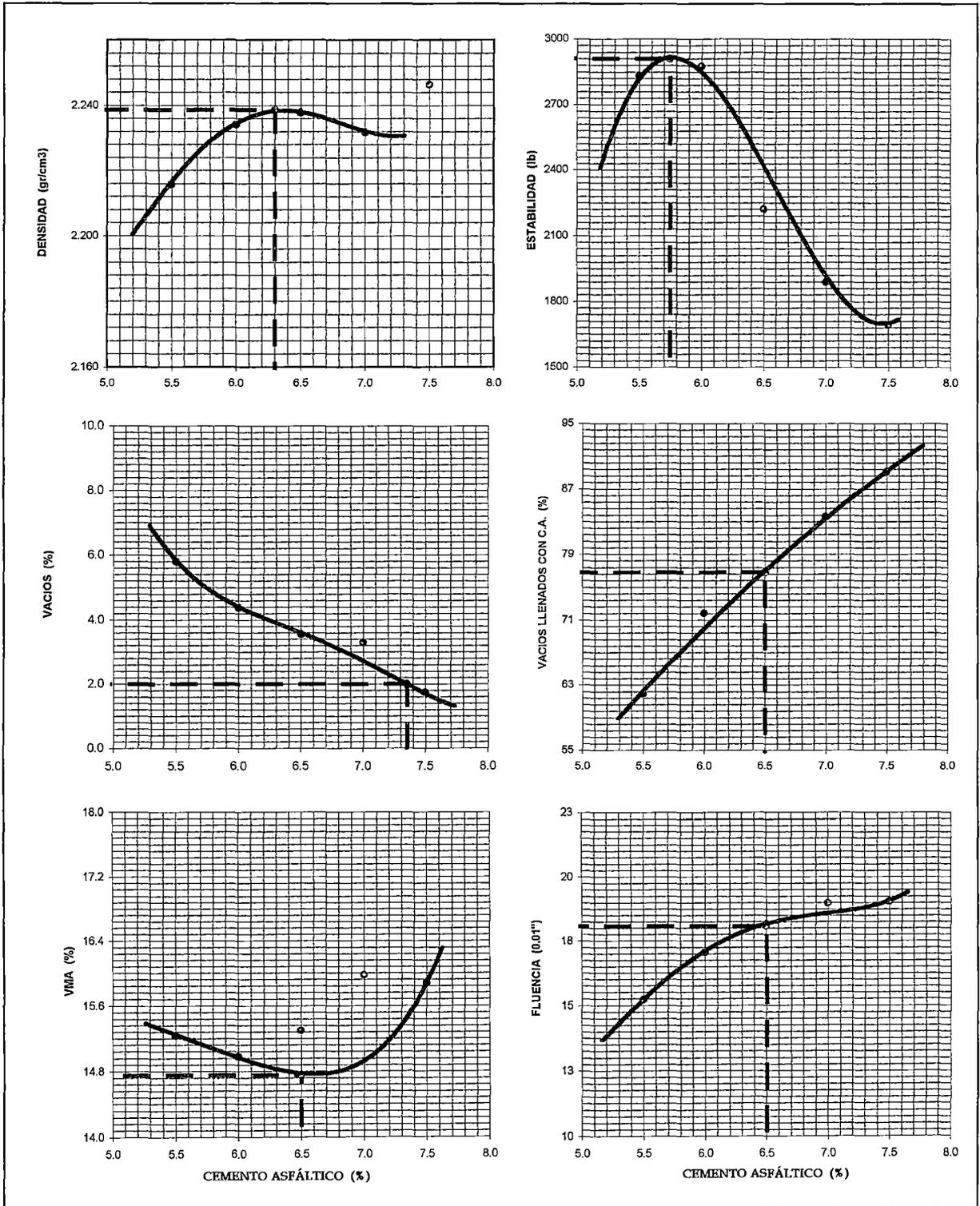
Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

GRÁFICO ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 02.10.2002





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos*

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIKO F.
PROCEDENCIA : LIMA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 09.10.2002

N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4.0			4.5		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	28.80			28.65		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	65.28			64.94		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.92			1.91		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.706			2.706		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.727			2.727		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	2.325			2.325		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,209.4	1,206.5	1,206.9	1,215.1	1,213.8	1,212.5
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,220.1	1,215.3	1,215.3	1,223.9	1,221.5	1,221.1
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	693.8	697.7	691.8	703.8	706.3	698.8
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	526.3	517.6	523.5	520.1	515.2	522.3
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	10.7	8.8	8.4	8.8	7.7	8.6
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	11.8	9.7	9.2	9.7	8.5	9.5
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	514.5	507.9	514.3	510.4	506.7	512.9
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.350	2.375	2.347	2.381	2.395	2.364
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.567			2.543		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	8.5	7.5	8.6	6.4	5.8	7.0
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.711			2.711		
21 V.M.A. (%)	16.8	15.9	16.9	16.1	15.6	16.7
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	49.7	53.0	49.3	62.8	62.8	57.9
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.746			2.742		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.5			0.4		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	3.5			4.1		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	15.2	13.8	12.6	12.4	14.7	16.8
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	1,519.0	1,466.5	1,532.0	1,742.0	1,676.0	1,744.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.04	1.00	1.00	1.04	1.00
29 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1,519.0	1,525.2	1,532.0	1,742.0	1,743.0	1,744.0



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : LIMA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 09.10.2002

N° DE BRIQUETAS	3A	3B	3C	4A	4B	4C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.00			5.50		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	28.50			28.35		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	64.60			64.26		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.90			1.89		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.000			1.000		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.706			2.706		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.727			2.727		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	2.325			2.325		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.3	6.2	6.3	6.2	6.3	6.2
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,222.4	1,219.5	1,221.7	1,229.2	1,225.9	1,227.1
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,230.5	1,227.3	1,230.3	1,235.9	1,233.5	1,234.6
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	712.1	715.0	710.0	722.2	717.9	721.8
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	518.4	512.3	520.3	513.7	515.6	512.8
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.1	7.8	8.6	6.7	7.6	7.5
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF. / P.E. PARAF.) (cm. ³)	8.9	8.6	9.5	7.4	8.4	8.2
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	509.5	503.7	510.9	506.3	507.3	504.6
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.399	2.421	2.392	2.428	2.417	2.432
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.526			2.5020		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	5.0	4.2	5.3	3.0	3.4	2.8
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.711			2.711		
21 V.M.A.	15.9	15.2	16.2	15.4	15.7	15.2
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	68.4	72.6	67.2	80.7	78.4	81.6
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.747			2.747		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.5			0.5		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	4.5			5.0		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	21.3	17.0	15.3	19.7	19.6	15.2
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1,858.0	2,096.0	1,630.0	1,956.0	1,866.0	2,311.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.04	1.00	1.04	1.04	1.04
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	1,858.0	2,179.8	1,630.0	2,034.2	1,940.6	2,403.4



ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIKO F.
PROCEDENCIA : LIMA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 09.10.2002

N° DE BRIQUETAS	5A	5B	5C			
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.00					
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	28.20					
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	63.92					
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.88					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.000					
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.706					
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.727					
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	2.325					
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.2	6.2	6.3			
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,231.8	1,230.8	1,233.8			
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,238.4	1,237.8	1,241.5			
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	727.0	727.5	726.2			
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm.³)	511.4	510.3	515.3			
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	6.6	7.0	7.7			
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm.³)	7.3	7.7	8.5			
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	504.2	502.6	506.8			
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm.³)	2.443	2.449	2.434			
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.489					
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	1.9	1.6	2.2			
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm.³)	2.711					
21 V.M.A.	15.3	15.1	15.6			
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	87.9	89.3	85.8			
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.750					
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.5					
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	5.5					
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	17.9	19.4	18.9			
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2,020.0	1,857.0	1,938.0			
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.04	1.04	1.04			
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	2,100.8	1,931.3	2,015.5			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





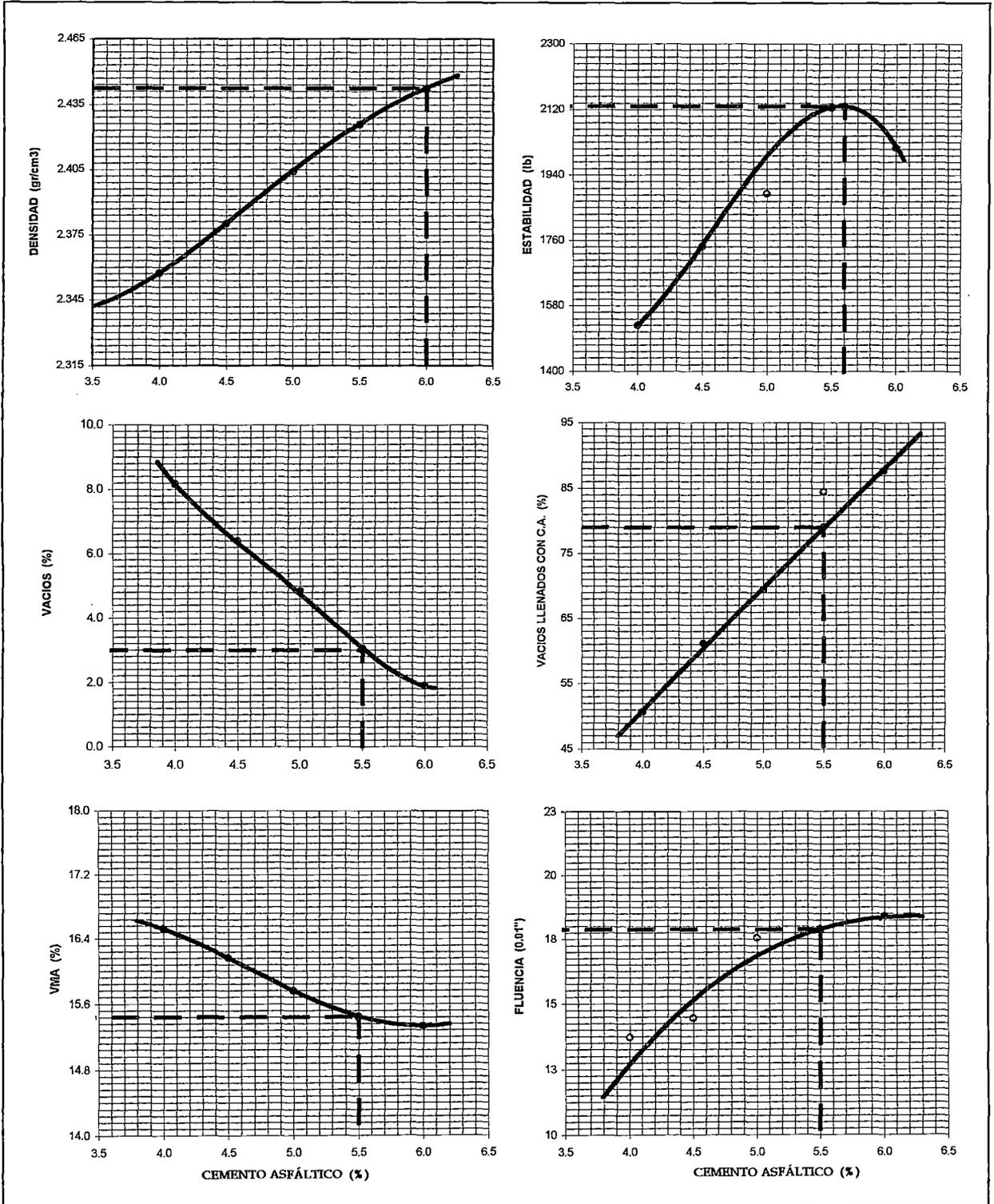
Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

GRÁFICO ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIDO F.
PROCEDENCIA : LIMA
MEZCLA : 30% PIEDRA, 70% ARENA, 2% CAL, 0.5% ADITIVO

ING° RESPONSABLE : JOSE MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 09.10.2002





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : LIMA

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO GESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 14.10.2002

ESTABILIDAD RETENIDA

ENSAYO A:		30 MINUTOS			24 HORAS		
BRIQUETA N°		1	2	3	4	5	6
1	% CA en peso de la mezcla	5.7			5.7		
2	Altura promedio de la briqueta						
3	Peso de la briqueta al aire	1228.0	1227.1	1227.8	1227.1	1225.1	1228.2
4	Peso de la briqueta más parafina al aire	1235.0	1234.2	1235.1	1234.1	1231.5	1235.0
5	Peso de la briqueta más parafina sumergida	723.5	722.1	722.7	723.3	722.8	723
6	Volumen de la briqueta más parafina	511.5	512.1	512.4	510.8	508.7	512
7	Peso de la parafina	7.0	7.1	7.3	7.0	6.4	6.8
8	Volumen de la parafina	8.0	8.1	8.3	8.0	7.3	7.8
9	Volumen de la briqueta por desplazamiento	503.5	504.0	504.1	502.8	501.4	504.2
10	Peso Unitario de la briqueta	2.439	2.435	2.436	2.440	2.443	2.436
11	Flujo (0.01 pulg)	18.4	15.7	16.8	16.2	15.9	15.2
12	Estabilidad sin corregir	1996	1949	1941	2039	2115	2060
13	Factor de Estabilidad	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
14	Estabilidad Corregida	2075.8	2027	2018.6	2120.6	2199.6	2142.4
PROMEDIO ESTABILIDAD		2040.5			2154.2		
% ESTABILIDAD RETENIDA		105.57%					
OBSERVACIONES:							

PESO ESPECIFICO DE LA PARAFINA

0.876



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : LIMA

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 14.10.2002

INDICE DE COMPACTIVIDAD

N° DE GOLPES POR LADO		50			5		
1	% CA en peso de la mezcla	5.7			5.7		
2	Altura promedio de la briqueta						
3	Peso de la briqueta al aire	1231.1	1230.6	1231.7	1227.8	1226.9	1227.1
4	Peso de la briqueta más parafina al aire	1239.8	1239.1	1239.9	1243.4	1242.0	1242.0
5	Peso de la briqueta más parafina sumergida	717.5	718.4	719.4	681.3	679.8	681.8
6	Volumen de la briqueta más parafina	522.3	520.7	520.5	562.1	562.2	560.2
7	Peso de la parafina	8.7	8.5	8.2	15.6	15.1	14.9
8	Volumen de la parafina	9.9	9.7	9.4	17.8	17.2	17.0
9	Volumen de la briqueta por desplazamiento	512.4	511.0	511.1	544.3	545.0	543.2
10	Peso Unitario de la briqueta	2.403	2.408	2.410	2.256	2.251	2.259
PROMEDIO PESO UNITARIO		2.407			2.255		
INDICE DE COMPACTIVIDAD		6.60					
OBSERVACIONES:							

PESO ESPECIFICO DE LA PARAFINA

0.876



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 14.10.2002

ESTABILIDAD RETENIDA

ENSAYO A:		30 MINUTOS			24 HORAS		
BRIQUETA N°		1	2	3	4	5	6
1	% CA en peso de la mezcla	6.5			6.5		
2	Altura promedio de la briqueeta						
3	Peso de la briqueeta al aire	1235.6	1234.8	1233.3	1230.9	1233.7	1238.8
4	Peso de la briqueeta más parafina al aire	1241.3	1241.4	1240.2	1237.1	1239.9	1244.8
5	Peso de la briqueeta más parafina sumergida	672.9	671.6	670.5	671.4	672.9	682.1
6	Volumen de la briqueeta más parafina	568.4	569.8	569.7	565.7	567	562.7
7	Peso de la parafina	5.7	6.6	6.9	6.2	6.2	6.0
8	Volumen de la parafina	6.5	7.5	7.9	7.1	7.1	6.8
9	Volumen de la briqueeta por desplazamiento	561.9	562.3	561.8	558.6	559.9	555.9
10	Peso Unitario de la briqueeta	2.199	2.196	2.195	2.203	2.203	2.229
11	Flujo (0.01 pulg)	11.5	10.1	11.3	12.9	13.2	13.6
12	Estabilidad sin corregir	2080	2045	2060	2084	2451	2406
13	Factor de Estabilidad	0.86	0.86	0.86	0.89	0.86	0.89
14	Estabilidad Corregida	1788.8	1758.7	1771.6	1854.8	2107.9	2141.3
PROMEDIO ESTABILIDAD		1773			2034.7		
% ESTABILIDAD RETENIDA		114.76%					
OBSERVACIONES:							

PESO ESPECIFICO DE LA PARAFINA

0.876

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) en el Tramo Vial I: Yura - Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO
DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO POR : BACH. N. MAGALI NIKAIIDO F.
PROCEDENCIA : AREQUIPA

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
EFECTUADO : TEC. VITALICIO ROQUE - LEONCIO CESPEDES
REGISTRO N° : 414 (11.07.2002)
FECHA : 14.10.2002

INDICE DE COMPACTIVIDAD

N° DE GOLPES POR LADO		50			5		
1	% CA en peso de la mezcla	6.5			6.5		
2	Altura promedio de la briqueta						
3	Peso de la briqueta al aire	1240.4	1241.3	1239.5	1234.2	1234.0	1234.6
4	Peso de la briqueta más parafina al aire	1247.7	1248.4	1247.1	1246.9	1245.8	1246.8
5	Peso de la briqueta más parafina sumergida	671.6	672.5	670.6	629.1	628.9	629.5
6	Volumen de la briqueta más parafina	576.1	575.9	576.5	617.8	616.9	617.3
7	Peso de la parafina	7.3	7.1	7.6	12.7	11.8	12.2
8	Volumen de la parafina	8.3	8.1	8.7	14.5	13.5	13.9
9	Volumen de la briqueta por desplazamiento	567.8	567.8	567.8	603.3	603.4	603.4
10	Peso Unitario de la briqueta	2.185	2.186	2.183	2.046	2.045	2.046
PROMEDIO PESO UNITARIO		2.185			2.046		
INDICE DE COMPACTIVIDAD		7.20					
OBSERVACIONES:							

PESO ESPECIFICO DE LA PARAFINA

0.876



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Anexo 03

Panel Fotográfico



*Inicio del Tramo de la Carretera Yura – Patahuasi – Santa Lucía.
Tramo I km. 0+000 – km. 53+336*



*Planta de Asfalto, ubicada en la Cantera Salas km. 39+500,
al lado izquierdo de la vía.*



Material chancado apilado y cubierto, listo para ser colocado en las tolvas de la planta de asfalto al momento de reanudar con la producción de mezcla.



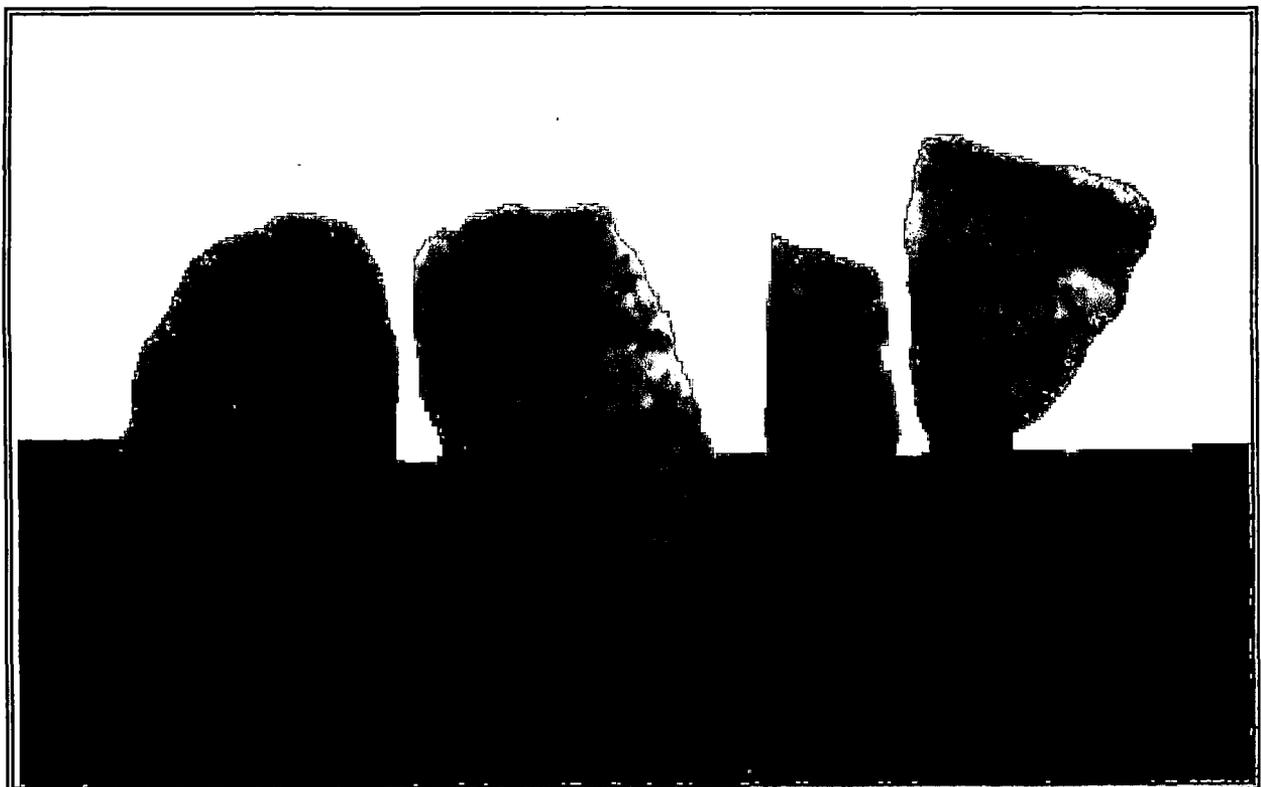
Bolsas de cal hidratada debidamente protegidas para evitar el contacto con la humedad.



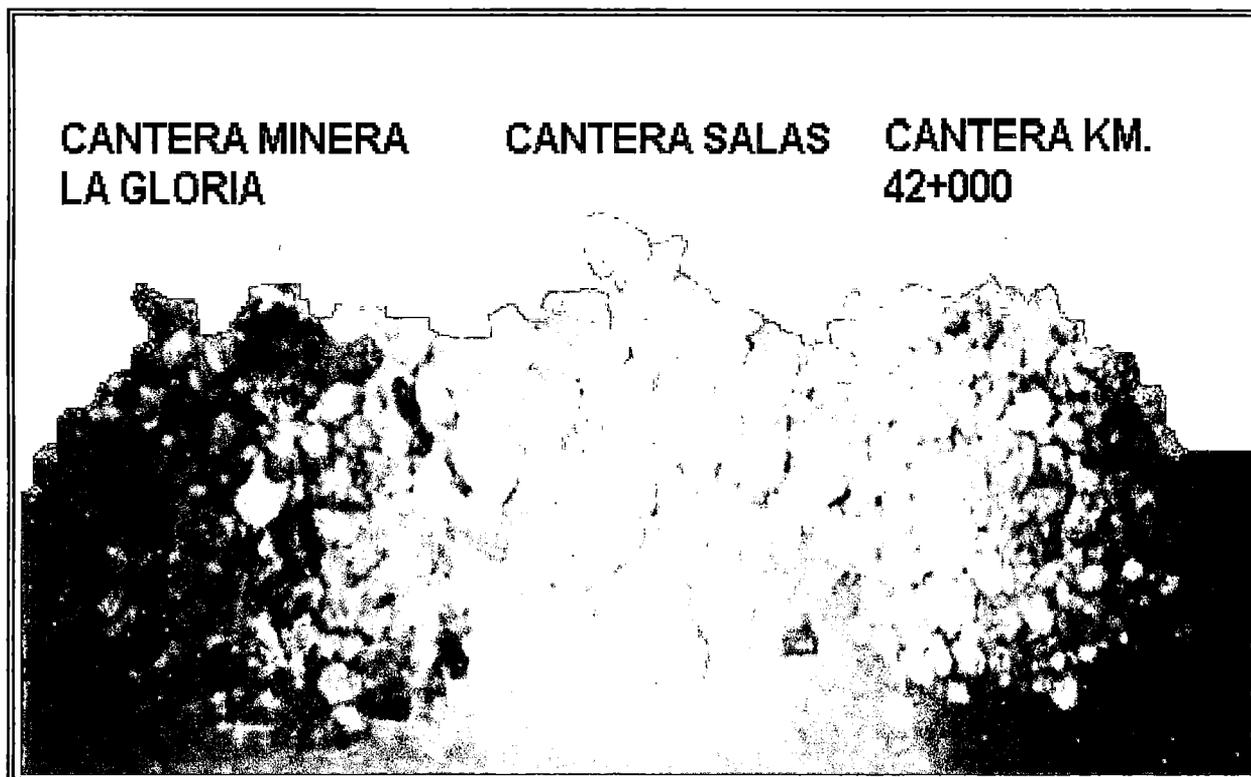
Vista Panorámica de la Cantera km. 42+000, ubicada al lado derecho de la vía. Donde se extrae arena zarandeada para producir la mezcla asfáltica en caliente.



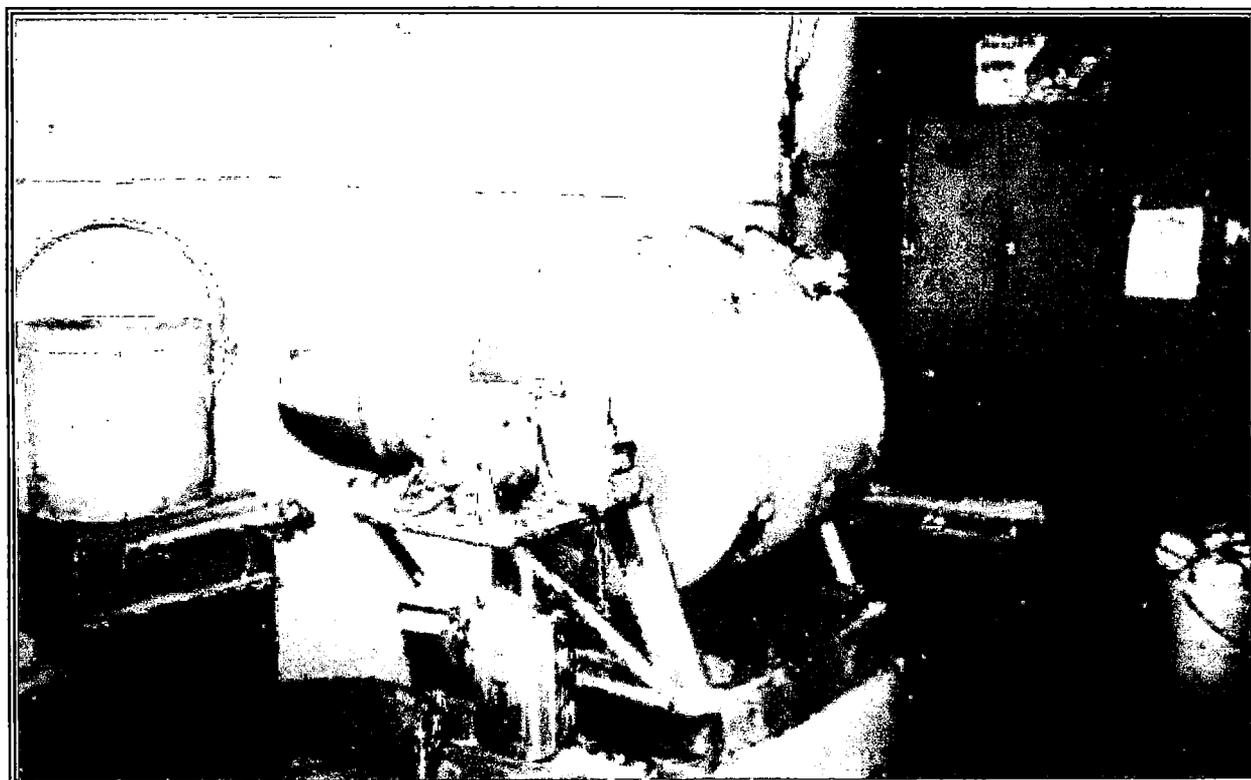
Rocas procedentes de la Cantera Km. 42+000, para un análisis petrográfico.



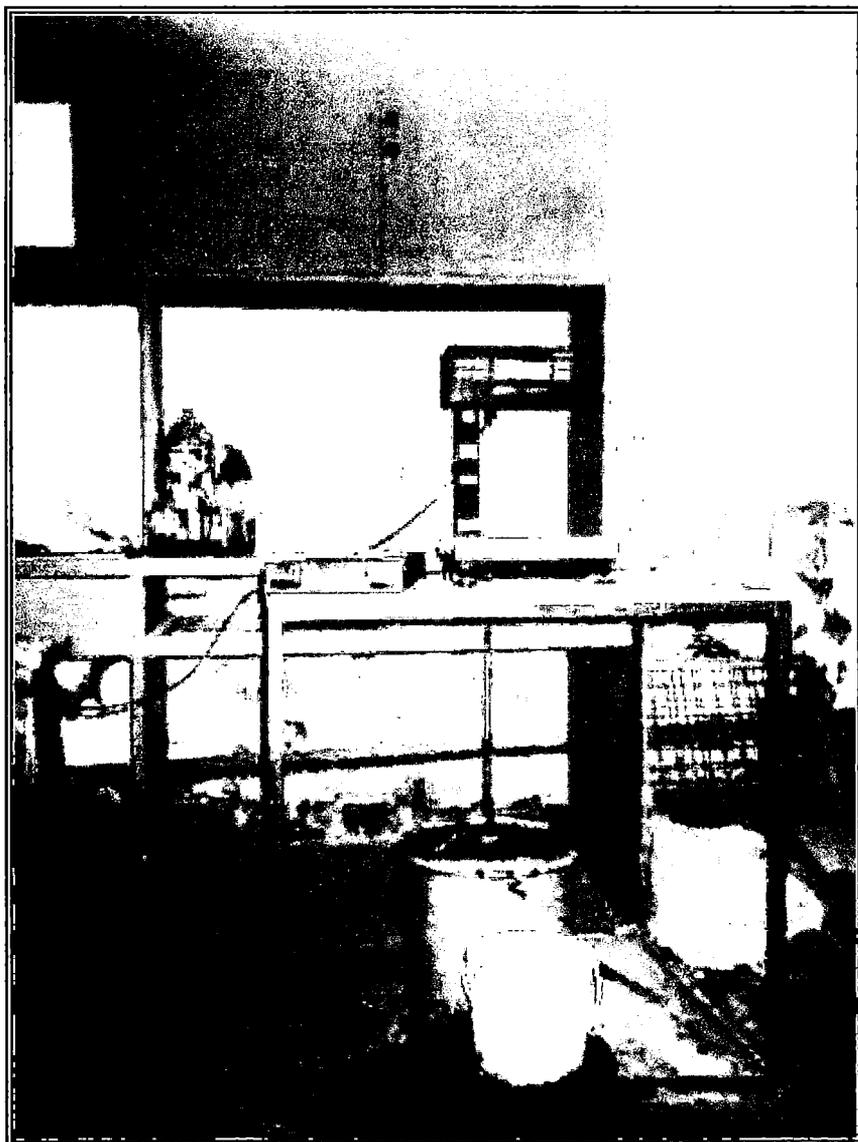
Rocas procedentes de la Cantera Salas, para un análisis petrográfico.



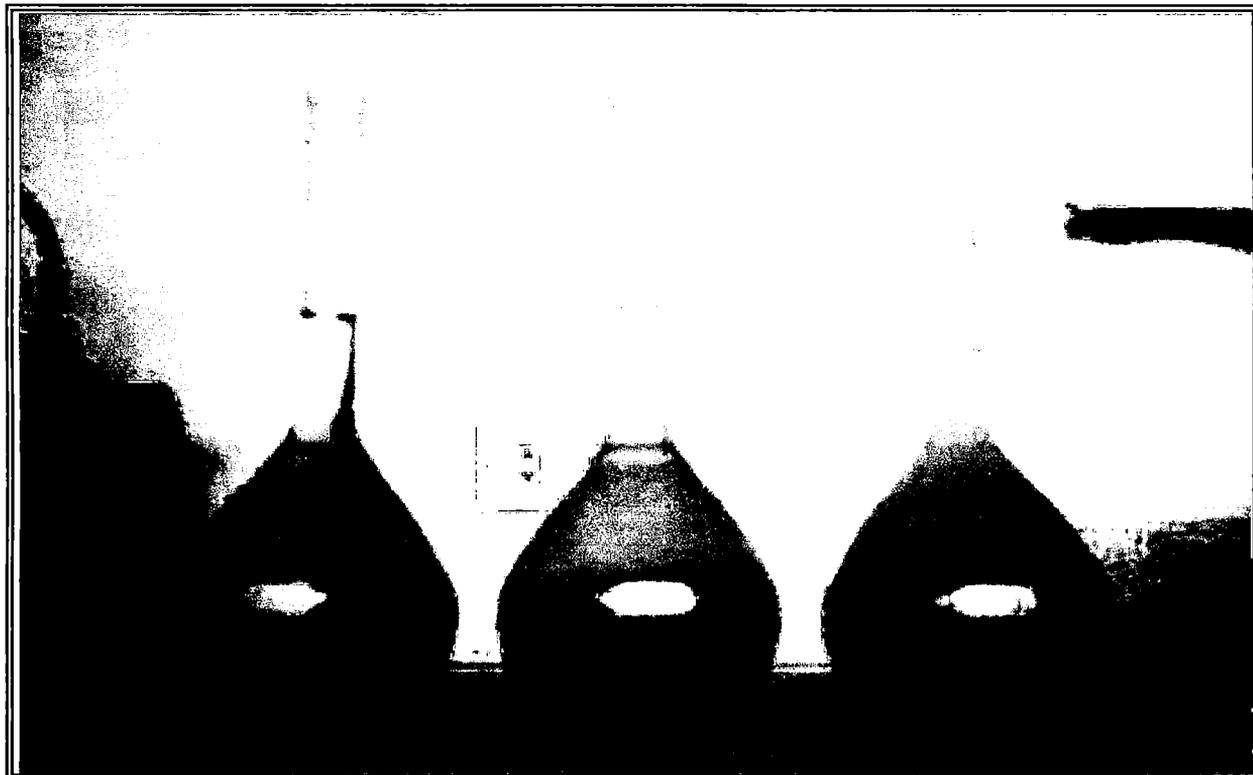
Se observa la diferencia de tonalidades y forma de los agregados en estudio



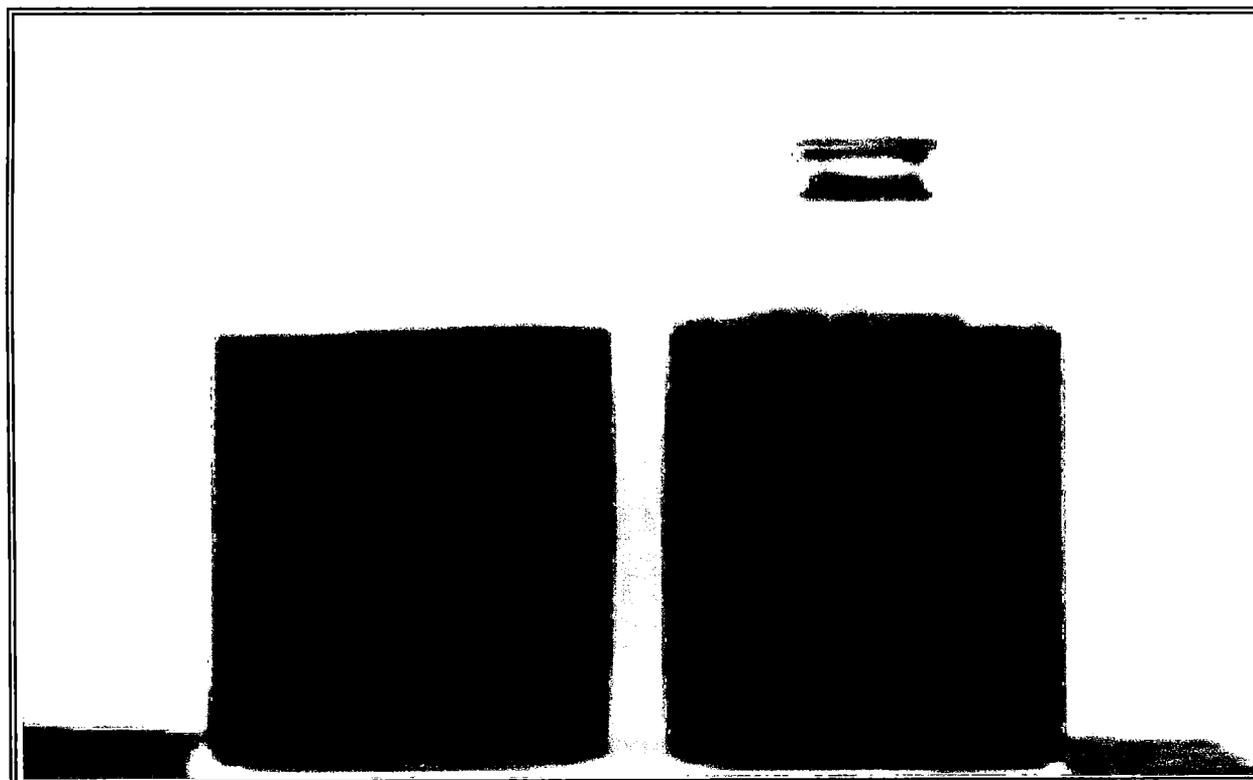
Ensayo de Abrasión, importante para medir el desgaste sufrido al momento de la trituración, colocación, compactación y durante la vida de servicio.



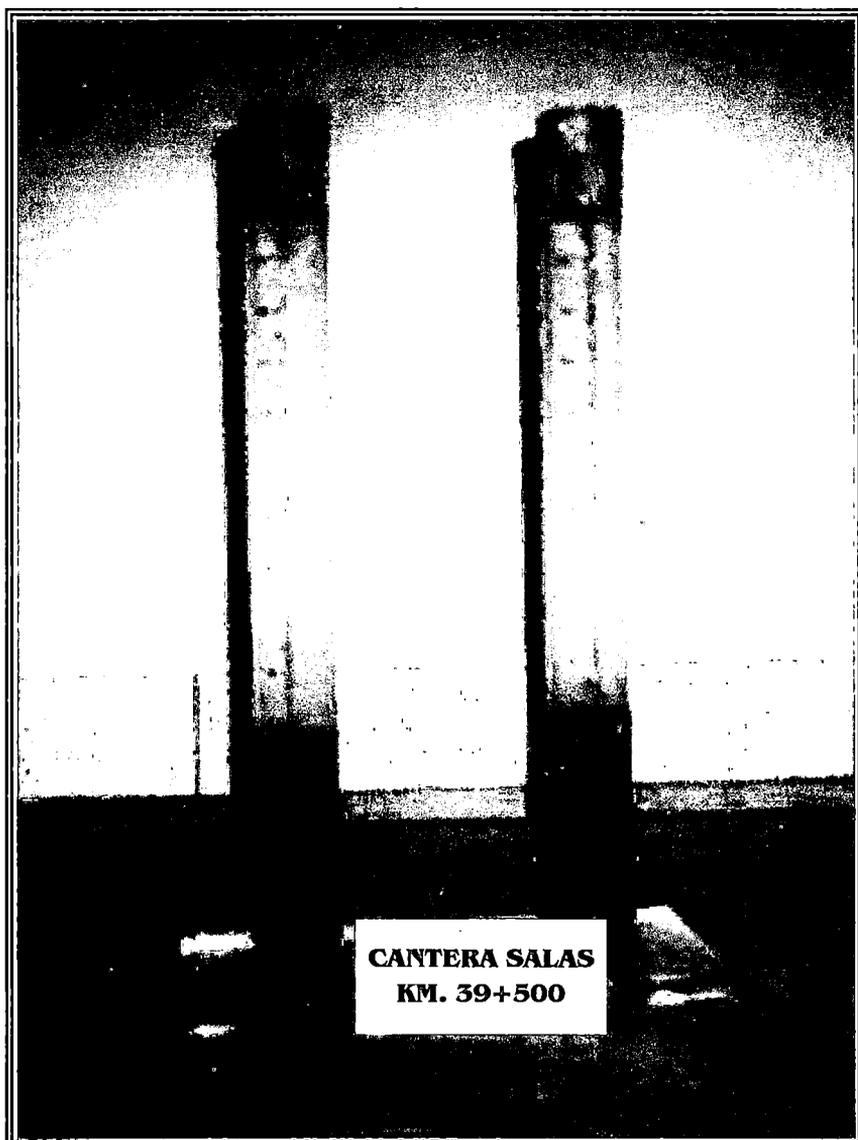
Ensayo de Absorción y Peso Específico del Agregado Grueso.



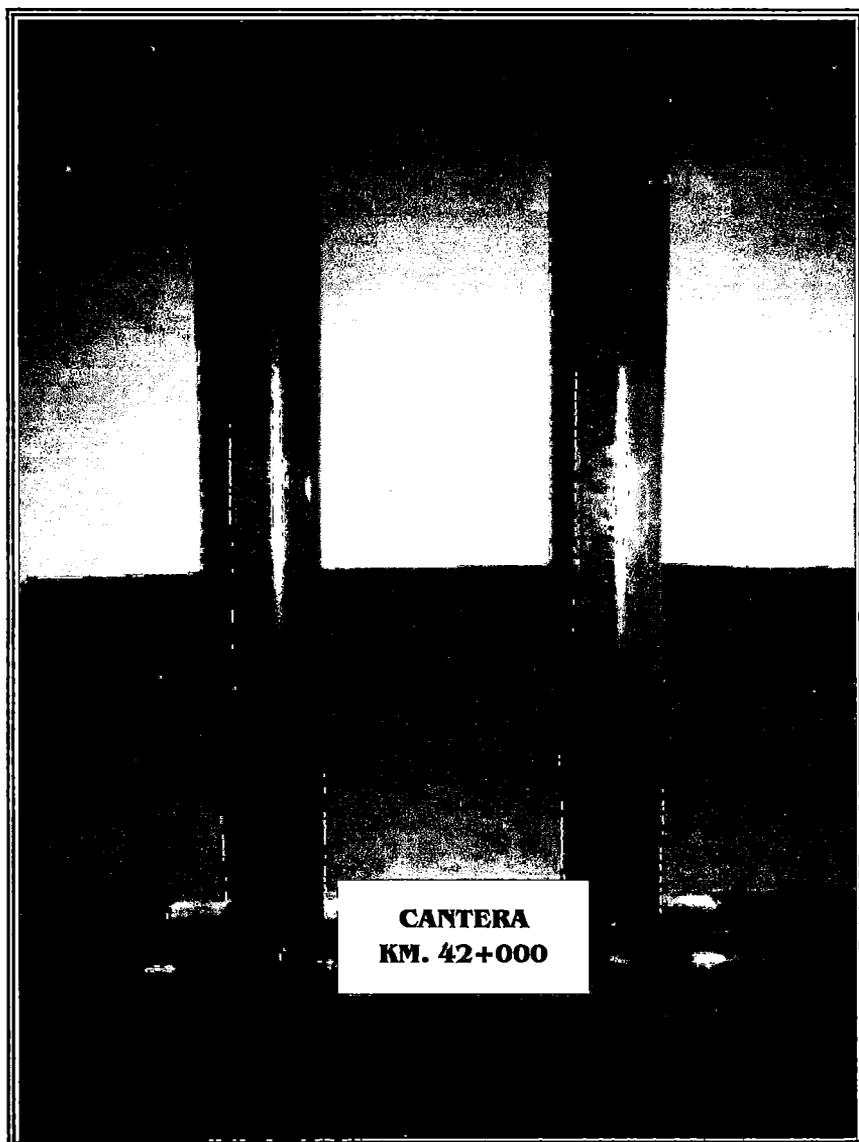
Ensayo de Absorción y Peso Específico del Agregado Fino.



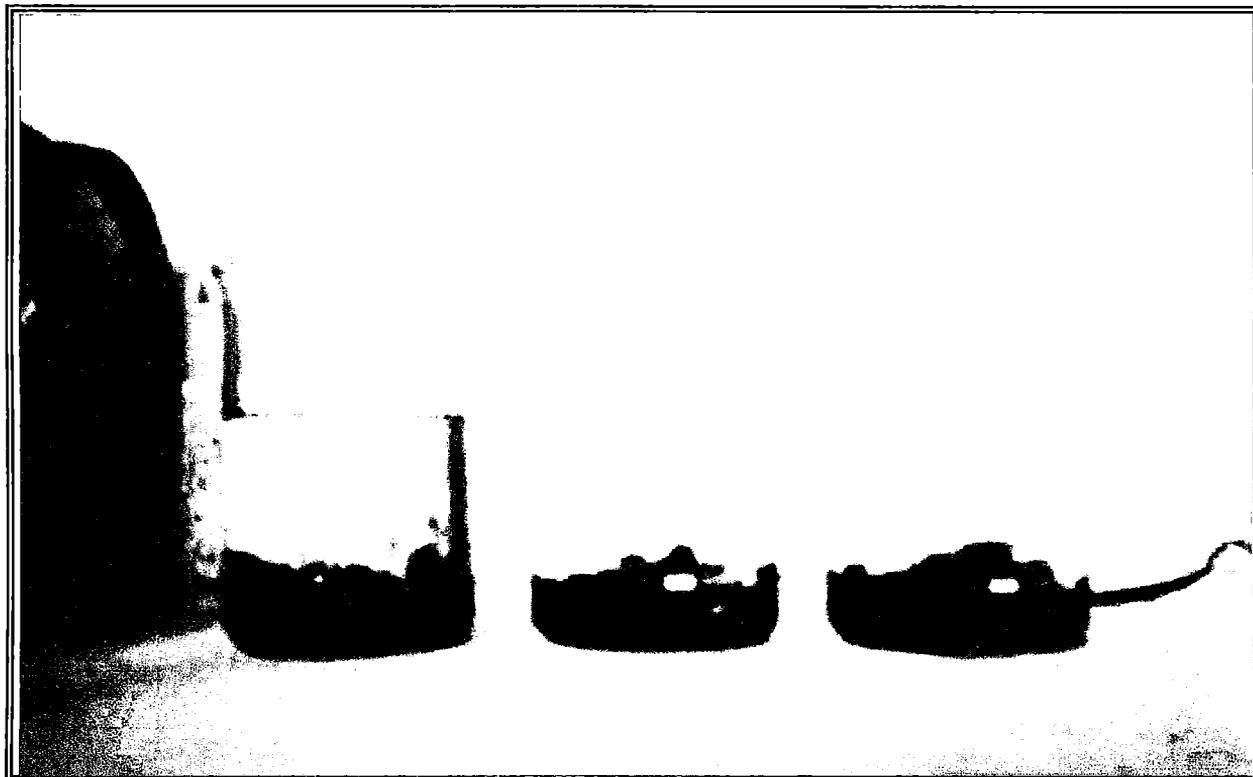
Ensayo de Impurezas Orgánicas. Se puede observar la diferencia de tonalidades en la parte superior del envase.



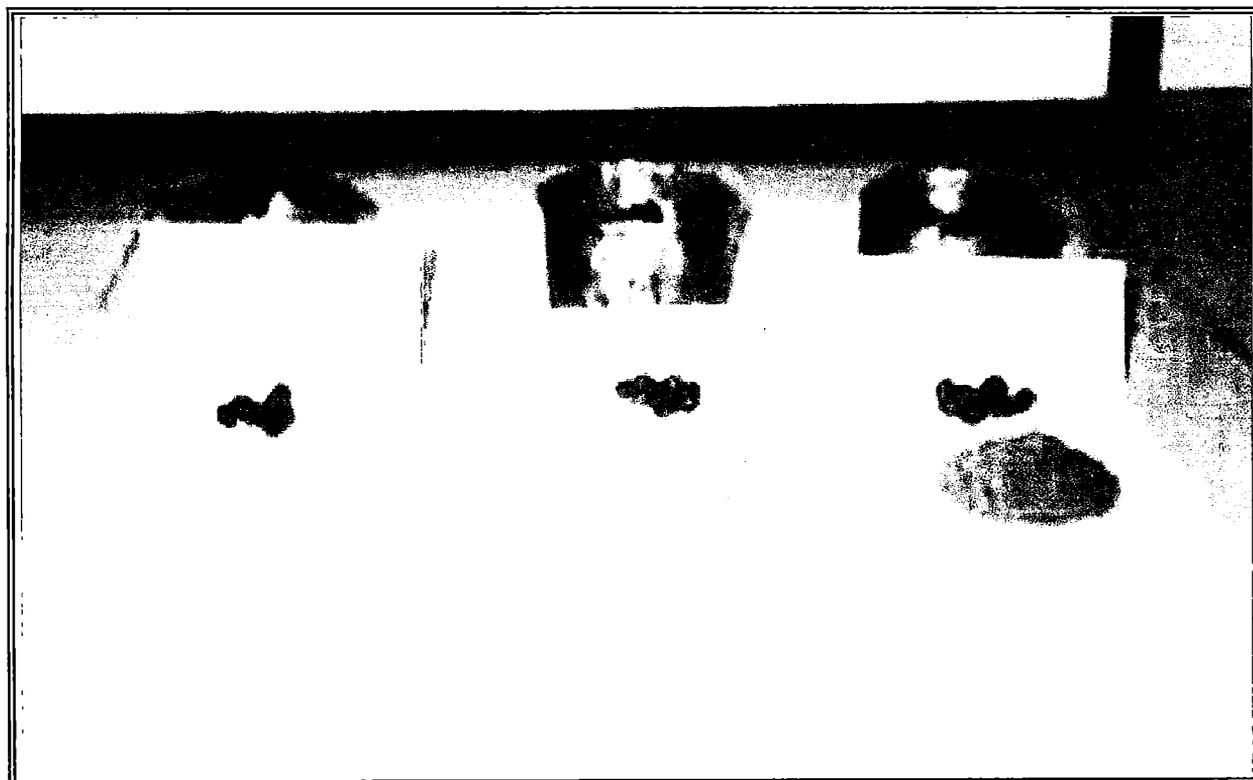
*Ensayo de Equivalente de Arena de la
Cantera Salas*



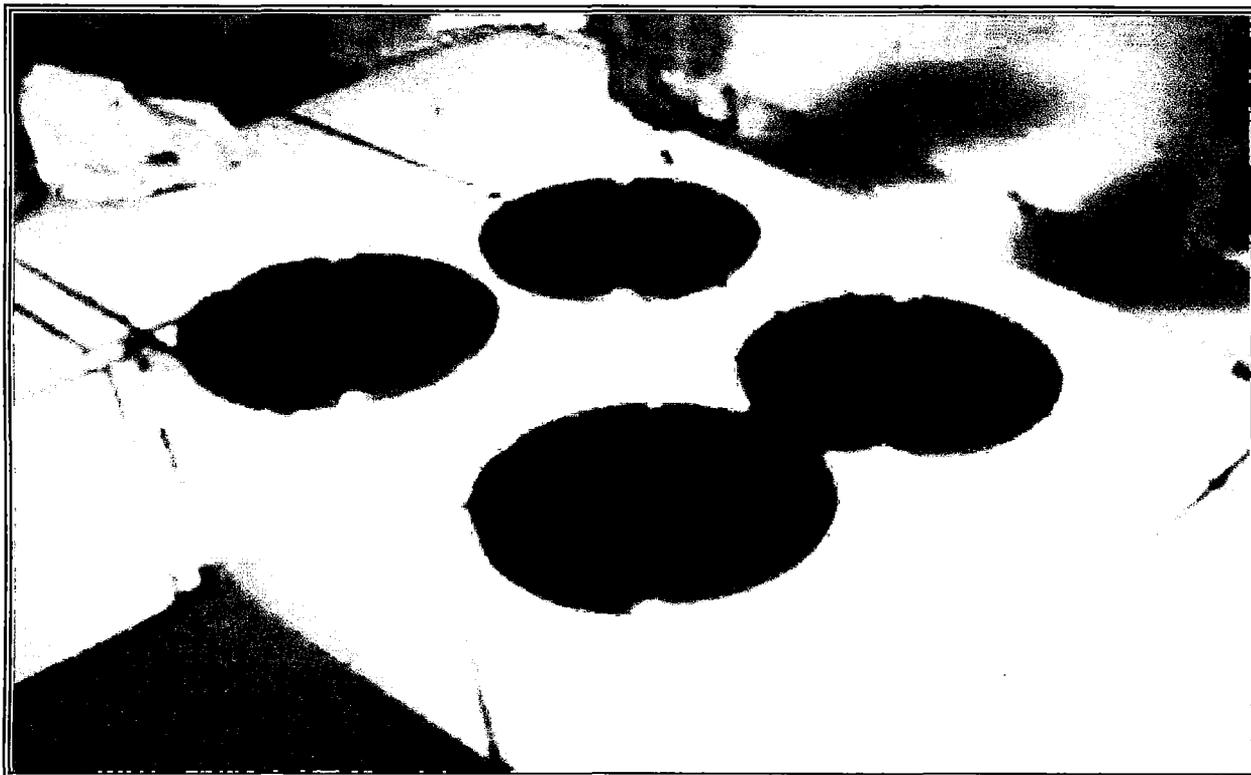
*Ensayo de Equivalente de Arena de la
Cantera Km. 42+000*



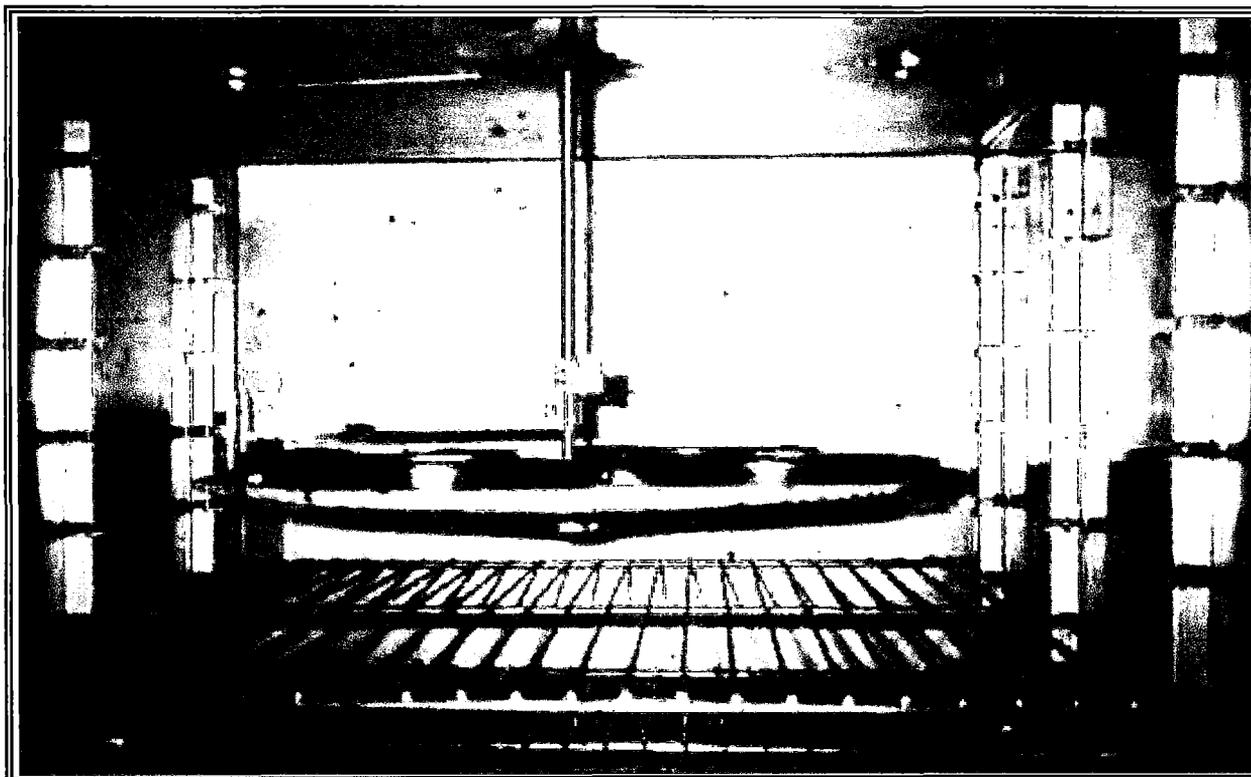
Ensayo de Adherencia del Ligante Asfáltico – Agregado. Se observa un buen recubrimiento con los tres tipos de agregados.



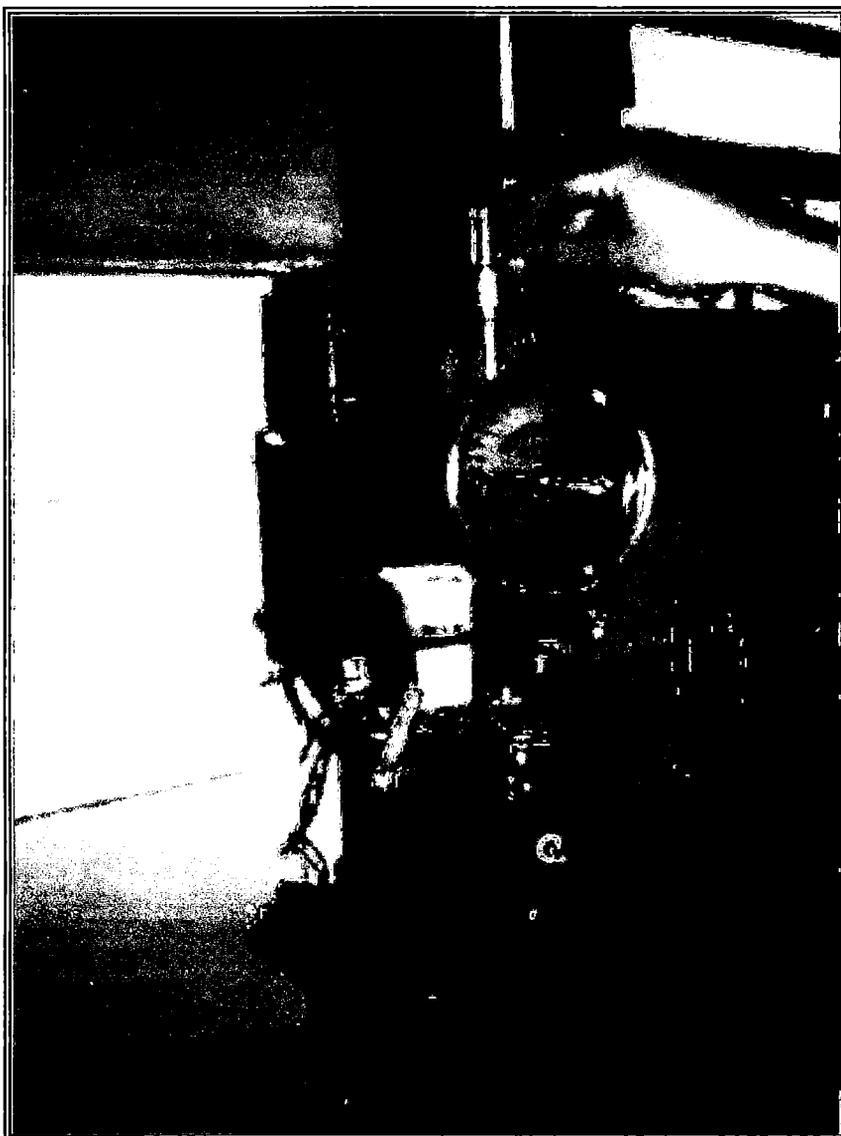
Ensayo Riedel Weber. Preparación de las muestras a ser ensayadas con las soluciones de carbonato de sodio.



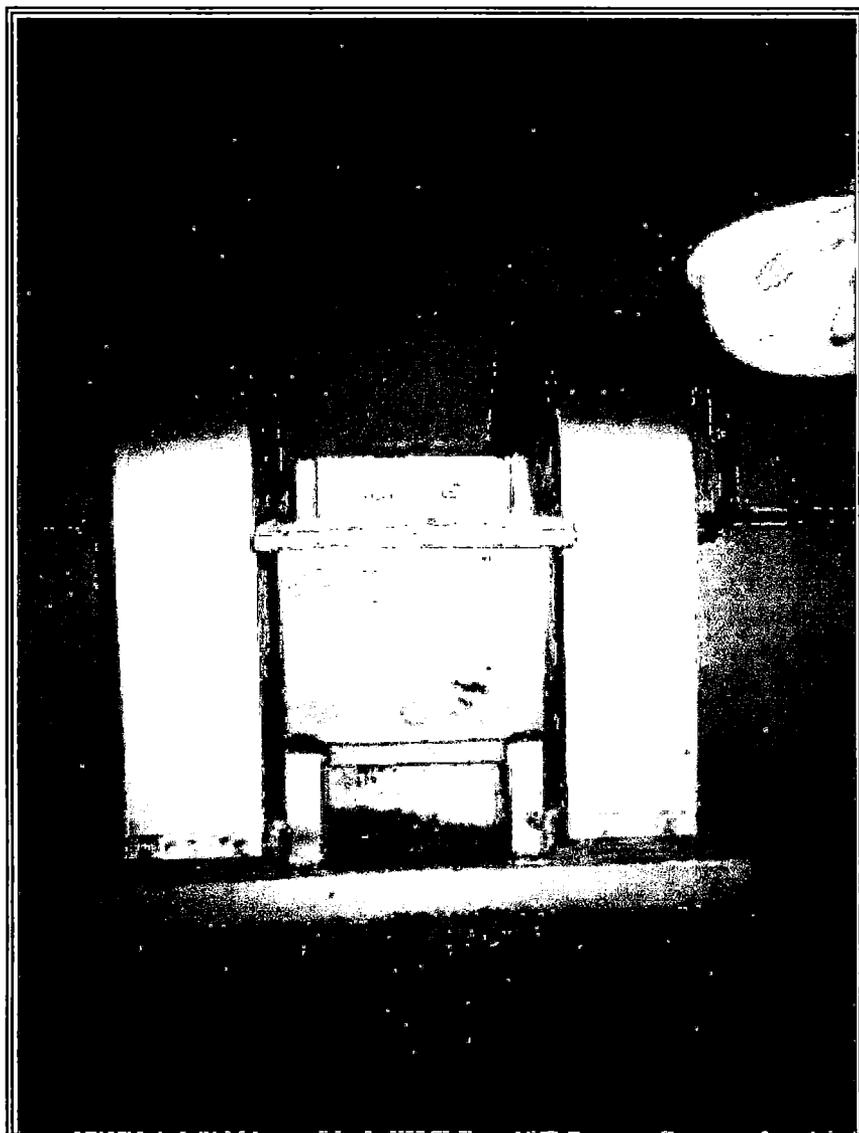
Preparación de cuatro muestras para el ensayo de Película Delgada, sobre un recipiente cilíndrico de fondo plano.



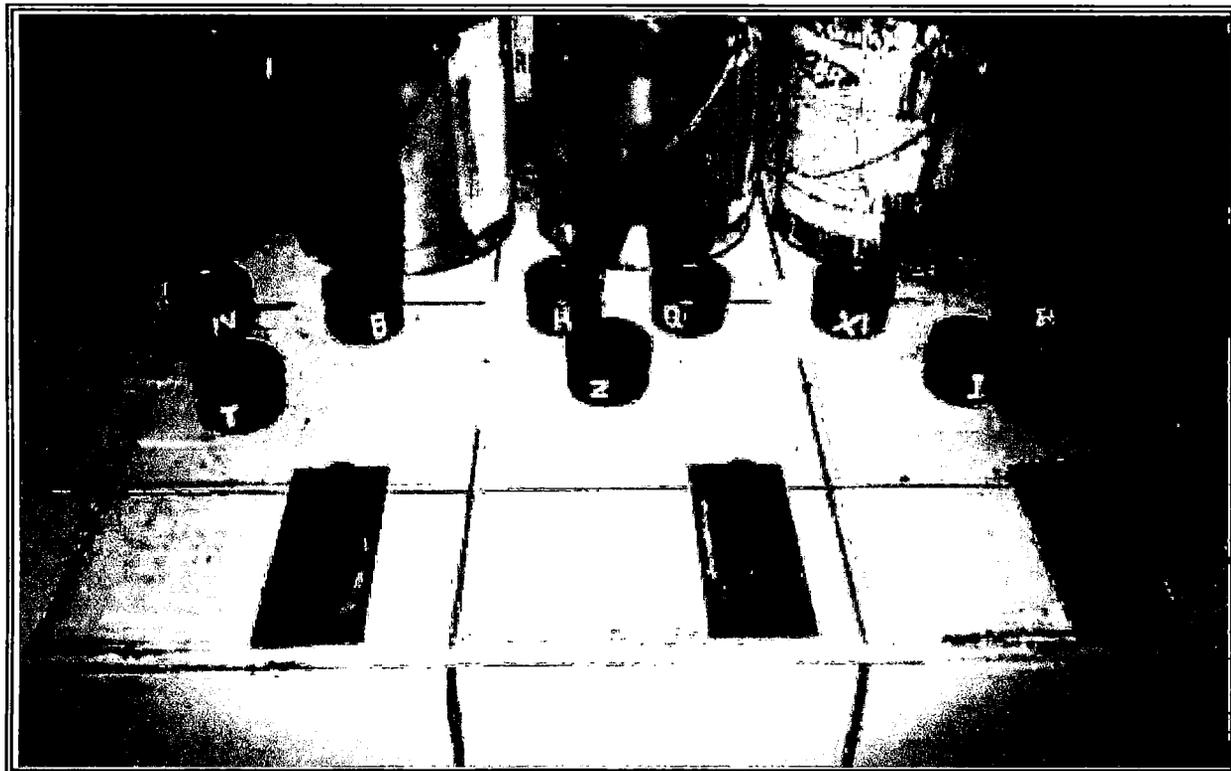
Muestras colocadas en el horno durante 5 horas a una temperatura de 163°C, para luego ser ensayadas las muestras envejecidas.



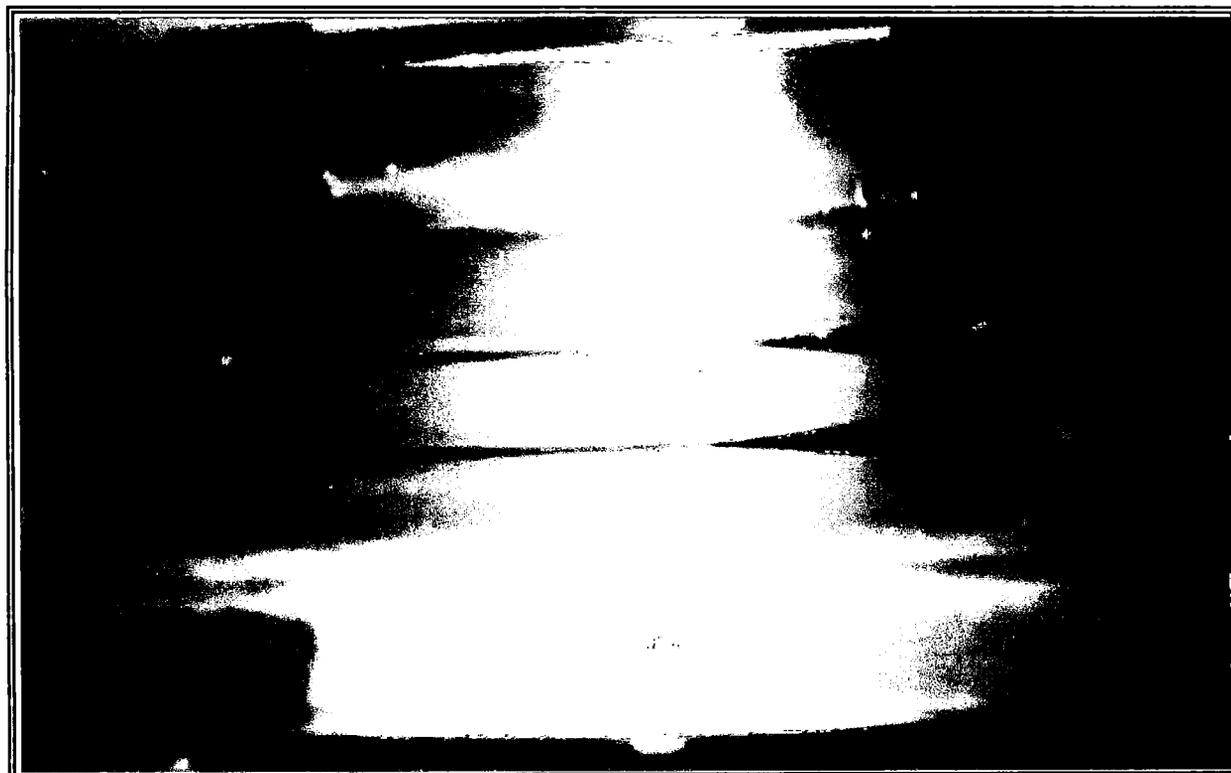
Ensayo de Penetración. Se deja caer una carga de 100 g durante 5 seg y luego se lee la longitud que penetró la aguja en unidades de 0.1 mm.



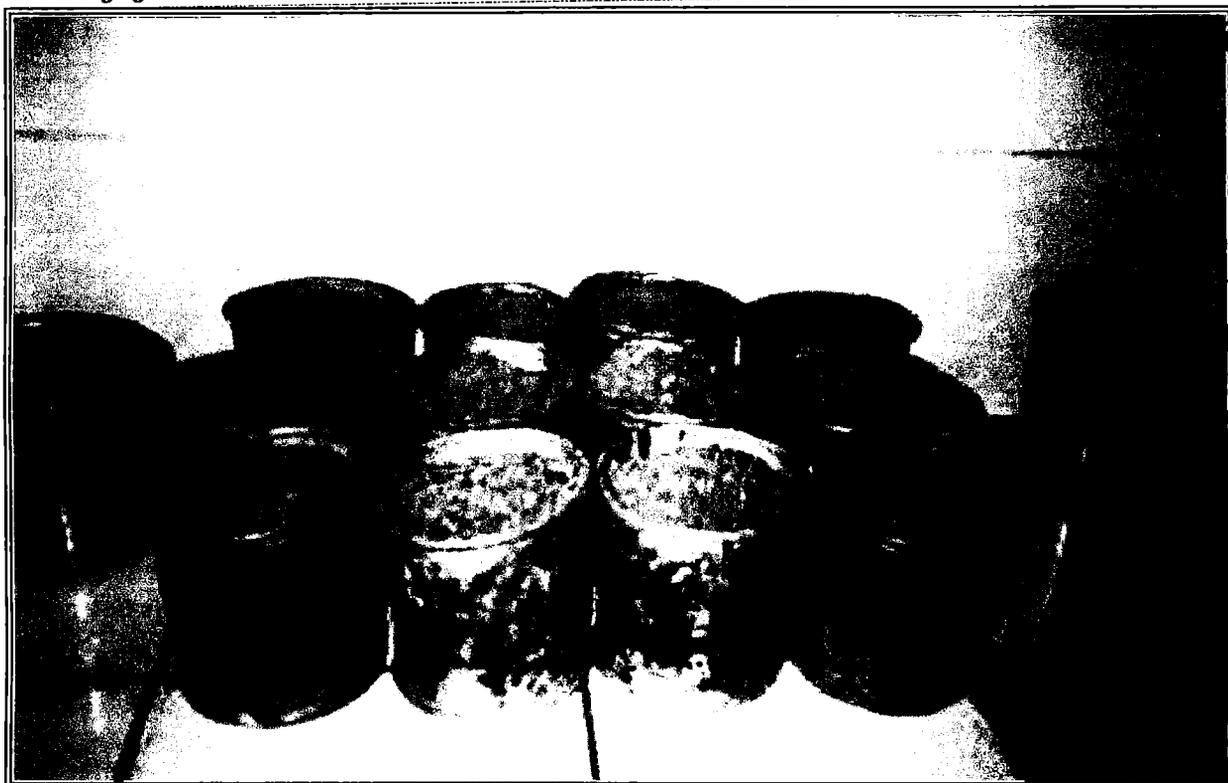
Chancado de grava de la Gloria para producir material más fino.



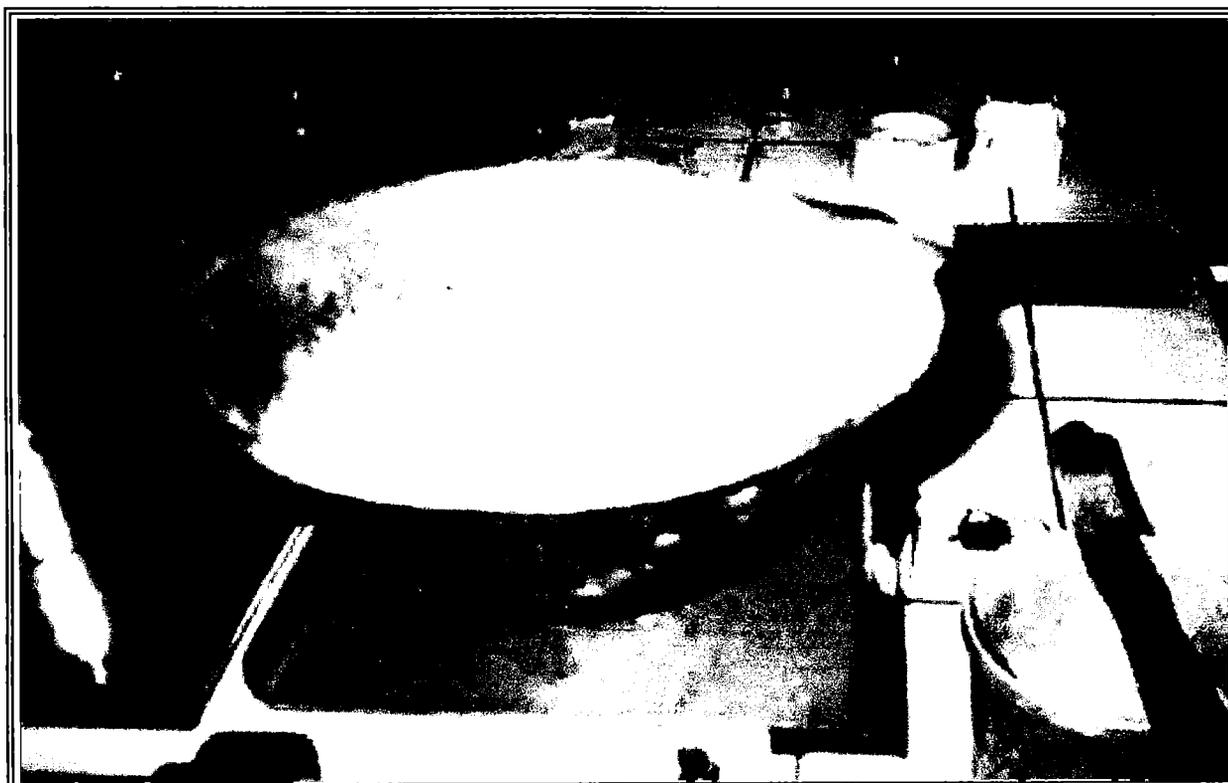
Preparación de muestras para los ensayos de ductilidad y penetración, debidamente identificados.



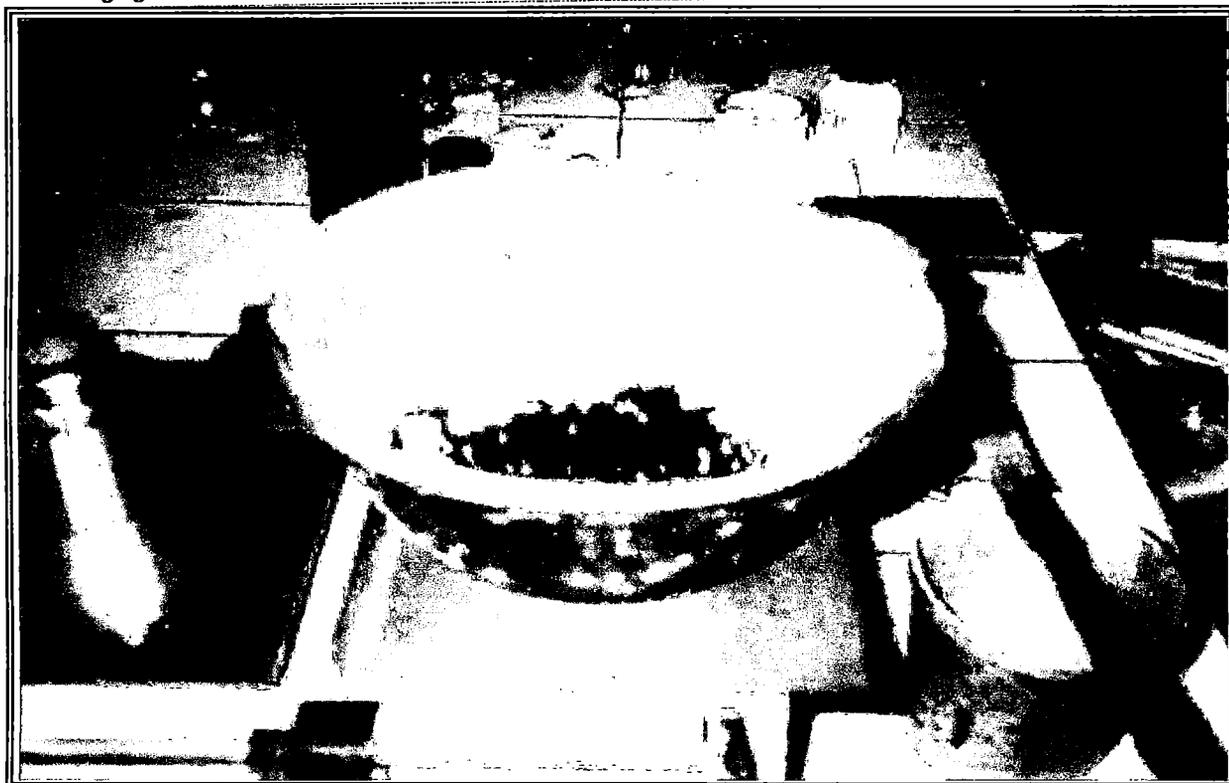
Ensayo de Ductilidad, donde la muestra ensayada se separa a una velocidad de 5 cm/min hasta que se rompa.



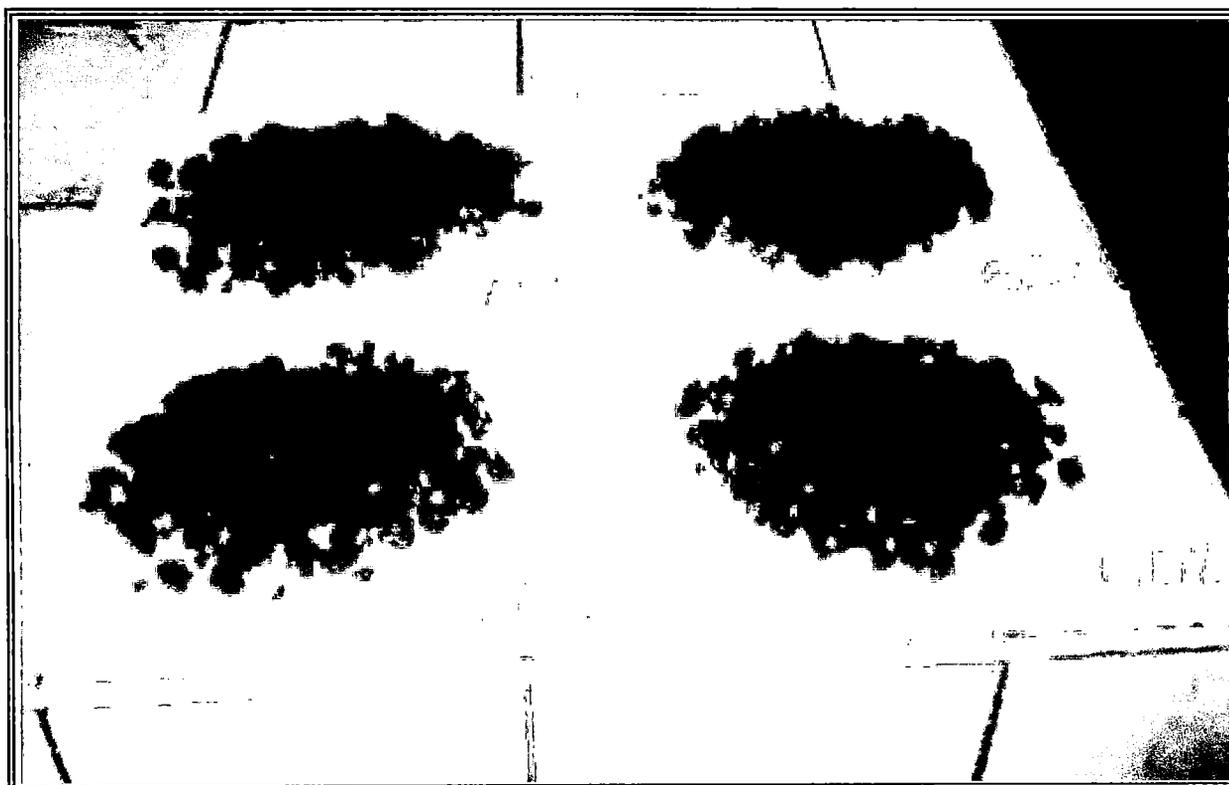
Preparación de las muestras según el diseño de mezcla, para luego ser colocadas al horno a una temperatura de 140°C.



Como la muestra preparada contiene una humedad natural, debe pesarse antes de ser mezclado para adicionar o eliminar material hasta llegar al peso de 1160 g.



Se añade la cantidad de asfalto especificado según el diseño, teniendo mucho cuidado de no calentar demasiado el cemento asfáltico.



Según los porcentajes de asfalto diseñados, se prepara un muestra de cada una de ellas para el ensayo rice.



Ensayo Rice. Se coloca la muestra, se llena de agua y luego se elimina todo el aire con ayuda de una bomba. Se pesa y se obtiene el máximo peso específico.



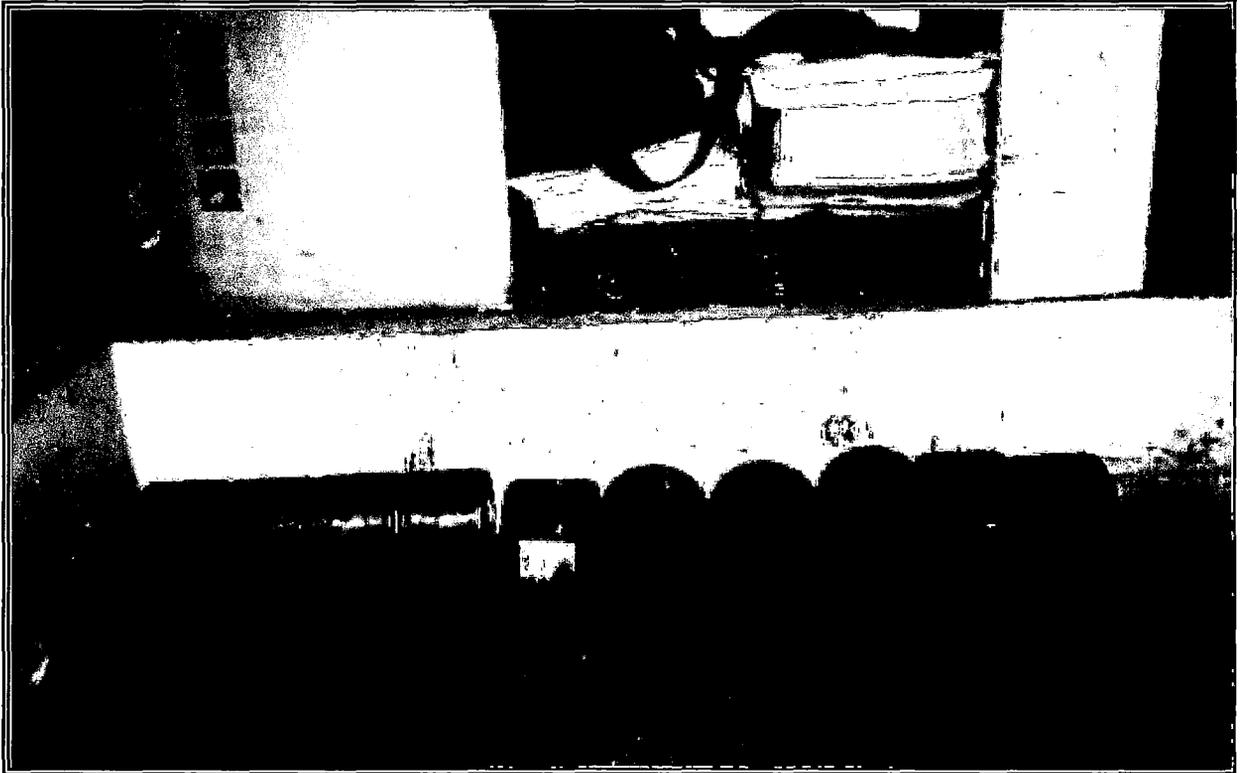
Se mezcla bien el agregado con el asfalto, tratando que esté bien recubierto, y se observe una mezcla homogénea



Rápidamente se coloca la mezcla en el molde de compactación previamente calentado.



Con ayuda del sujetador colocado al pedestal de compactación se aplica los 75 golpes en la primera cara, para luego voltearlo y aplicar igualmente en la otra cara.



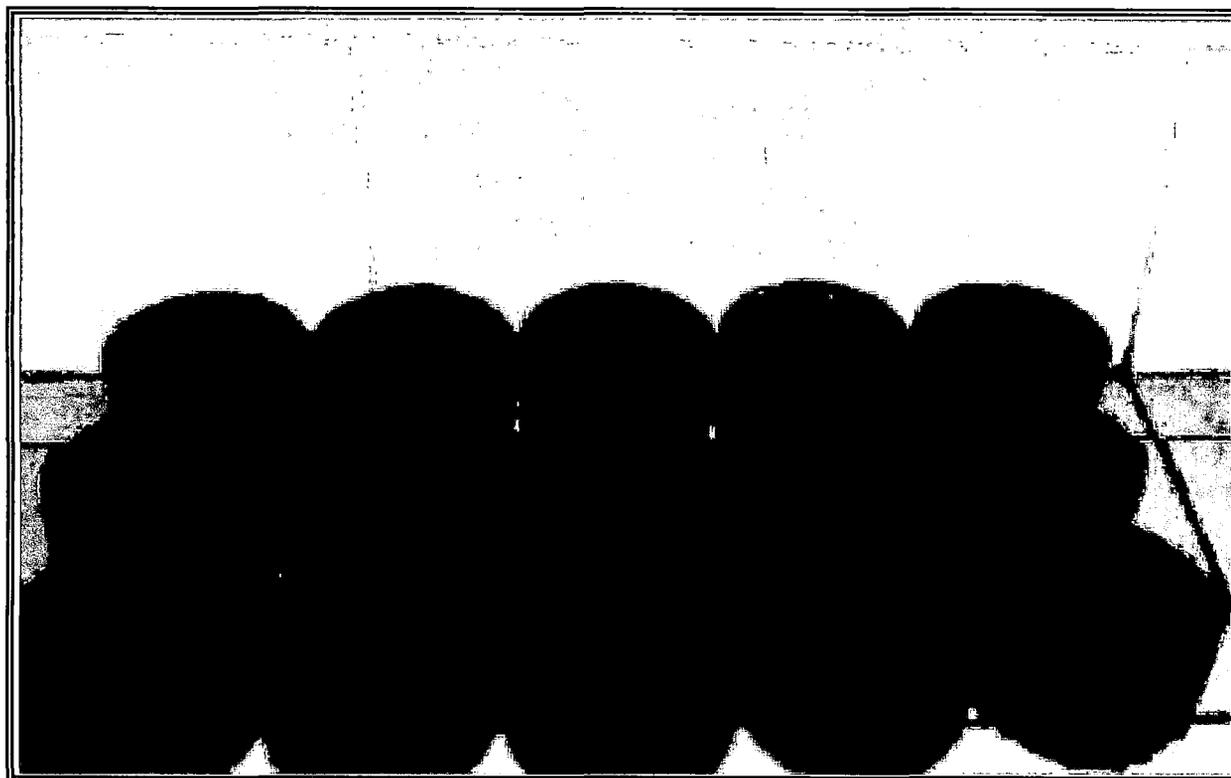
Las probetas recién compactadas deben ser enfriadas a temperatura ambiente antes de ser desmoldadas.



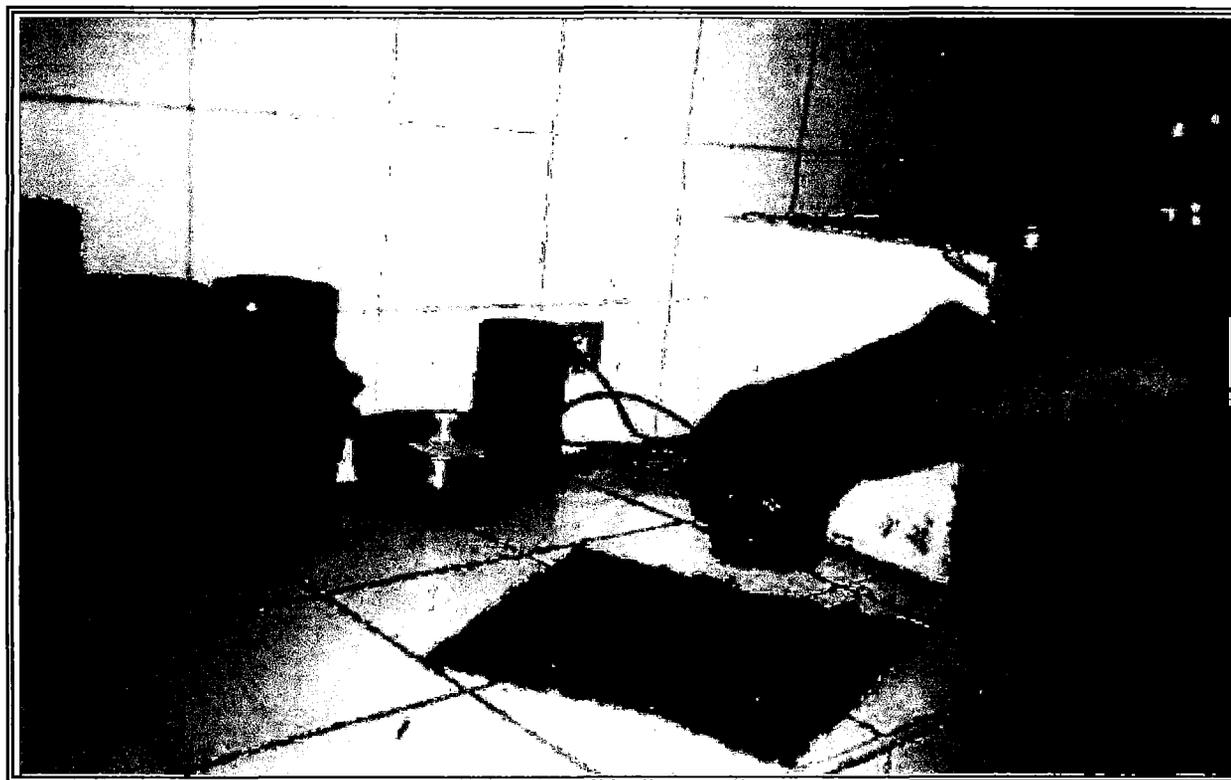
Se limpia la superficie de las probetas y se enumera. Luego son pesadas antes de ser parafinadas.



Luego de enfriarse las muestras, se desmolda cuidadosamente con ayuda del equipo mostrado.



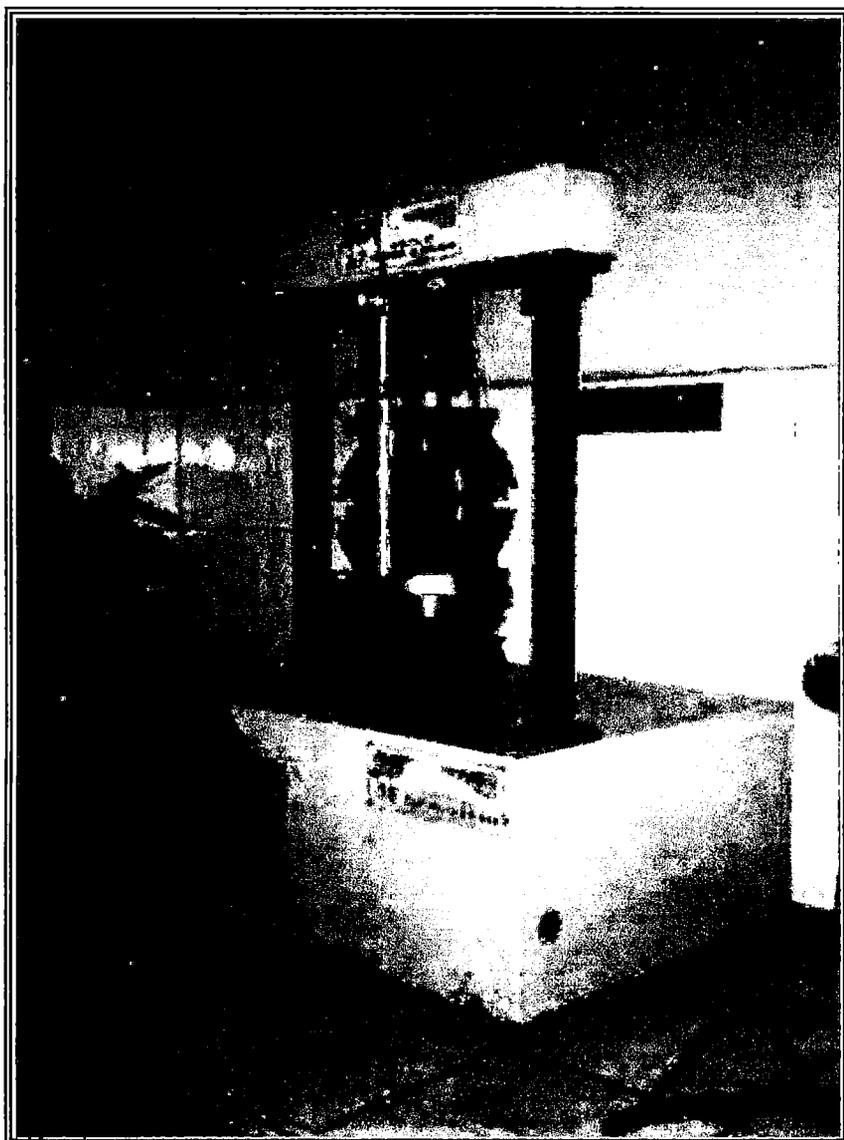
Las probetas luego de ser pesadas y parafinadas, se pesan nuevamente. Luego se pesa las probetas sumergidas en el agua.



Las probetas se colocan en baño maría durante media hora a una temperatura de 60°C, para luego ser ensayadas en el equipo marshall.



Colocación de la probeta en la mordaza inferior, luego se inserta la mordaza superior para llevarlo a la máquina de ensayo.



Ensayo de Estabilidad y Fluencia Marshall. La carga se aplica a una velocidad de 2"/min hasta producirse la falla.



La probeta fallada sufre una deformación en su altura debido a la carga ejercida.