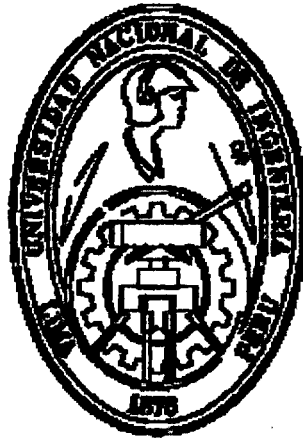


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON
CAUCHO: "CAUCHO ASFALTO"**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

SERGIO ENRIQUE QUISPE ESPINOZA

LIMA – PERÚ

Digitalizado por:

2006

M.Sc. Abel Ordóñez Huamán, Ex Jefe Laboratorio N° 2 Mecánica de Suelos y Pavimentos FIC-UNI, Docente e Investigador UNI; por ser más que un asesor, un amigo, valor fundamental por su gran aporte en el presente trabajo.

Ing. Silene A. Minaya Gonzáles, por el apoyo fundamental con información de su experiencia con el ensayo de módulo dinámico.

Ph.D. Andrés Sotil Chávez, Ex – Investigador de la Arizona State University - ASU y amigo personal; por su apoyo incondicional con material bibliográfico, físico y asesoría técnica de su experiencia con esta tecnología desarrollada en dicha casa de estudios.

MSCE, MSGE, Ph.D. Mario A. Candia Gallegos, por la transmisión de sus conocimientos como Ingeniero Especialista en Suelos y Pavimentos, Ejecutor y Supervisor de diversos proyectos viales en el país y por su espíritu de docente.

Bach. Ana Karina Vilchez, Téc. Javier Garay y Andrés Ballón, por su participación directa de la Primera Etapa Experimental del estudio y por la contribución de su experiencia y asesoría en laboratorio.

CESEL INGENIEROS, por el apoyo de las instalaciones y equipo de laboratorio de la Etapa I del estudio.

Índice

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción	017
1.2. Objetivo del estudio	020
1.3. Alcances del estudio	020

CAPÍTULO II : GENERALIDADES

2.1. Características deseables de los pavimentos	021
2.2. El caucho	021
2.3. Granos de Caucho Modificador GCM	022
2.3.1. Obtención del caucho modificador	024
2.3.2. Ciclo de obtención del caucho modificador	025
2.3.2.1. Recolección y transporte	025
2.3.2.2. Fraccionamiento, separación y almacenamiento	026
2.3.3. Métodos de obtención	028
2.3.4. Equipos de procesamiento	029
2.3.5. Tipos de GCM	030
2.4. El ligante asfáltico	031
2.4.1. Comportamiento de los ligantes asfálticos	031
2.4.1.1. Comportamiento a temperaturas altas	034
2.4.1.2. Comportamiento a temperaturas bajas	035
2.4.1.3. Comportamiento a temperaturas intermedias	035
2.4.2. Clasificación de ligantes asfálticos	035
2.4.2.1. Clasificación por penetración	036
2.4.2.2. Clasificación por viscosidad	037
2.4.2.3. Clasificación por desempeño	037
2.4.3. Evaluación del ligante asfáltico	039
2.5. El agregado mineral para mezclas asfálticas	041
2.5.1. Gradaciones del agregado mineral	044

2.5.1.1.	Agregado de gradación densa (<i>dense – graded</i>)	045
2.5.1.2.	Agregado de gradación abierta (<i>open – graded</i>)	046
2.5.1.3.	Agregado de gradación incompleta (<i>gap – graded</i>)	047
2.6.	Definición de mezcla asfáltica en caliente	048
2.6.1.	Tipos de mezclas asfálticas	048
2.6.1.1.	Mezclas Asfálticas de Gradación Densa (<i>Dense – Graded</i>)	049
2.6.1.2.	Mezclas Asfálticas de Gradación Abierta (<i>Open – Graded</i>)	050
2.6.1.3.	Mezclas Asfálticas de Gradación Incompleta (<i>Gap – Graded</i>)	051
2.6.1.4.		
2.7.	Comportamiento de Mezclas Asfálticas	052
2.7.1.	Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas	052
2.7.1.1.	Módulo Complejo Dinámico	052

CAPÍTULO III : MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”

3.1.	Definición del Caucho Asfalto	057
3.2.	Breve reseña histórica del Caucho Asfalto	057
3.3.	Tipos de Procesos	061
3.3.1.	Proceso Húmedo (<i>Wet Process</i>)	062
3.3.2.	Proceso Seco (<i>Dry Process</i>)	065
3.3.3.	Diferencias entre los procesos	067
3.4.	Ventajas del Caucho Asfalto	068
3.4.1.	Ventajas Estructurales y Serviciales	069
3.4.2.	Ventajas Ambientales	070
3.4.3.	Ventajas Económicas	070
3.4.4.	Reciclabilidad	071
3.5.	Limitaciones del Caucho Asfalto	071

3.6. Consideraciones Ambientales y Sociales	073
3.6.1. Problemas y preocupaciones	074

CAPÍTULO IV : DISEÑO Y APLICACIONES

4.1. Diseño del Ligante Caucho Asfalto	077
4.1.1. Especificaciones de diseño	077
4.1.1.1. Grano de Caucho Modificador	077
4.1.1.2. Cemento asfáltico	080
4.1.2. Consideraciones de diseño	082
4.1.3. Criterios y procedimiento de diseño	083
4.2. Aplicaciones del ligante Caucho Asfalto	087
4.2.1. Mezclas en caliente (HMA)	088
4.2.2. Mezclas en caliente de Gradación Incompleta	089
4.2.3. Mezclas en caliente de Gradación Abierta	092
4.3. Aplicaciones de riego Caucho Asfalto	095
4.3.1. Sello de agregados (SAMs)	095
4.3.2. Membrana Intercapas Absorbente de Esfuerzos Caucho Asfalto (SAMI-R)	099

CAPÍTULO V : PRUEBAS Y RESULTADOS DE EXPERIENCIAS EN OTROS PAÍSES

5.1. Experiencias diversas	101
5.2. Experiencia chilena	103
5.2.1. Materiales empleados	104
5.2.2. Dosificación del ligante	104
5.2.3. Evaluación del comportamiento en laboratorio	105
5.2.4. Conclusiones de la experiencia Chilena	106

**CAPÍTULO VI : EVALUACIÓN EN LABORATORIO DEL
DESEMPEÑO DE LA MEZCLA CAUCHO
ASFALTO**

6.1. Introducción	108
6.2. Breve descripción del Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape	109
6.2.1. Estudio de Canteras	110
6.3. Materiales empleados	112
6.3.1. Agregado Mineral	112
6.3.2. Cemento Asfáltico	114
6.3.3. Filler y Aditivos	115
6.3.4. Caucho Molido Modificador (GCM – Granos de Caucho Modificador)	116
6.4. Programa Experimental	117
6.4.1. Etapa I: Evaluación de Componentes y Diseño de Mezclas	118
6.4.2. Revisión de las características del Proyecto	119
6.4.3. Revisión del grado de aplicabilidad del estudio en el Proyecto	123
6.4.4. Revisión del Diseño de Mezcla del Proyecto	124
6.4.4.1. Dosificación obtenida del Diseño de Mezcla	128
6.4.5. Diseño de Mezcla MAC-02-AR y MAC-02-AR-01	129
6.4.6. Ensayos propuestos para evaluar la mezcla asfáltica	131
6.4.7. Consideraciones para el Diseño de Mezcla MAC-02-AR y MAC-02-AR-01	132
6.4.8. Análisis del Diseño de Mezclas MAC-02-AR y MAC-02-AR-01	136
6.4.9. Diseño de Mezcla MAC-AR-GG	140
6.4.10. Etapa II: Ensayos de Compresión Edométrica	143
6.4.11. Ensayo propuesto para evaluar la mezcla convencional y modificada	143
6.4.11.1. Compresión edométrica	144
6.4.11.2. Evaluación comparativa mediante ensayos de	145

Compresión Edométrica

CAPÍTULO VII : ANÁLISIS DE COSTO DE LA MEZCLA CAUCHO ASFALTO

7.1. Introducción	150
7.2. Costo de la mezcla caucho asfalto	150
7.3. Análisis comparativo de Costos	153

CAPÍTULO VIII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Metodologías de Diseño	160
8.2. Puntos por corregir para futuras investigaciones	162
8.3. Aplicación de la mezcla Caucho Asfalto	162
8.4. Futura implementación de la Tecnología	163
8.5. Recomendaciones para su implementación	164

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

ANEXO A	:	CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO B	:	CERTIFICADOS DE EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS
ANEXO C	:	NORMAS Y ESPECIFICACIONES
ANEXO D	:	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
ANEXO E	:	CÁLCULOS

Índice

Tabla 2.4.1	Equipos para los ensayos Superpave	040
Tabla 2.6.1	Tipos de Mezclas Asfálticas en Caliente	049
Tabla 4.1.1	(a) Típica Gradación de Caucho molido modificador. Tipo 1	078
Tabla 4.1.1	(b) Típica Gradación de Caucho molido modificador. Tipo 2	079
Tabla 4.1.3	Datos de diseño en laboratorio de ligante Caucho Asfalto	083
Tabla 4.1.4	Especificaciones Estándar para ligantes Caucho Asfalto	085
Tabla 4.1.5	Temperaturas de mezclado y compactación típicas de laboratorio para distintos tipos de mezcla	086
Tabla 4.1.6	Contenidos típicos de ligante	087
Tabla 4.2.1	Tasas de aplicación para sellos de agregados caucho asfalto	098
Tabla 6.2.1	Propiedades del material de la Cantera Tres Tomas	111
Tabla 6.3.1	Especificaciones de gradación para la mezcla convencional tipo MAC-02	113
Tabla 6.3.2	Características del cemento asfáltico PEN 60-70	114
Tabla 6.3.3	Características del filler mineral y del aditivo mejorador de adherencia	115
Tabla 6.4.1	Especificaciones de la Mezcla Asfáltica	120
Tabla 6.4.2	Especificaciones de las características físico – mecánicas de los agregados	121
Tabla 6.4.3	Especificaciones granulométricas del material de relleno mineral	121
Tabla 6.4.4	Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración	122
Tabla 6.4.5	Características del Proyecto	123
Tabla 6.4.6	Combinación de agregados de la mezcla convencional (% que pasa)	125

Tabla 6.4.7	Resumen de las características físico – mecánicas de la combinación de agregados grueso y fino	126
Tabla 6.4.8	Resumen de las características de la Mezcla Asfáltica Convencional, diseño de obra MAC-02	127
Tabla 6.4.9	Dosificación de los componentes de la mezcla asfáltica convencional	128
Tabla 6.4.10	Gradación densa convencional usada para los diseños MAC-02-AR y MAC-02-AR-01	129
Tabla 6.4.11	Gradación del Caucho Molido Modificador (GCM)	129
Tabla 6.4.12	Gradación del Caucho Molido Modificador (GCM). Tipo II	132
Tabla 6.4.13	Consideraciones para la mezcla (reacción) cemento asfáltico – caucho	133
Tabla 6.4.14	Ensayo de penetración sobre el ligante modificado caucho – asfalto	134
Tabla 6.4.15	Resumen de las características de la Mezcla Asfáltica Modificada, diseño MAC-02-AR-01	138
Tabla 6.4.16	Comparación de características de los diseños MAC-02 y MAC-02-AR-01	139
Tabla 6.4.17	Especificaciones para la Gradación Incompleta (gap - graded), según Caltrans Standard Special Provisions for Asphalt Rubber – SSP 39-400-A03-15-00	141
Tabla 6.4.18	Combinación de agregados para la mezcla de gradación incompleta (% que pasa)	142
Tabla 6.4.19	Resumen de las características físico – mecánicas de la combinación de agregados grueso y fino (Gradación Incompleta)	143
Tabla 6.4.20	Resultados del ensayo de compresión edométrica: 60 °C, 10 kg/cm ²	147
Tabla 6.4.21	Resultados del ensayo de compresión edométrica: 0 °C, 10 kg/cm ²	148
Tabla 6.4.22	Deformación recuperable a 60 °C y a 0 °C, para ambos tipos de mezcla	149
Tabla 7.3.1	Análisis de Precio Unitario de la Carpeta Asfáltica en	154

	Caliente	
Tabla 7.3.2	Análisis de Precio Unitario de la Preparación de Mezcla Asfáltica	155
Tabla.7.3.3	Análisis de Precio Unitario del Cemento Asfáltico	156
Tabla 7.3.4	Análisis de Precio Unitario del Relleno Mineral	156
Tabla 7.3.5	Análisis de Precio Unitario del Aditivo mejorador de adherencia	157
Tabla 7.3.6	Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica convencional	158
Tabla 7.3.7	Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica modificada	158

Figuras

Figura 2.4.1	Dependencia tiempo – temperatura del cemento asfáltico	032
Figura 2.4.2	Comportamiento visco-elástico del cemento asfáltico	033
Figura 2.4.3	Características del flujo de líquidos	034
Figura 2.4.4	Ensayos Superpave relacionados con el comportamiento del ligante en campo	041
Figura 2.5.1	Esqueleto pétreo del agregado	042
Figura 2.5.2	Comportamiento del agregado ante las cargas de corte	043
Figura 2.5.3	Características de textura de la superficie de rodadura	044
Figura 2.5.4	Gradación Densa (dense – graded)	046
Figura 2.5.5	Gradación Abierta (open – graded)	047
Figura 2.5.6	Gradación Incompleta (gap – graded)	048
Figura 2.7.1	Modelo de Kelvin sometido a una carga sinusoidal	053
Figura 2.7.2	Desfase entre la deformación y el esfuerzo	054
Figura 3.3.1	Tipos de procesos	061
Figura 3.3.2	(a) Proceso Húmedo. Partícula de caucho antes de reaccionar	063
Figura 3.3.2	(b) Proceso Húmedo. Partícula de caucho después de reaccionar	063
Figura 3.3.2	(c) Proceso Húmedo. Etapas de la reacción entre asfalto y caucho	063
Figura 3.3.3	Esquema de procesos de producción del proceso húmedo (caucho asfalto)	064
Figura 3.3.4	Esquema de procesos de producción del proceso seco	066
Figura 4.1.1	(a) Huso granulométrico para la gradación tipo I (según Caltrans)	079
Figura 4.1.1	(b) Huso granulométrico para la gradación tipo II (según Caltrans)	080
Figura 4.2.1	Típica sobrecapa GGAR	090
Figura 4.2.2	Sistema Tres capas	091
Figura 4.2.3	Membrana Absorbente de Esfuerzos (SAM)	096

Figura 6.3.1	Gradación del Caucho Molido Modificador (GCM)	116
Figura 6.3.2	(a) Etapas del Programa Experimental. Etapa I	118
Figura 6.3.2	(b) Etapas del Programa Experimental. Etapa II	119
Figura 6.4.1	Huso granulométrico de especificación y huso de trabajo	125
Figura 6.4.2	Esquema de compresión diametral con prensa y mordaza Marshall	131
Figura 6.4.3	Carta de Viscosidad – Temperatura para los ligantes modificado y convencional	136
Figura 6.4.4	Huso granulométrico (gap – graded) según SSP 39-400-A03-15-00	141
Figura 6.4.5	Ensayo de compresión edométrica con equipo CBR	145
Figura 7.2.1	Metodología LCCA. Periodo de diseño para la alternativa de diseño del pavimento	152
Figura 7.2.2	Metodología LCCA. Curvas de desempeño para dos Estrategias de mantenimiento y rehabilitación	152
Figura 7.2.3	Costos de Mantenimiento de la Agencia de Transportes de Arizona EE.UU. Sobrecapa convencional comparado con una mezcla caucho asfalto	153

Índice

Imagen 2.3.1	Neumáticos desechados.	026
Imagen 2.3.2	Etapas del fraccionamiento de los neumáticos.	027
Imagen 2.3.3	Separación de sus componentes.	027
Imagen 2.3.4	Producto final: Granos de Caucho Modificador (GCM).	028
Imagen 2.3.5	Almacenamiento del producto final.	028
Imagen 4.2.1	Pavimento con drenaje libre (Mezcla caucho asfalto de gradación abierta), próximo a un pavimento de mezcla asfáltica convencional.	094
Imagen 6.2.1	Cantera Tres Tomas, km. 21+620 L.I.	111
Imagen 6.3.1	Stock de agregados en planta para la producción de mezcla asfáltica.	113
Imagen 6.3.2	Trozos de neumático desechado y Granos de Caucho Modificador (GCM)	117
Imagen 6.4.1	Mallas y muestra para el análisis granulométrico del Caucho Molido Modificador (GCM)	130
Imagen 6.4.2	Muestreo de cemento asfáltico del tanque de almacenamiento de la planta industrial de asfalto (Pátapo – Chiclayo)	133
Imagen 6.4.3	Ensayo de penetración en el ligante modificado Caucho Asfalto	135

RESUMEN

El desempeño actual de los pavimentos de nuestra Red Vial Nacional presenta deficiencias, tales como envejecimiento prematuro, fallas estructurales y otras. Muchos de estos problemas se deben al escaso conocimiento del comportamiento de los pavimentos durante su etapa de servicio, problemas de materiales y deficientes procesos constructivos. La inclusión de ligantes y mezclas asfálticas modificadas buscan mejorar dicho desempeño, incrementando el tiempo de vida y disminuyendo el costo de mantenimiento de las vías pavimentadas.

La inclusión de polímeros y otras tecnologías buscan modificar las mezclas asfálticas y disminuir la susceptibilidad térmica mejorando su desempeño en un rango más amplio de temperaturas críticas.

El caucho reciclado de neumáticos es aprovechado e incluido en las mezclas asfálticas en dos procesos, seco y húmedo, tales tecnologías se remontan en el mundo 50 años atrás desarrollándose con mayor factibilidad técnica y económica en los últimos años. En los países vecinos al nuestro, como Brasil, Argentina y Chile se han investigado e incursionado en esta nueva tecnología, detectando un beneficio claro en el uso del caucho reciclado, a tal escala que las han incluido en proyectos de pistas de prueba en vías importantes.

En nuestro medio aún no se ha prestado la atención debida a esta tecnología. La presente investigación tuvo por finalidad evaluar en laboratorio el comportamiento de tal mezcla, se incluyeron conceptos mecanísticos y se realizó un análisis comparativo a través de ensayos de compresión edométrica. A través de este análisis se determinó que las mezclas modificadas presentan mayores módulos dinámicos a 0 y 60 °C. Tal beneficio debe ser ratificado en campo a través del monitoreo del desempeño de pistas de prueba a fin de cuantificar la magnitud de dicho beneficio.

ABSTRACT

The current performance of the National Highway Systems pavements shows deficiencies, such as premature aging, structural and other types of distresses. Many of these problems are due to the poor knowledge of pavements behavior during its service life, material problems, and deficient constructive processes. The addition of modified binders and asphalt mixtures seek to improve the aforementioned performance, increasing the service life and diminishing the maintenance cost of pavement structures.

The addition of polymers and other technologies attempts to modify asphalt mixtures and to diminish its thermal susceptibility, improving the performance in wider range of critical temperatures.

Reclaimed tire rubber is added to asphalt mixtures in two methods, "dry" and "wet". Both technologies dated back to the 1960's, however in the last decade its technical and economical conditions have greatly improved. In neighboring countries, like Brazil, Argentina and Chile, various research projects with this new technology have been made, showing a clear benefit in the use of the reclaimed rubber, to such a scale that they have included them in test tracks projects of main routes.

In Peru, there has not been the appropriate attention to this technology. The present study has the purpose of evaluating these mixes behavior in the laboratory, including mechanistic concepts and performing comparative analysis with conventional mixes with the aid of compression tests. Through this analysis one determined that the modified mixtures present greater dynamic modules at 0 and 60 °C. Such benefit must be ratified in field through the performance of test tracks in order to quantify the magnitude of this benefit.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La infraestructura vial en nuestro país está en proceso de desarrollo, sin embargo cuenta con muchas limitaciones y problemas, los cuales pueden apreciarse al ver muchas de nuestras carreteras, avenidas o calles que muestran deficiencias tempranas en la estructura de sus pavimentos. Uno de dichos problemas radica en el escaso conocimiento del comportamiento dinámico de los pavimentos; problemas de diseño; cuestionable calidad de los asfaltos y su poca disponibilidad para fines de selección; especificaciones de mezcla no óptimas, errores y fallidas consideraciones en la etapa de construcción. Otra gran parte del problema se debe a la deficiencia en el comportamiento mecánico de las mezclas, debido a que no superan las condiciones de trabajo a las que se enfrentan durante su vida de servicio, tales como los efectos de temperatura y condiciones de tráfico, en los cuales se generan esfuerzos de compresión, flexión, tracción, cortante, etc.

En el mundo se vienen investigando y desarrollando nuevas tecnologías en cuanto a mezclas asfálticas se refiere, buscando mejorar las propiedades así como el desempeño de las carpetas asfálticas finales. La finalidad de estas investigaciones es lograr la maximización de su buen desempeño en el transcurso de su vida útil. En tal sentido en los Estados Unidos, conscientes del estado actual de sus pavimentos y de los montos significativos dispuestos para la conservación de su red vial, se destinó una fuerte inversión con la finalidad de implementar un método racional mecanístico de diseño para las mezclas asfálticas en caliente, llegando así a la metodología *Superpave* (*Superior Performance Pavement*). Dicho método de diseño está terminado de implementarse, pero faltan componentes más sofisticados relacionados con el análisis de diseño y modelos de predicción del comportamiento, esto a causa de necesidades de investigación y ajustes adicionales. Los tipos de mezclas

asfálticas usadas varían de acuerdo a su gradación: mezclas de gradación densa (*dense – graded*), mezclas de gradación abierta (*open – graded*) y mezclas de gradación incompleta (*gap – graded*). Cada mezcla se subdivide en clasificaciones ya sea por tamaño de agregado, por el uso que se le da o por su concepción. Dentro de las mezclas de gradación incompleta (*gap – graded*) tenemos a las mezclas *gap graded convencionales* y a las mezclas *SMA Stone Mastic Asphalt* (o a veces llamada *Stone Matrix Asphalt*), desarrollada inicialmente en Alemania por los años sesenta con una propagación exitosa en Europa y también en los Estados Unidos, la cual ha demostrado ser muy ventajosa debido a sus propiedades mejoradas.

La incorporación de caucho a las mezclas asfálticas se remonta a los años 1960, originándose inicialmente en los Estados Unidos y llegando a desarrollarse a mayor escala en los últimos años incluso en muchos países del mundo. Esta incorporación ha dado origen a muchos estudios y proyectos con un balance positivo en cuanto a desempeño y economía se refiere; lo cual no excluye los fracasos generados, los cuales se debieron casi en su totalidad a la falta de experiencia por tratarse de una nueva tecnología, en esos momentos recién explorada. Dicha tecnología, la cual está siendo mejorada y perfeccionada, se basa en la adición de partículas de caucho, las cuales pueden o no reaccionar con el asfalto dependiendo del proceso a emplearse (*proceso húmedo* o *proceso seco*). Se presenta así una nueva alternativa de solución a los problemas antes mencionados; esta mezcla modificada, en uno de sus procesos, toma el nombre de *Caucho Asfalto*. El *Caucho Asfalto*, también llamado “*proceso húmedo*” es el proceso que mayores y mejores resultados ha dado en el transcurso de las experiencias (mayormente en los Estados Unidos), por lo cual debe prestársele mayor atención por el momento, sin descuidar ni dejar de lado los otros procesos, ya que otros métodos como el *proceso seco* que si bien es cierto que han sido poco factibles deben seguir estudiándose por su potencial ante futuros desarrollos y mejoramientos.

En los EEUU así como en otros países donde esta tecnología se viene desarrollando se aprovecha el hecho de que los neumáticos usados y desechados se acopian en botaderos para luego quemarlos, muchas veces

indiscriminadamente, contaminando el medio ambiente, y muchas veces formando parte de uno de los más graves problemas ambientales de la sociedad moderna: los *desechos sólidos*; dichos neumáticos desechados son aprovechados reciclando el caucho que estos contienen, mediante un proceso por el cual se separa el material que luego de ser triturado y procesado queda listo para formar parte del *Caucho Asfalto*. Esta viene a ser una de las grandes ventajas que nos entrega esta nueva tecnología, ayudando a preservar el tan maltratado medio ambiente mundial. Otra de las ventajas que ha mostrado a lo largo de su desarrollo es el mejor desempeño estructural, mejorando sus propiedades. Cabe mencionar también el buen potencial que tiene esta mezcla para prevenir grietas por reflexión, mayor resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas y deformaciones permanentes. Otra Ventaja es la disminución del ruido que ha sido demostrado con estudios dirigidos por la Arizona State University (ASU) y Arizona Department of Transportation (ADOT), así como por Caltrans (Departamento de Transportación de California); entidades de los EEUU, podría decirse pioneras en esta nueva tecnología.

Una de las limitaciones que presenta el caucho asfalto son los altos costos unitarios iniciales, los cuales se podrían revertir cuando se habla de inversión a largo plazo, en cuestión de mantenimiento y rehabilitación.

La tendencia actual de la filosofía de diseño de pavimentos, tal como sucede en los Estados Unidos, es la incorporación de métodos mecanísticos como ya fue mencionado, para lo cual en nuestro país donde tenemos diversas condiciones debemos dejar atrás la utilización de métodos empíricos y trabajar en la incorporación de los métodos mecanísticos, los cuales están más cercanos a la realidad y al comportamiento verdadero de los pavimentos. Actualmente la tendencia mundial sobre el *caucho asfalto* está en la investigación y desarrollo, tanto en Estados Unidos, Europa y África, incluyendo a países de América del Sur como Brasil, Chile y Argentina, de modo que cada vez más, crece el interés por esta nueva tecnología, a la cual nuestro país tampoco debe ser ajeno.

1.2 Objetivo del estudio

Introducimos en la filosofía de diseño con conceptos mecanísticos, dejando de lado los métodos empíricos.

Estudiar un nuevo tipo de mezcla asfáltica basada en la adición de partículas de caucho, llamada *Caucho Asfalto*. Asimismo mostrar sus propiedades, especificaciones, usos, consideraciones generales, etc., además de mostrar las ventajas estructurales, económicas, sociales y ambientales, que han sido encontradas a través de investigaciones en otros países.

Verificar y estudiar en laboratorio y bajo condiciones locales el comportamiento mecánico de esta nueva alternativa de mezcla asfáltica; así también comprobar y correlacionar las ventajas que se han demostrado mediante experiencias de otros países al usar esta nueva tecnología.

1.3 Alcances del estudio

El estudio abarca la introducción a las consideraciones de los métodos mecanísticos (*Superpave*), el marco teórico del *caucho asfalto*, y su desarrollo y evolución a través del tiempo y en los distintos países donde se ha aplicado. También sus consideraciones de diseño y construcción. Parte importante a cubrir es también la evaluación del comportamiento mecánico de esta mezcla, para comprobar y correlacionar las ventajas y limitaciones que ha mostrado hasta ahora en experiencias extranjeras, no necesariamente empleando la misma metodología. Se llegará a conclusiones sobre el uso de esta nueva tecnología así como su factibilidad técnica. Se darán algunas recomendaciones para su futuro posible desarrollo en nuestro medio.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Características deseables de los pavimentos

La calidad de los pavimentos se mide por su desempeño funcional durante su vida de servicio, durante la cual deben cumplir con requisitos que satisfagan a los usuarios de dichos pavimentos. Para que estos cumplan de manera óptima su función deben poseer las siguientes características:

- *Suavidad*; pavimentos con un recorrido tranquilo, con un nivel aceptable de comodidad experimentado por los ocupantes dentro de un vehículo cuando se transita el pavimento (*quality ride*).
- *Durabilidad*; deben resistir los efectos perjudiciales del tráfico y del clima para la vida de servicio esperada.
- *Seguridad*; deben ofrecer buena resistencia al deslizamiento, no tener defectos superficiales, proporcionar buen contraste para caminos marcados, etc.
- *Estética*; deben tener un buen aspecto superficial. Los parches y otras irregularidades en la superficie indican que el pavimento no es duradero y a menudo causan problemas de aspereza y seguridad.

2.2 El caucho

El caucho es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza.

El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro. Entre 0 °C y 10 °C es frágil y opaco, y por encima de 20 °C se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de 50 °C, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de 200 °C o superiores se descompone. El caucho puro es insoluble en agua, álcali o ácidos débiles, y soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y disulfuro de carbono. Con agentes oxidantes químicos se oxida rápidamente, pero con el oxígeno de la atmósfera lo hace lentamente.

2.3 Granos de Caucho Modificador GCM

Llamaremos Granos de Caucho Modificador GCM (*Crumb Rubber Modifier – CRM*) al caucho de tamaño reducido, obtenido de neumáticos desechados y usados como modificadores en materiales de pavimentación asfáltica.

Muchas de las características del GCM pueden influenciar en las propiedades del ligante modificado y por consiguiente de la mezcla. Investigaciones previas han reportado sobre los efectos de la cantidad de caucho en la mezcla y la distribución del tamaño de partícula (gradación). Los efectos adicionales que fueron detectados y reportados incluyen:

- Cantidad de caucho en la mezcla.
- Gradación.
- Área superficial.
- Proceso de molienda.
- Composición química.
- Contaminantes tales como agua, fibra, mineral, o metal.

Cantidades de GCM; la cantidad de GCM añadido al cemento asfáltico influenciará en las propiedades de la mezcla. Cantidades más altas proporcionaron mayores cambios en las propiedades. Generalmente, cuando se aumenta el contenido de caucho la viscosidad del material a 177 °C (350 °F)

aumenta, la resiliencia aumenta, el punto de ablandamiento aumenta y la penetración a 25 °C disminuye.

Gradación del GCM; la distribución del tamaño de partícula del GCM ha demostrado previamente influenciar en las propiedades físicas del asfalto y de las mezclas modificadas. Generalmente, las diferencias pequeñas en los tamaños de partícula no afectan significativamente las propiedades de la mezcla, son las diferencias grandes en la gradación del GCM las que pueden producir un efecto significativo en sus propiedades; debido a esto es recomendable no tener diferencias grandes en la gradación del GCM. Los materiales clasificados más finos de GCM experimentarán un hinchamiento más rápido, debido a su área superficial aumentada, y producirán generalmente viscosidades más altas que aquellos GCM con tamaños de partícula más grandes. Además, el tamaño de partícula muy pequeño del GCM tenderá a experimentar más rápidamente la reducción de la viscosidad con el almacenaje debido a su más rápido y minucioso hinchamiento y des-polimerización subsiguiente.

Área Superficial del GCM; el área superficial del GCM puede influenciar en las propiedades físicas. De alguna manera, esto es similar a la gradación; sin embargo, las diferencias del área superficial pueden existir incluso para GCM con gradaciones similares.

Proceso de molienda del GCM; el proceso de producción de GCM puede influenciar en las propiedades físicas de forma y de área superficial de las partículas de caucho. Además, la reducción de tamaño a temperatura ambiente da lugar a partículas trituradas con superficies ásperas, mientras que la reducción criogénica (*ver sección 2.3.3*) de tamaño da lugar a superficies vidriosas más lisas.

Composición Química del GCM; los neumáticos se componen de varios tipos distintos de compuestos de caucho. Las variaciones principales están en el contenido de caucho sintético, contenido de caucho natural, contenido total de hidrocarburo de caucho, y extractos de acetona. El contenido de ceniza y negro de carbón es típicamente similar para los compuestos de caucho de diversos

neumáticos. El efecto compositivo principal del GCM sobre las propiedades físicas del caucho asfalto (*Asphalt Rubber – AR*) es el contenido total de hidrocarburo de caucho en el caucho con efectos adicionales del contenido de caucho natural. Al usar el GCM, es importante comprender que el caucho de neumáticos está compuesto típicamente de polímero de caucho natural, en un 50% de su totalidad, el cual se hinchará en el asfalto. Los otros ingredientes principales (negro de carbón, cenizas, aceites) no se hinchan cuando se agregan al ligante caliente de cemento asfáltico. Por lo tanto, el contenido de hidrocarburo de caucho se convierte en un factor que se debe considerar durante el proceso del diseño del ligante caucho asfalto. Además, es importante observar que los ajustes de la composición química hechas al GCM mezclándolo con un GCM adicional con una diferente composición pueden no producir los mismos resultados en mezclas que un GCM sin mezclar con la misma composición.

Existen diversas tecnologías que pueden ser usadas para lograr la obtención del caucho modificador.

2.3.1 Obtención del caucho modificador

El uso de neumáticos como una alternativa de fuente de combustible es una opción que ha generado bastante controversia principalmente en países de Europa y en los EE.UU. donde esto es una práctica común. Una de las razones se deriva del alto costo de equipamiento por el continuo monitoreo de la emisión de gases; siendo más factible, el uso del caucho reciclado para incorporarlo en mezclas asfálticas.

El caucho es obtenido de neumáticos desechados y procesados para convertirlo en su producto final. El caucho dentro del neumático predomina en la banda de rodadura y en los flancos laterales, la fracción metálica se encuentra en forma de aros estructurales en la zona de contacto con la llanta: talón, y en forma de alambres metálicos junto a las fibras textiles a la parte interior o carcasa.

Las estimaciones indican que las mezclas de concreto asfáltico con caucho de gradación incompleta (*Rubber Asphalt Concrete Gap – RAC G*) utilizan alrededor de 620 llantas por kilómetro de camino de 25 mm (1”) de espesor de carpeta asfáltica. En otras equivalencias se puede decir que aproximadamente alrededor de 2 llantas son utilizadas por tonelada de RAC G¹.

2.3.2 Ciclo de obtención del caucho modificador

El ciclo de reciclado de neumáticos comprende: la recolección, el transporte, fraccionamiento y separación de sus componentes (caucho, tejido y acero), y finalmente la transformación del desecho en materia prima que eventualmente será comercializado. El caucho pulverizado o granulado puede ser obtenido y usado en diferentes aplicaciones, tales como: mezclas asfálticas, materiales de pista de carrera, superficies de patios, etc.

A continuación se presentan las etapas de una de las variadas formas de procesar los neumáticos desechados para obtener el caucho modificador.

2.3.2.1 Recolección y transporte

Los neumáticos desechados se recolectan de los lugares destinados para su almacenamiento, ya sean depósitos, botaderos, etc., los cuales son la principal fuente de obtención de la materia prima (neumáticos desechados). Muchas veces el destino final de estos neumáticos es la quema indiscriminada, otras veces es el acopio como desechos sólidos generando problemas de contaminación y salud.

¹ State of California Department of Transportation, Asphalt Rubber Usage Guide, January 2003



Imagen 2.3.1 Neumáticos desechados.

Una vez localizada la fuente de donde se obtendrá los neumáticos desechados se procede a su traslado a la planta o lugar donde se procederá a su transformación.

2.3.2.2 Fraccionamiento, separación y almacenamiento

Los neumáticos pasan a través de todo un proceso donde se van fraccionando gradualmente y a la vez separando de sus demás componentes tales como el tejido y acero. El proceso de fraccionamiento del caucho obtenido es muy importante, ya que depende del método de molienda que se elija, puesto que las características físicas, tales como gradación (tamaño de partícula) y forma (angular y alargada) del caucho influyen de manera significativa en la interacción de este con el cemento asfáltico.

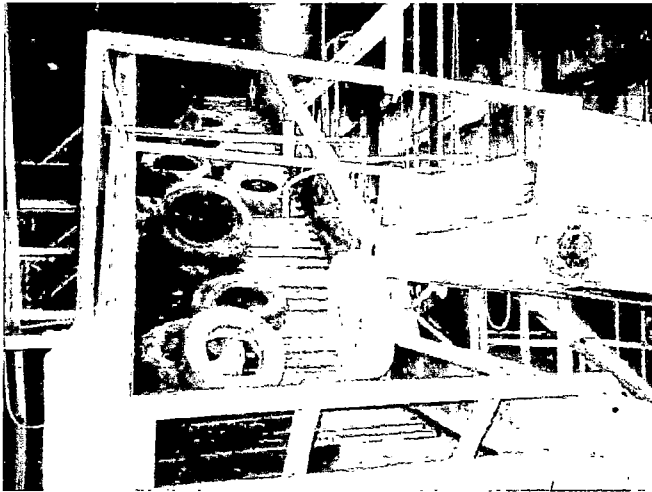


Imagen 2.3.2 Etapas del fraccionamiento de los neumáticos.



Imagen. 2.3.3 Separación de sus componentes.

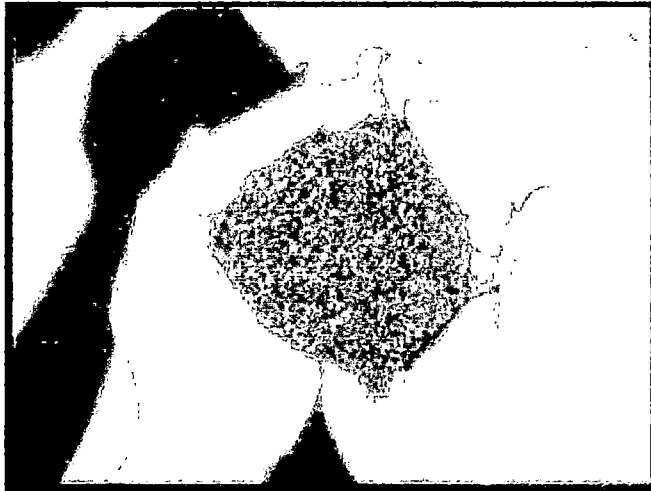


Imagen 2.3.4 Producto final: Granos de Caucho Modificador (GCM).

Una vez terminada la separación y fraccionamiento se procede al almacenamiento del producto final obtenido.

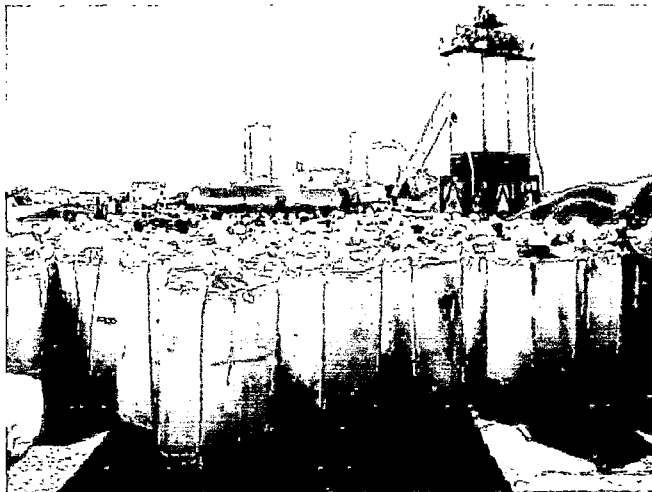


Imagen 2.3.5 Almacenamiento del producto final.

2.3.3 Métodos de obtención

Aunque no son los únicos, estos procesos de obtención del GCM son los que han sido usados para tal fin y se detallan a continuación:

Molienda Ambiental (Ambient Grinding). Con este método, el desecho de neumático de caucho es molido o procesado a temperatura ambiente ordinaria. Este proceso ambiental es requerido típicamente para proporcionar partículas irregularmente formadas, rasgadas, con áreas superficiales relativamente grandes para promover la interacción con el asfalto.

Molienda Criogénica (Cryogenic Grinding). En este proceso se usa nitrógeno líquido para congelar los desechos de neumáticos de caucho hasta que llegue a ser frágil y después utilizar un molino de martillo para romper el caucho congelado en partículas lisas con área superficial relativamente pequeña. Este método se utiliza para reducir el tamaño de partícula antes de la molienda a temperatura ambiente.

Granulación. Este proceso produce partículas de granos de caucho cortadas, cúbicas, uniformemente formadas, con un área superficial baja.

Shredding. Este proceso reduce los desechos de neumáticos a pedazos de 0.15 m^2 (6 pulg²) y más pequeños.

Triturado. Este proceso reduce los neumáticos desechados a pedazos de 0.023 m^2 y más pequeños antes de la granulación o de la molienda ambiental.

2.3.4 Equipos de procesamiento

Molino Desintegrador (Cracker Mill); este aparato es usado típicamente para la molienda ambiental, que rompe en dos el desecho de neumático de caucho, pasando el material entre los tambores giratorios de acero corrugado, reduciendo el tamaño del caucho a un grano (generalmente entre los tamices N° 4 - 4.75 mm a N° 40 - 425 μm).

Granulador, aparato que corta el neumático de caucho con placas giratorias de acero, reduciendo su tamaño a partículas cúbicas, generalmente que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y se retiene en el tamiz de 2.0 mm (N° 10).

Micro-Molino; proceso que promueve el molido de los granos de caucho a tamaños debajo del tamiz de 425 μm (N° 40).

2.3.5 Tipos de GCM

Grano de Caucho Modificador molido; de forma irregular, son partículas de caucho desechado con un área superficial grande, producidas generalmente por un molino desintegrador (Cracker Mill).

Caucho Natural (High Natural Rubber – Hi Nat); producto de caucho desechado que incluye de 40 a 48% de caucho natural o isopreno y un mínimo de 50% de hidrocarburo de caucho según los requisitos de *Caltrans*, establecidos en las Especificaciones Especiales Provisionales, Sección 39 (Standard Special Provisions – Pavement Specifications SSP 39), las cuales se extrajeron y tradujeron para colocarlas en el *Anexo C – Normas y Especificaciones* en la presente investigación. Las fuentes del caucho natural incluyen el caucho desechado de algunos tipos de neumáticos de camiones pesados, pero no se limitan a éstos. Otras fuentes del caucho natural incluyen los desechos de pelotas de tenis y de capas de caucho.

Buffing waste (desperdicio de raspadura); desechos de neumáticos de caucho de alta calidad que son un subproducto del acondicionamiento de las carcasas de los neumático en su preparación para el re-encauche. Estos no contienen esencialmente ningún metal o fibra.

Caucho de rodadura o pisada (Tread rubber); desecho de neumáticos de caucho que consiste principalmente de caucho de la rodadura o pisada del neumático con menos de aproximadamente 5% de caucho de los flancos (lados).

Piel de rodadura o pisada (Tread peel); los pedazos de desecho de la rodadura del neumático de caucho son también un subproducto de las operaciones de re-encauche de neumáticos, que contienen pocas (si algunas) cuerdas de neumático.

Neumático de caucho entero; desechos de neumáticos de caucho que incluye la rodadura (pisada) y los flancos, en proporciones tan aproximadas a los pesos respectivos en un neumático promedio.

Grano de caucho modificador granulado; partícula de grano de caucho cortado, cúbico, uniformemente formado, con un área superficial baja, generalmente producido por un granulador.

Caucho vulcanizado; caucho que ha sido sujeto a tratamiento por calor, presión, o adición de agentes ablandantes después de la molienda para alterar las propiedades del material reciclado.

2.4 El ligante asfáltico

El cemento asfáltico es un material bituminoso de color marrón oscuro a negro que se encuentra en la naturaleza o es producido por destilación del petróleo. Existen dos tipos de asfaltos: los asfaltos naturales similares al petróleo pesado y los asfaltos resultantes del refino del petróleo. Inicialmente los pavimentos eran construidos con productos asfálticos naturales. Actualmente la mayor parte de los cementos asfálticos son obtenidos procesando el petróleo crudo (CAP: Cemento Asfáltico de Petróleo).

2.4.1 Comportamiento de los ligantes asfálticos

A la temperatura ambiental el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido, y altamente viscoso. Es un cemento fuerte y durable con excelentes características adhesivas e impermeables. También es muy resistente a la acción de muchos ácidos, álcalis y sales.

La más importante característica, muchas veces resulta una ventaja y otras una desventaja, es su susceptibilidad térmica. Debido a esto, todas sus propiedades mensurables dependen de la temperatura, así pues los ensayos de caracterización del cemento asfáltico deben especificar la temperatura para que

el resultado del ensayo sea efectivamente interpretado. El comportamiento del cemento asfáltico también es dependiente del tiempo de aplicación de la carga. Un mismo cemento asfáltico con una misma carga, pero con distintos tiempos de aplicación de estas, resultaran en propiedades diferentes. Debido a esto los ensayos de caracterización del cemento asfáltico deben especificar también la velocidad de carga. Entonces ambos factores: tiempo de aplicación de carga y temperatura, pueden intercambiarse, es decir, se puede simular una baja velocidad de carga con altas temperaturas y una alta velocidad de carga con bajas temperaturas.

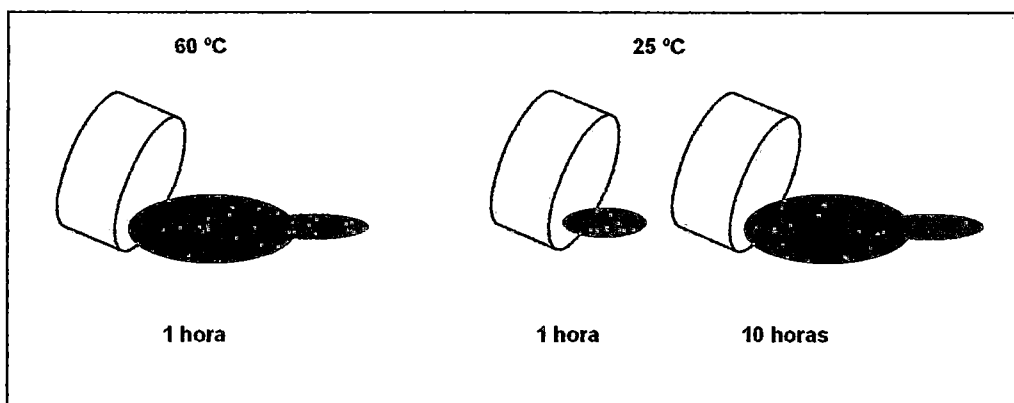


Figura 2.4.1 Dependencia tiempo – temperatura del cemento asfáltico.

La reología se puede definir como el estudio de los cambios de la forma y el flujo de la materia, abarcando elasticidad, viscosidad y plasticidad.

El cemento asfáltico es un “material visco - elástico” pues muestra simultáneamente características elásticas y viscosas. A altas temperaturas ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) se comporta como un fluido viscoso y fluye siguiendo la ley de Newton. Mientras que a bajas temperaturas ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) actúa como un sólido elástico, comportándose elásticamente bajo la ley de Hooke, cuando es cargado se estira o comprime, y cuando es descargado retoma su forma inicial. A temperaturas intermedias, que es la condición prevista del pavimento se comporta como un fluido viscoso y como un sólido elástico.

Otra característica importante del cemento asfáltico es que al estar compuesto por moléculas orgánicas, reacciona con el oxígeno del ambiente. A esta reacción se le llama oxidación, en la cual la estructura y la composición de las moléculas de asfalto cambian, haciendo su estructura más dura y frágil dando origen al término “endurecimiento por oxidación” o “endurecimiento por envejecimiento”. La oxidación ocurre más rápidamente a altas temperaturas, es debido a esto que gran parte del endurecimiento ocurre durante la producción, cuando se somete al cemento asfáltico a las elevadas temperaturas propias de este proceso. Es también esta la causa por la que la oxidación es más crítica en cementos asfálticos usados en pavimentos en climas calidos y desérticos.

La inapropiada compactación también puede generar oxidación o endurecimiento prematuro. En estos casos, los inadecuados niveles de compactación tienen altos porcentajes de vacíos de aire interconectados, que permiten que más aire o el agua penetren en la mezcla acelerando la oxidación.

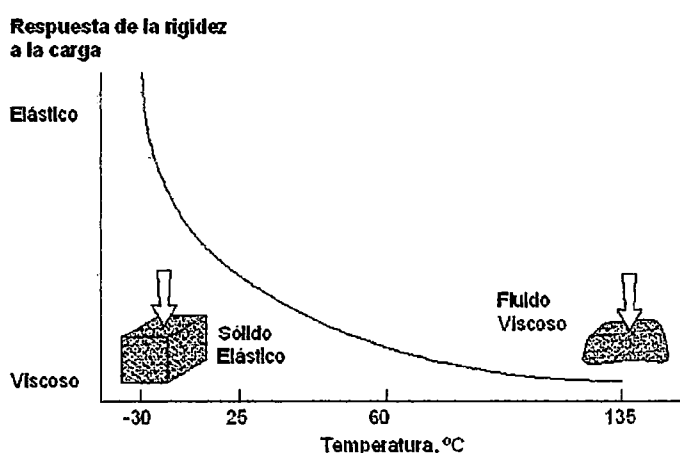


Figura 2.4.2 Comportamiento visco-elástico del cemento asfáltico.

Los ligantes modificados son concebidos para mejorar el desempeño de los ligantes convencionales, buscando reducir la dependencia con la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.

2.4.1.1 Comportamiento a temperaturas altas

En climas cálidos o sometidos a cargas de tráfico lentas, el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas. Si el flujo del cemento asfáltico en caliente es lento puede ser observado microscópicamente como capas adyacentes de moléculas deslizándose unas sobre otras. La resistencia o fricción entre capas se relaciona a la velocidad relativa de deslizamiento. La viscosidad es una característica que ayuda a diferenciar a los líquidos y se define como el esfuerzo de corte entre la velocidad de deformación por corte. La figura 2.4.3 muestra un juego de cartas que tienen una línea vertical marcada a un lado. Cuando se aplica el corte en el punto superior, las cartas tratan de deslizarse una sobre la otra y los puntos marcados en las cartas empiezan a separarse. La velocidad al corte es la velocidad a la cual estos puntos se separan.

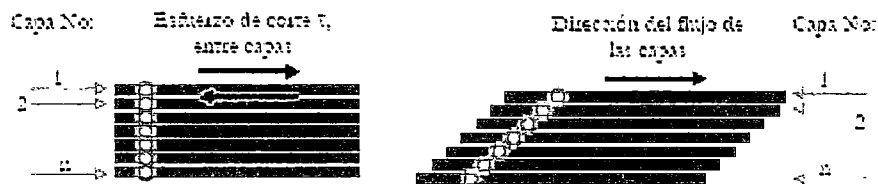


Figura 2.4.3 Características del flujo de líquidos.

Los fluidos Newtonianos tienen una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad relativa. El aire, agua y asfalto caliente (a temperaturas mayores que 60 °C) son comúnmente fluidos Newtonianos. A temperaturas moderadas, la viscosidad del asfalto decrece cuando la velocidad relativa se incrementa. Los líquidos viscosos como el asfalto caliente algunas veces son llamados plásticos porque una vez que empiezan a fluir no retornan a su posición original. Esto se da a temperaturas altas, cuando algunos pavimentos de mezclas asfálticas en caliente (MAC) menos estables fluyen bajo cargas repetidas de llantas formando una huella a lo largo de su trayectoria. Sin embargo, la deformación permanente

en pavimentos asfálticos durante temperaturas calientes es también influenciada por las propiedades del agregado.

2.4.1.2 Comportamiento a temperaturas bajas

En climas fríos o bajo aplicaciones de carga rápida, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico. Los sólidos elásticos son como ligas porque cuando cesa la carga que los deforma, regresan a su posición original. Si el material se esfuerza más allá de su capacidad, el sólido elástico puede romperse. El agrietamiento por bajas temperaturas algunas veces ocurre en los pavimentos cuando están sometidos a climas fríos. En estos casos, las cargas aplicadas producen esfuerzos internos que se acumulan en el pavimento asfáltico que tenderá a contraerse mientras su movimiento es restringido por las capas inferiores.

2.4.1.3 Comportamiento a temperaturas intermedias

En estos climas el asfalto muestra características de líquido viscoso y sólido elástico. A estas temperaturas, el asfalto es un excelente material adhesivo usado en pavimentación. Cuando se calienta el asfalto actúa como un lubricante, permitiendo mezclarse con el agregado, cubrirlo y compactarse formando una superficie lisa y densa. Tan pronto como se enfría, el asfalto actúa manteniendo juntos los agregados en una matriz sólida. En esta etapa el comportamiento del asfalto es visco-elástico es decir, tiene características elásticas y viscosas, dependiendo de la temperatura y velocidad de carga.

2.4.2 Clasificación de ligantes asfálticos

Los grados del cemento asfáltico, basados en su consistencia, son disponibles comercialmente. Para clasificar o definir la gradación del cemento

asfáltico se usan tres métodos basados en la penetración, viscosidad o desempeño (*performance*).

Los métodos de clasificación por penetración y viscosidad han sido desarrollados a través del tiempo, usando la experiencia con pavimentos asfálticos. Los ensayos de penetración y viscosidad se desarrollaron considerando una época en la que el tráfico era menor y las cargas aplicadas significativamente inferiores. El peso de los camiones estuvo limitado a 72,000 lb y la presión de los neumáticos de 75 psi. En la actualidad, los camiones exceden las 80,000 lb y las presiones de los neumáticos son de 125 psi. El incremento del 10% en el peso de los camiones puede no parecer significativo, pero resulta en un 40% de incremento en los esfuerzos aplicados al pavimento. Estos factores, junto con el incremento de la red vehicular someten a nuestros pavimentos asfálticos a esfuerzos, resultando en deformaciones permanentes y fallas prematuras².

2.4.2.1 Clasificación por penetración

Este sistema de clasificación del cemento asfáltico está especificado en ASTM D946, y se controla a través del ensayo de penetración. Dicho ensayo consiste en la medición de la penetración de una aguja estándar dentro de una muestra de cemento asfáltico a una temperatura, tiempo y carga estándar. A mayor registro de penetración, el cemento asfáltico es más blando y viceversa.

Los grados de penetración estándar son cinco: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, y 200-300. Actualmente las especificaciones de los proyectos viales en el Perú usan este sistema de clasificación.

² S. Minaya G., A. Ordóñez H. Superpave y el Diseño de las Mezclas Asfálticas, Instituto de Investigaciones – UNI-FIC, Mayo 2003

2.4.2.2 Clasificación por viscosidad

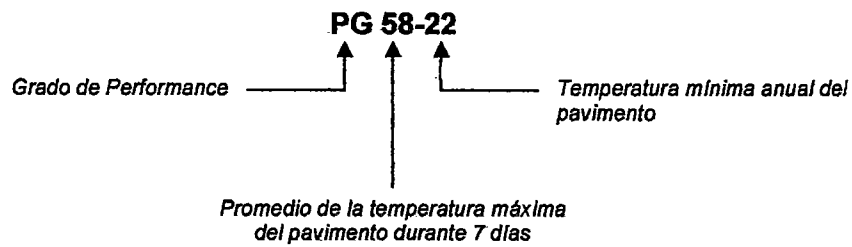
El segundo método de clasificación del cemento asfáltico es por viscosidad, el cual está especificado en ASTM D3381. Este sistema de clasificación está basado en la viscosidad del cemento asfáltico original o en la viscosidad del cemento asfáltico luego de ser envejecido por el ensayo de película fina en horno rotatorio, RTFO. Las unidades de estas viscosidades se miden y se reportan en poises.

La viscosidad del cemento asfáltico original incluye AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30, y AC-40. El valor numérico indica la consistencia a 60 °C en cientos de poises (cP). La viscosidad basada en el residuo de asfalto (AR) del ensayo de RTFO incluye AR-1000, AR-2000, AR-4000, AR-8000, y AR-16000. El valor numérico indica la viscosidad a 60 °C y se registra en poises.

2.4.2.3 Clasificación por desempeño

El tercer método de clasificación del ligante asfáltico es por comportamiento o desempeño (*performance*). Este sistema de clasificación está basado y desarrollado por la *Strategic Highway Research Program* (SHRP) en el sistema *Superpave* y representa una herramienta sofisticada para la clasificación de ligantes asfálticos, dejando atrás los sistemas de clasificación por viscosidad y por penetración, este último aún usado en los proyectos viales de nuestro país.

A diferencia de las especificaciones anteriores, la especificación del ligante *Superpave* se basa directamente en las propiedades físicas básicas del ligante y su comportamiento observado. La clasificación por comportamiento del ligante o Gradación por Desempeño (*Performance Graded* – PG) se selecciona basado en las temperaturas extremas de servicio del ligante asfáltico. La diferencia entre los diferentes tipos de PG o grados del ligante vienen a ser las temperaturas mínima y máxima de servicio. Por ejemplo, a un ligante clasificado como PG 58-22 se le evaluará físicamente a 58 °C y -22 °C.



Junto con el grado del ligante clasificado de acuerdo a altas y bajas temperaturas, se requiere mayor información para seleccionar el PG que debe tener el ligante en un lugar en particular. Se debe conocer el área geográfica, temperatura del pavimento y la temperatura del aire, variables que deben ser convertidas a la temperatura del pavimento.

Se determinan las condiciones de proyecto del clima usando un banco de datos meteorológicos: En toda zona a diseñar un pavimento, se deben conocer la temperatura ambiente máxima y mínima de siete (7) días consecutivos durante los últimos veinte (20) años, y con esta información el diseñador calcula la temperatura promedio del aire para cada una durante esos 7 días. Además el diseñador debe conocer las temperaturas de diseño del pavimento a 20 mm por debajo de la superficie en el período. Debido a que esta información no se conoce en la mayoría de los casos y en todas las zonas geográficas, la alta temperatura de diseño del pavimento a una profundidad de 20 mm se calcula de la siguiente forma:

$$T_{20\text{mm}} = (T_{\text{aire}} - 0.00618 \times \text{lat}^2 + 0.2289 \times \text{lat} + 42.2) \times (0.9545) - 17.87$$

Donde:

- $T_{20\text{mm}}$ = Temperatura del pavimento a una profundidad de 20 mm, en °C.
 T_{aire} = Promedio de la temperatura del aire para el más caluroso período de 7 días, en °C.
 lat = Latitud del proyecto, en grados.

Para el caso de bajas temperaturas, SHRP de Canadá, desarrolló la siguiente fórmula:

$$T_{min} = 0.859 \times T_{aire} + 1.7^{\circ}$$

Se selecciona la confiabilidad (probabilidad en porcentaje, de que, para un año dado, la temperatura real no excederá la temperatura de diseño). Se deberá calcular la desviación estándar para la temperatura máxima durante 7 días seguidos. Al final la temperatura final a utilizar será aquella que de una confiabilidad del 98% ($^{\circ}T \pm 2$ veces la desviación estándar). De acuerdo a las fórmulas relacionadas anteriormente las temperaturas de diseño son calculadas y se selecciona el ligante más cercano para controlar las propiedades físicas. Con el ligante seleccionado se procede a la verificación del grado del ligante asfáltico mediante los ensayos requeridos: Reómetro de corte dinámico (DSR) - AASHTO TP 5-98, Viscosímetro rotacional (RV) - ASTM D 4402, Reómetro de viga a flexión (BBR) - AASHTO TP1-98 y Ensayo de tracción directa (DDT) - AASHTO TP3-00.

Debe buscarse adecuar el sistema actual de clasificación de cementos asfálticos desarrollados en los proyectos viales en nuestro país, teniendo como base este nuevo sistema y apoyándonos de las experiencias desarrolladas por sus impulsores.

2.4.3 Evaluación del ligante asfáltico

Las especificaciones *Superpave* para el ligante se centran en el desarrollo de ensayos que se realicen en condiciones tales que simulen las tres etapas críticas durante la vida del ligante.

La *primera etapa crítica* corresponde al transporte, almacenamiento y manipuleo y se simula por ensayos realizados en el ligante original.

La *segunda etapa crítica* corresponde el asfalto durante la producción de la mezcla y la construcción, y se simula por un proceso de envejecimiento en el Horno Rotatorio de Película Delgada. Mediante este procedimiento se busca exponer la película delgada de ligante al calentamiento y aire aproximándolo al envejecimiento que sufre el asfalto durante la mezcla y construcción.

La *tercera etapa crítica* ocurre cuando el ligante se envejece durante la operación o vida de servicio. Esta etapa es simulada con el ensayo de Envejecimiento en la Cámara de Presión Vessel. Este procedimiento expone la muestra de ligante a calentamiento y presión para simular el envejecimiento durante la vida de servicio.

Las especificaciones del ligante *Superpave* y los métodos de ensayo usados para caracterizar el asfalto están siendo actualmente evaluados por la AASHTO y ASTM. Estos ensayos miden las propiedades físicas que se pueden relacionar directamente con el comportamiento en campo por principios ingenieriles. Los ensayos se realizan a la temperatura de servicio del pavimento. En la tabla 2.4.1 se detallan los equipos y el propósito para los que se utilizan.

Tabla 2.4.1 Equipos para los ensayos Superpave

Equipos	Propósito
Película Fina en Horno Rotatorio (RTFO)	Simula el envejecimiento inicial del ligante.
Presión de Envejecimiento Vessel (PAV)	Simula el envejecimiento durante la vida de servicio del ligante.
Reómetro de Corte Dinámico (DSR)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas altas e intermedias.
Viscosímetro Rotacional (RV)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas altas.
Reómetro de Viga de Flexión (BBR)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas bajas.
Ensayo de Tensión Directa (DTT)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas bajas.

La Figura 2.4.4 muestra como cada ensayo se relaciona con el comportamiento del ligante en el campo.

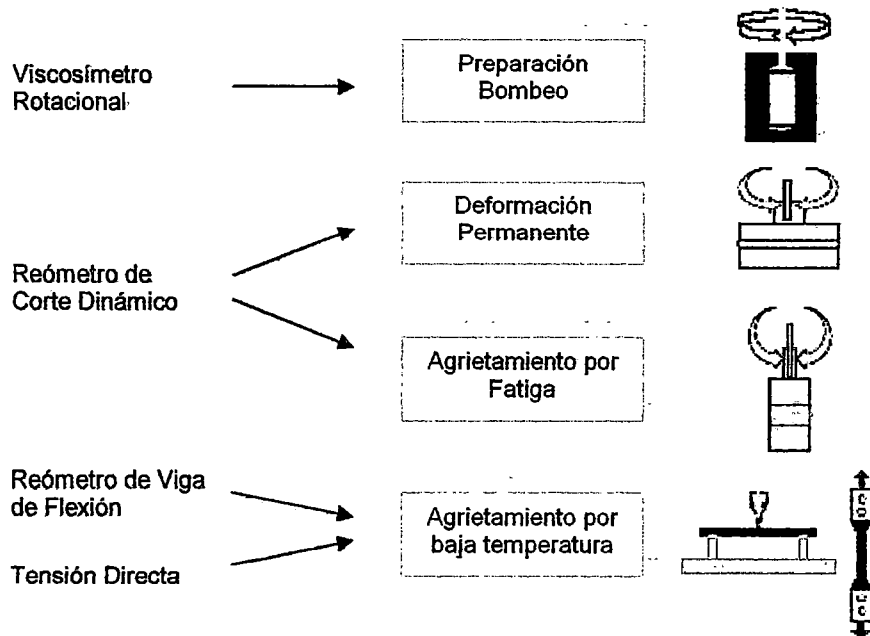


Figura 2.4.4 Ensayos Superpave relacionados con el comportamiento del ligante en campo.

2.5 El agregado mineral para mezclas asfálticas

Los agregados usados en la producción de mezclas asfálticas son obtenidos de depósitos fluviales, glaciares o explotados en canteras. Los agregados son separados en distintas fracciones según su tamaño, lavados, triturados o tratados para mejorar las características de comportamiento de las mezclas asfálticas en las cuales son incluidos.

Existen los llamados agregados sintéticos, los cuales son cualquier material no extraído de depósitos ni explotados en canteras; en muchos casos son un sub-producto industrial. Por ejemplo se tienen a las escorias de altos hornos, la

arcilla expandida y los esquistos (usados para mejorar la resistencia al deslizamiento), vidrios y el caucho reciclado de neumático (proceso seco).

Los pavimentos existentes pueden reciclarse, removiendo y procesando la carpeta asfáltica para elaborar una nueva. Esta constituye una fuente importante de agregados para mezclas asfálticas.

El agregado en la mezcla cumple un papel fundamental pues es quien provee un fuerte esqueleto pétreo para resistir las repetidas aplicaciones de carga. Es por ello que la comprobación de la calidad de los agregados es parte importante del desarrollo de una mezcla asfáltica. Los agregados de textura rugosa, de buena cubicidad, dan mejor resistencia que los redondeados y de textura lisa (*Fig. 2.5.1*). Esto se debe a que, si bien, un agregado redondeado puede tener la misma resistencia interna que un agregado angular, las partículas angulares se cierran más apretadamente; mientras que las partículas redondeadas no se traban sino se deslizan unas sobre otras.

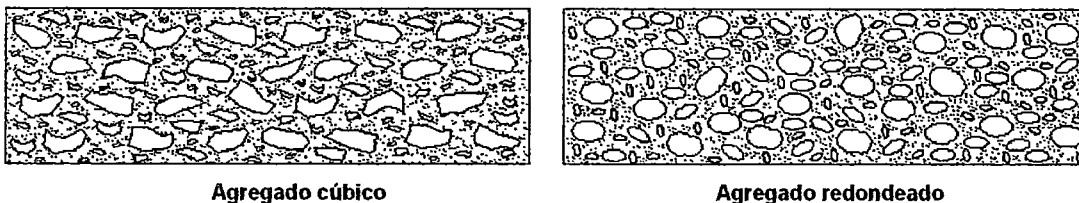


Figura 2.5.1 Esqueleto pétreo del agregado.

Así, cuando la estructura es cargada, se genera dentro de esta un plano por el cual las partículas se deslizan o son cizalladas unas respecto de las otras; esto resulta en una deformación permanente de la estructura. En dicho plano de deslizamiento las “tensiones de corte” son mayores a la “resistencia al corte” de la estructura de agregados.

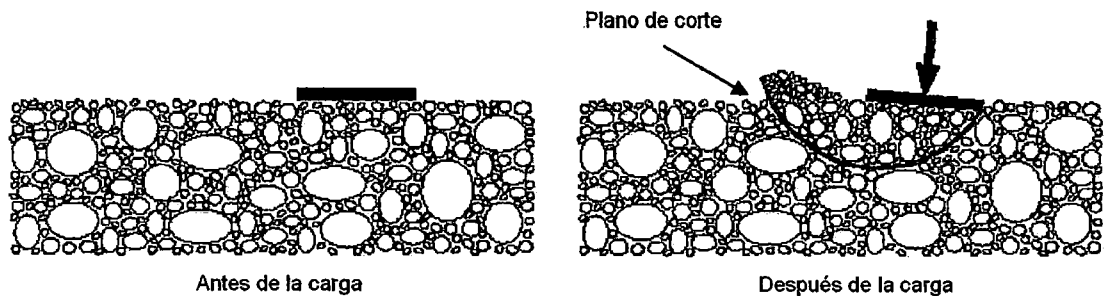


Figura 2.5.2 Comportamiento del agregado ante las cargas de corte.

Como es sabido, el comportamiento de la carpeta asfáltica está definido también por las características de los agregados que la constituyen. Para evitar, retardar o minimizar las fallas en la carpeta asfáltica, el agregado debe poseer las principales características que se detallan a continuación:

Para minimizar las *deformaciones permanentes (rutting)*, las características más comunes son: forma de la partícula, textura superficial, tamaño de partícula, estructura porosa, y resistencia de la partícula. La deformación permanente se debe a la densificación y al flujo plástico de las mezclas asfálticas a altas temperaturas y está influenciada por factores como el contenido y características del ligante, características del agregado, procedimiento constructivo, temperatura e incremento de las repeticiones de carga, los cuales son importantes; sin embargo, los agregados constituyen el 90% de la mezcla, siendo importante en el control de las deformaciones permanentes, como se ve en la actualidad con la incorporación del diseño de mezclas *Stone Mastic Asphalt (SMA)* o *Matriz Piedra Asfalto*. Para minimizar la deformación permanente, la trabazón de los agregados es crucial. La forma, angularidad y textura superficial afectan la trabazón de agregados.

La *resistencia al deslizamiento* depende de la fricción desarrollada entre la superficie del pavimento y el neumático. Esta fricción depende de la rugosidad microscópica y macroscópica de la superficie del pavimento, características de pulimento de los agregados y de la capacidad drenante de la superficie. Otros

factores que afectan la resistencia al deslizamiento de la superficie del pavimento son la humedad en la superficie, variaciones estacionales y temperatura.

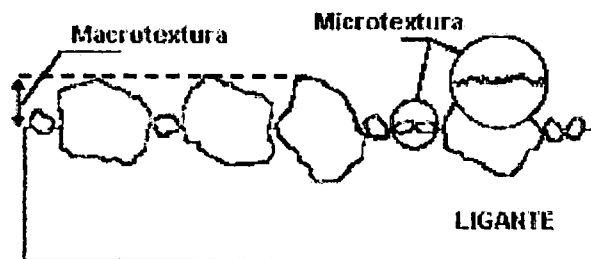


Figura 2.5.3 Características de textura de la superficie de rodadura.

La microtextura de los agregados finos y gruesos se refiere a sus irregularidades superficiales. La microtextura puede proporcionar una adecuada resistencia al patinaje a bajas velocidades, como en áreas urbanas. El uso de agregados gruesos y agregados finos redondeados da valores bajos de resistencia al deslizamiento.

La *resistencia a la helada* está basada en la durabilidad del agregado, la cual depende de la cantidad de agua que se congela dentro del agregado y su capacidad de resistir y/o su expansión. La durabilidad se relaciona con el volumen de poros -más precisamente con la distribución del tamaño de poros y el módulo del agregado

2.5.1 Gradaciones del agregado mineral

Las mezclas asfálticas en caliente, comúnmente, se dividen en tres tipos: mezclas asfálticas convencionales de gradación densa (*dense – graded*), mezclas asfálticas de gradación abierta o porosa (*open – graded*) y mezclas de gradación incompleta (*gap – graded*). Los nombres que toman estos distintos

tipos de mezcla provienen de las características granulométricas del agregado constituyente, es decir de la gradación del agregado que se usa en cada una de ellas.

Es así que se clasifica a los agregados para mezclas asfálticas según su gradación³:

2.5.1.1 Agregado de gradación densa (*dense – graded*)

Este tipo de gradación presenta partículas de agregado con regular distribución de tamaños gruesos a finos, y dan origen a las mezclas asfálticas convencionales, actualmente usadas en nuestro medio. Esta gradación se subdivide a su vez en: agregado de *gradación continua* (HMA convencional), *large-stone mix* y mezcla *arena-asfalto* (mortero asfáltico).

Los agregados de gradación continua contienen agregados con un tamaño nominal máximo que varía en un rango de 12.5 mm (1/2") a 19 mm (3/4").

Los agregados de gradación tipo *large-stone mix*, contienen agregado grueso con un tamaño nominal máximo mayor que 25 mm (1"). Como se puede apreciar en la figura 2.5.4, esta gradación tiene más alto porcentaje de agregado grueso que la gradación convencional (mayor que el tamiz N° 4 - 4.75 mm).

La gradación tipo *arena-asfalto* está compuesta de agregado que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8"), como se muestra en la figura 2.5.4. Esta gradación presenta un contenido de vacíos incrementado en el agregado mineral.

³ National Asphalt Pavement Association and Federal Highways Administration, IS-128 HMA Pavement Mix Type Selection Guide, 2001.

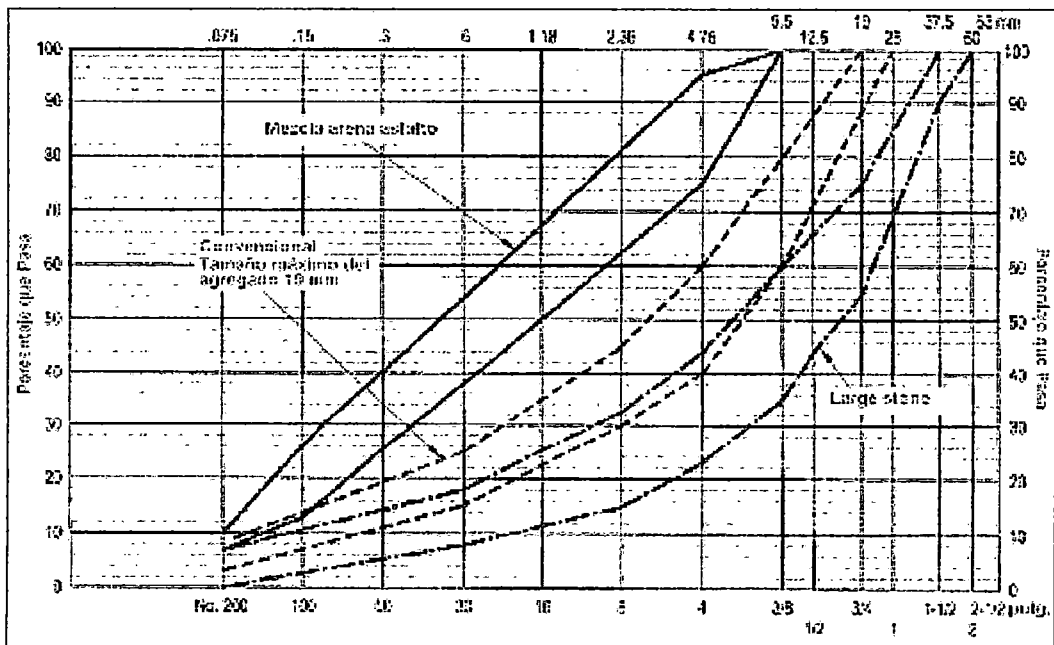


Figura 2.5.4 Gradación Densa (dense – graded).

2.5.1.2 Agregado de gradación abierta (open – graded)

Los agregados de gradación abierta (*open – graded*), consisten de un agregado con gradación relativamente uniforme. Según se aprecia en la figura 2.5.5, hay dos tipos de gradación abierta que se usan en dos distintas mezclas.

La primera de ellas es la gradación que da origen a las capas de fricción porosas (*open graded friction course*). El segundo tipo es aquella usada en las bases permeables tratadas con asfalto (*asphalt – treated permeable base*), y que es un agregado uniformemente gradado de tamaño nominal más grande que el usado para las capas de fricción porosas – 19 mm (3/4") a 25 mm (1").

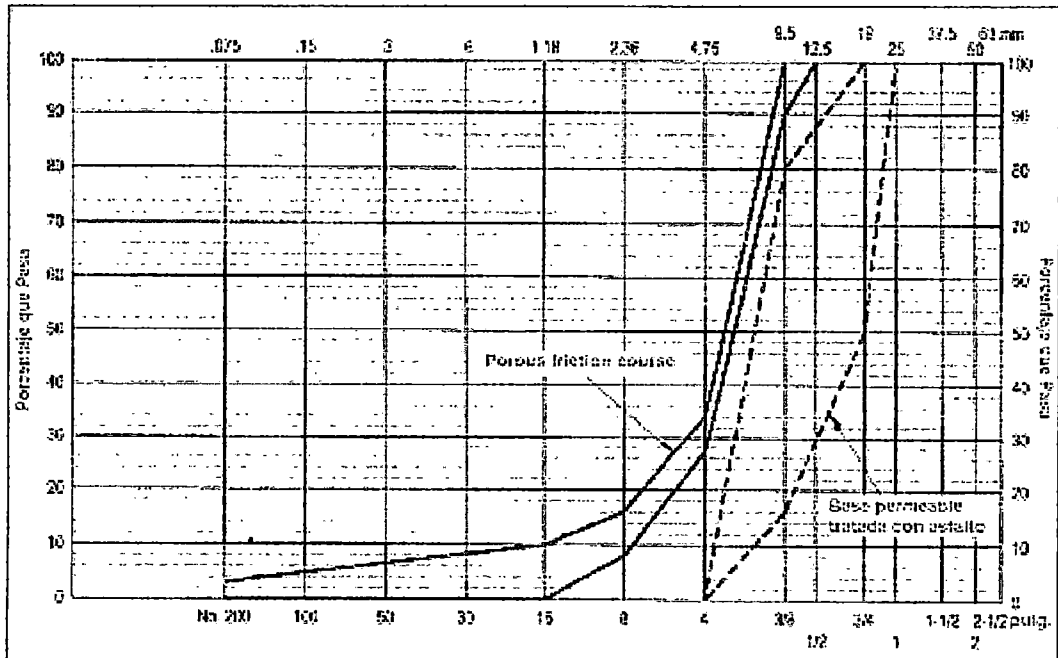


Figura 2.5.5 Gradación Abierta (open – graded).

2.5.1.3 Agregado de gradación incompleta (gap – graded)

Los agregados de gradación incompleta presentan carencia o participación mínima de los tamaños intermedios. Este tipo de gradación abarcan las de gradación incompleta convencional (*gap – graded*) y la gradación SMA (*Stone Matrix Asphalt*).

La gradación *gap – graded* contiene agregados que varían en tamaños de grueso a fino con poca o ninguna cantidad de los tamaños intermedios, como se muestra en la figura 2.5.6.

El otro tipo de gradación es el SMA (*Stone Matrix Asphalt* o *Stone Mastic Asphalt*).

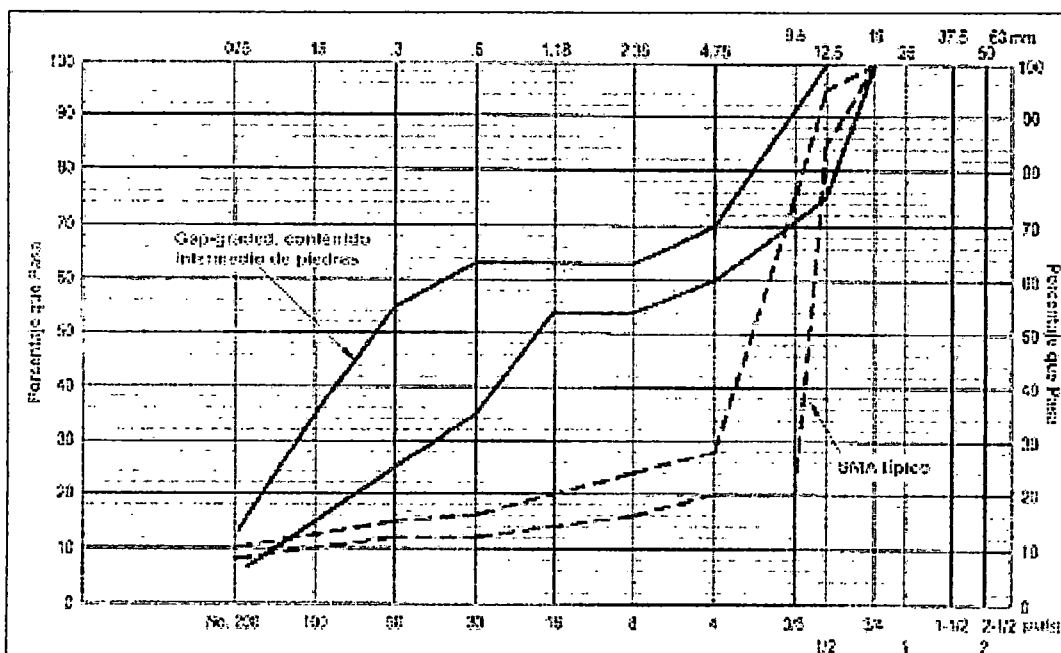


Figura 2.5.6 Gradación Incompleta (gap – graded).

2.6 Definición de mezcla asfáltica en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente (MAC por sus iniciales ó HMA por sus iniciales en inglés), son también llamadas a veces mezclas en caliente, concreto asfáltico en caliente, asfalto, camino de superficie bituminosa, entre otros términos a nivel mundial. En general, usaremos la primera de las denominaciones para definirla como la mezcla de agregados y cemento asfáltico que son producidas a una elevada temperatura en una planta asfáltica.

Las mezclas asfálticas en caliente son el tipo más común de superficie de pavimento flexible usado a nivel mundial.

2.6.1 Tipos de mezclas asfálticas

El término Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) agrupa diferentes tipos de mezclas de agregados, siendo la clasificación más común la mostrada en la

tabla 2.6.1, la cual se deriva del tipo de gradación de los agregados que se usan en cada una de ellas.

Tabla 2.6.1 Tipos de Mezclas Asfálticas en Caliente.

Mezcla de Gradación Densa (Dense-Graded)	Mezcla de Gradación Abierta (Open-Graded)	Mezcla de Gradación Incompleta (Gap-Graded)
Convencional Tamaño Máximo Nominal* de agregado usualmente de 12.5 mm a 19 mm (1/2" a 3/4")	Capa porosa de fricción (Porous friction course)	Gradación Incompleta Convencional
Piedra Grande (Large-stone) Tamaño Máximo Nominal de agregado usualmente entre 25 mm. a 37.5 mm (1" y 1 1/2")	Base permeable tratada con asfalto (Asphalt-treated permeable base)	SMA (Stone Matrix Asphalt)
Asfalto Arena (Sand asphalt) Tamaño Máximo Nominal de agregado menor que 9.5 mm (3/8")		

Hot Mix Asphalt Paving Handbook 2000

* El Tamaño Máximo Nominal (TMN) se define como un tamiz mayor que el primer tamiz que retiene más del 10%.

2.6.1.1 Mezclas Asfálticas de Gradación Densa (Dense – Graded)

Las mezclas de este tipo están compuestas de un ligante de cemento asfáltico y de un agregado bien y continuamente gradado. Cuando son apropiadamente diseñadas y construidas son relativamente impermeables. A su vez se subdividen en:

Mezclas asfálticas *convencionales*, que contienen agregados de gradación continua.

Mezcla de gradación tipo *large-stone mix*, preparada en base al agregado de la misma denominación. Debido al mayor tamaño de los agregados, el esfuerzo de compactación aplicado a las mezclas de este tipo debe ser monitoreado para prevenir fracturas excesivas de los agregados mayores durante el proceso de compactación.

Mezcla de gradación tipo *arena-asfalto* (algunas veces llamada también *sheet asphalt – carpeta asfáltica o mortero asfáltico*). Esta mezcla asfáltica tiene un contenido de ligante más alto que el contenido de ligante de la mezcla convencional debido al contenido de vacíos incrementado en el agregado mineral. A no ser que sea usada en la mezcla arena procesada o arena natural de textura rugosa, la resistencia al ahuellamiento de este tipo de mezclas es típicamente muy baja.

2.6.1.2 Mezclas Asfálticas de Gradación Abierta (*Open – Graded*)

Las mezclas de este tipo consisten del agregado de gradación abierta y cemento asfáltico o un ligante modificado. El principal propósito de estas mezclas es servir como una capa de drenaje, o hacia la superficie del pavimento o dentro de la sección estructural del pavimento. Existen dos tipos de mezclas de gradación abierta:

Las primera de ellas es frecuentemente llamada capa de fricción de gradación abierta o capa de fricción porosa (*open – graded friction course*) y es usada como una capa superficial para proveer una superficie de libre drenaje para prevenir la pérdida de contacto entre los neumáticos de los vehículos y la superficie del pavimento que ocurre cuando el vehículo viaja a altas velocidades en superficies con agua acumulada (*hidroplaneo*), reducir la salpicadura de los neumáticos, y reducir el ruido de los neumáticos.

El segundo tipo de mezcla de gradación abierta es aquella llamada base permeable tratada con asfalto (*treated – asphalt permeable base*), y es usada para el drenaje del agua que entra a la sección estructural del pavimento tanto de la superficie como de la subrasante.

La producción de las mezclas asfálticas de gradación abierta es similar a las de gradación densa, siendo la mayor diferencia la temperatura de mezcla. Temperaturas de mezcla más bajas son usadas para las mezclas de gradación abierta para prevenir el escurrimiento (*draindown*) durante el tiempo de almacenamiento y durante la entrega a las máquinas pavimentadoras por los vehículos de transporte. Más recientemente, se ha usado polímeros y fibras para prevenir el escurrimiento de este tipo de mezclas y para mejorar la durabilidad de las mezclas. La colocación de una mezcla de gradación abierta es usualmente similar a las convencionales. Un menor esfuerzo compactivo es generalmente necesitado cuando se le compara a las mezclas convencionales.

2.6.1.3 Mezclas Asfálticas de Gradación Incompleta (*Gap – Graded*)

Las mezclas asfálticas de gradación incompleta tienen una función similar a las mezclas de gradación densa en cuanto a que también proporcionan una capa densa impermeable cuando es apropiadamente compactada. Estas mezclas abarcan dos tipos de mezclas asfálticas: La mezcla asfáltica de gradación incompleta (*gap – graded*) convencional y la mezcla SMA (*Stone Matrix Asphalt*). La producción de las mezclas SMA requiere la adición de cantidades significativas de filler para lograr el pasante requerido en el tamiz N° 200 (8% - 10%). Como en las mezclas *open-graded* la temperatura de descarga de la mezcla necesita ser controlada para prevenir el escurrimiento o *draindown* del ligante durante el almacenamiento o transporte. Las fibras y/o polímeros son normalmente usados con la mezcla SMA, a fin de prevenir el *draindown* o escurrimiento.

2.7 Comportamiento de Mezclas Asfálticas

Los materiales asfálticos presentan tanto un comportamiento elástico y asimismo un comportamiento viscoso cuando la temperatura se incrementa. Es necesario entonces incorporar en el estudio del comportamiento mecánico de los materiales un modelamiento más realista que la aplicación de la teoría elástica (que constituye una primera aproximación, muchas veces utilizada debido a su simplicidad en el modelamiento y las soluciones que consideran diferentes tipos de geometría y sistemas de cargas)⁴.

2.7.1 Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas

El Módulo Resiliente es uno de los parámetros elásticos más utilizado en el diseño de pavimentos, y corresponde a un comportamiento solamente elástico del material. Las mezclas asfálticas presentan un comportamiento visco-elástico, entonces es necesario también considerar un parámetro visco-elástico, dejando de lado un parámetro eminentemente elástico. El Módulo Complejo Dinámico y el Módulo (de Rigidez) Dinámico están asociadas al comportamiento y modelo visco-elástico de las mezclas asfálticas y actualmente en los métodos de diseño de pavimentos están reemplazando a los módulos resilientes.

2.7.1.1 Módulo Complejo Dinámico

La diferencia entre el ensayo para obtener el Módulo Resiliente y el Módulo Complejo Dinámico, en mezclas asfálticas, es que en el ensayo del Módulo Resiliente se aplica el ciclo de carga por 0.1 s con un período de descanso de 0.9 s. Durante el ensayo del módulo Complejo se aplica una onda sinusoidal sin período de descanso.

⁴ S. Minaya G. Comportamiento Mecánico de Mezclas Asfálticas tipo Superpave y SMA, Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica, UNI-FIC, Sección de Post-Grado. Lima-Perú, en culminación.

El módulo complejo es uno de los muchos métodos para describir la relación esfuerzo-deformación de materiales visco-elásticos. El valor numérico del módulo es un número complejo, la parte real representa la rigidez elástica y la parte imaginaria caracteriza el amortiguamiento viscoso interno de los materiales. El valor absoluto del módulo complejo se denomina Módulo (de Rigidez) Dinámico. El módulo dinámico varía con la frecuencia de carga. Se debe tener en cuenta que el ensayo se debe realizar a la frecuencia que simule las cargas de tráfico para el diseño, el Módulo Dinámico así determinado, será equivalente al Módulo Resiliente para fines de Diseño.

La Teoría del Módulo Complejo se aplica con modelos matemáticos. La siguiente figura muestra el modelo de Kelvin sometido a una carga sinusoidal.

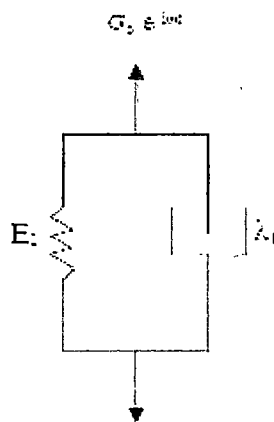


Figura 2.7.1 Modelo de Kelvin sometido a una carga sinusoidal.

La carga sinusoidal se puede representar por un número complejo:

$$\sigma = \sigma_0 \cos(\omega t) + i\sigma_0 \text{sen}(\omega t) = \sigma_0 e^{i\omega t}$$

Donde:

- σ_0 : Amplitud de los esfuerzos
 ω : Velocidad angular

Asimismo, la velocidad angular w se puede relacionar con la frecuencia f según la siguiente fórmula:

$$w = 2\pi f$$

La ecuación diferencial puede tomar la siguiente forma, al asumir que la inercia es insignificante:

$$\lambda_1 \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + E_1 \varepsilon = \sigma_0 e^{iwt}$$

La solución de la ecuación anterior se expresa como:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{i(wt - \phi)}$$

En la ecuación anterior ε es la amplitud de la deformación y ϕ es el ángulo de desfase entre la deformación y el esfuerzo como se puede apreciar en la figura siguiente:

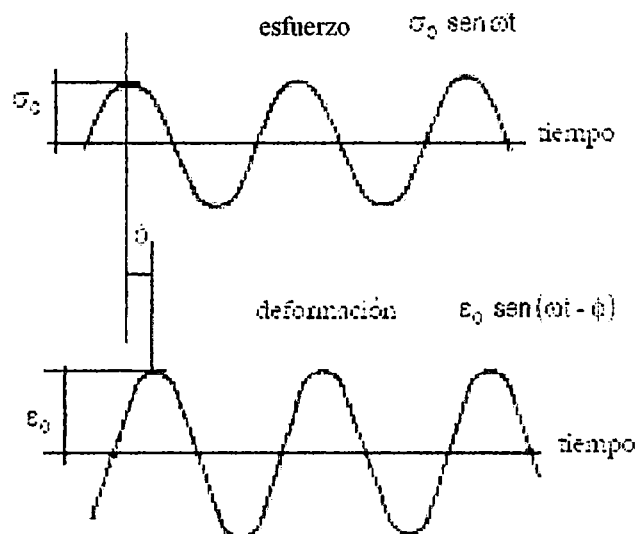


Figura 2.7.2 Desfase entre la deformación y el esfuerzo.

De la combinación de las dos últimas ecuaciones se obtiene:

$$i\lambda_1 \varepsilon_0 w e^{i(\omega t - \phi)} + E_1 \varepsilon_0 e^{i(\omega t - \phi)} = \sigma_0 e^{i\omega t}$$

Resolviendo la ecuación anterior obtendremos:

$$\lambda_1 w \varepsilon_0 \operatorname{sen} \phi + E_1 \varepsilon_0 \cos \phi = \sigma_0$$

$$\lambda_1 w \varepsilon_0 \cos \phi - E_1 \varepsilon_0 \operatorname{sen} \phi = 0$$

Las soluciones de las ecuaciones anteriores son las siguientes:

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{\sqrt{E_1^2 + (\lambda_1 w)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\lambda_1 w}{E_1}$$

De las dos soluciones mostradas podemos ver que para materiales elásticos $\lambda_1 = 0$ y $\phi = 0$. Para materiales viscosos el rango va desde 0 a $\pi/2$. El módulo complejo E^* se define como sigue:

$$E^* = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_0 e^{i\omega t}}{\varepsilon_0 e^{i(\omega t - \phi)}}$$

Ó, también:

$$E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cos \phi + i \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \operatorname{sen} \phi$$

Se puede notar de esta ecuación que la parte real es igual a la rigidez E_1 y la parte imaginaria igual al amortiguamiento interno $\lambda_1 w$.

El módulo complejo E^* indica la rigidez instantánea del material, es decir, la relación entre el esfuerzo y la respuesta deformacional en tiempo real. Sin embargo, se sabe que la característica del comportamiento visco-elástico es la respuesta retardada, la deformación máxima alcanzada se dará en un instante posterior, cuando la carga se haya aplicado y más bien se encuentre en el instante de la descarga. Por ello, el siguiente parámetro a definirse $|E^*|$ representará un comportamiento más realista en el diseño. El módulo dinámico $|E^*|$ ó simplemente E^* es el valor absoluto del módulo complejo:

$$|E^*| = \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cos \phi\right)^2 + \left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \operatorname{sen} \phi\right)^2} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

$|E^*|$ es la rigidez efectiva que estará asociada al daño por deflexión que se producirá en la mezcla asfáltica y representa la relación entre la carga aplicada y la deformación (máxima) en el proceso de carga.

CAPÍTULO III

MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: "CAUCHO ASFALTO"

3.1 Definición del Caucho Asfalto

La Sociedad Americana de Pruebas de Materiales ASTM (American Society Testing Materials) en la norma ASTM D8-88⁵ definió al caucho asfalto como: *"una mezcla de cemento asfáltico, partículas molidas de caucho; en la cual el caucho constituye alrededor de 18% - 22% de la mezcla en peso y que ha reaccionado con el cemento asfáltico lo suficiente como para causar el hinchamiento de las partículas de caucho"*. La reacción se lleva a cabo bajo temperaturas entre 177 °C y 218 °C por alrededor de 45 y 60 minutos.

Por definición el caucho asfalto es preparado usando el proceso húmedo. El caucho asfalto es producido a elevadas temperaturas (≥ 177 °C), bajo alta agitación para promover la interacción física del ligante asfáltico y los constituyentes de caucho, y para mantener las partículas de caucho suspendidas en la mezcla. Distintos destilados de petróleo o extensores (*extender oil*) pueden usarse para reducir la viscosidad, facilitar la aplicación de riego, y promover la trabajabilidad.⁶

3.2 Breve reseña histórica del Caucho Asfalto

El desarrollo tecnológico de la adición de caucho como material de pavimentación asfáltica se inicia en los Estados Unidos en la década de los 30, desarrollándose a partir de la década de los 60.

⁵ American Society of Testing and Materials (ASTM), Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements 1 ASTM D8-97, <http://www.astm.org>

⁶ State of California Department of Transportation, Asphalt Rubber Usage Guide, January 2003

El desarrollo de productos de caucho asfalto para su uso como selladores de juntas, parches, y membranas se remonta a los finales de la década de los 30. A inicios de los años 50, *Lewis y Welborn* de la Oficina de Caminos Públicos (BPR) condujeron un estudio extenso de laboratorio para evaluar "El efecto de distintos cauchos en las propiedades de los asfaltos de petróleo". Los resultados se publicaron en octubre de 1954 junto con los resultados del "Estudio de laboratorio de mezclas de pavimentación Caucho Asfalto", conducido por *Rex y Peck* de BPR. En marzo de 1960, el Instituto del Asfalto tuvo el primer Simposio sobre Caucho Asfalto en Chicago, IL.

En la ciudad de Phoenix del Estado de Arizona, el caucho asfalto es definido como un "proceso húmedo" en el cual el grano de caucho reacciona parcialmente con el cemento asfáltico antes del empleo. Dicho proceso húmedo (llamado también Proceso Mc Donald) fue promovido por Charles H. Mc Donald a mediados de los años 60. Charles Mc Donald, antiguo empleado de la Oficina de Caminos Públicos (US Bureau of Public Roads), obtuvo una fórmula exitosa de Caucho Asfalto. La idea empezó en el techo del camión de Mc Donald cuando viajaba por el país. El techo había sufrido grietas y para repararlas en el camino, recurrió al material que tenía a la mano, asfalto convencional. Sin embargo, con el tiempo, los frecuentes movimientos y la exposición al sol, el asfalto se agrietó, las grietas originales se reflejaron en el asfalto. Entonces pensó que añadir partículas de llantas en la siguiente mezcla podría solucionar el problema. La idea funcionó y la traspasó a los pavimentos, primero sólo para parchar huecos de considerable magnitud, y luego por el éxito obtenido extendió su uso como el material base para los sellos de agregados (chip seal)⁷. Este proceso ha sido usado como sellador de grietas, aplicaciones de riego y ligantes de mezclas en caliente. También en los años 1960 otro proceso fue desarrollado en Suiza conocido como proceso seco, en el cual se reemplaza una pequeña parte (alrededor del 3%) de los agregados por partículas de caucho relativamente grandes.

⁷ Carlson, D. D., and Zhu, H., "Asphalt-Rubber: An Anchor to Crumb Rubber Markets", Third Joint UNCTAD/IRSG Workshop on Rubber and the Environment. International Rubber Forum, Veracruz México. Octubre, 1999.

De mediados de los años 1970 a principios de los años 1980, Arizona Department of Transportation (ADOT) buscó desarrollar un entendimiento fundamental de los ligantes caucho asfalto patrocinando programas de investigación. Esta investigación indicó que las propiedades de las mezclas de caucho asfalto varían dependiendo de: tipo, gradación y concentración del caucho; tipo y concentración de asfalto; tipo y concentración de extensor; y tiempo y temperatura de reacción⁸. En los años 1970, el Departamento de Transportes de California (California DOT) comenzó a evaluar el caucho asfalto para empleo en aplicaciones de riego y en los años 1980 en mezclas en caliente. Otras agencias, incluyendo Arizona y Texas, siguieron el empleo de caucho asfalto tanto para aplicaciones de riego como para mezclas en caliente, durante este periodo.

Durante este periodo Caltrans empezó a experimentar con sello de agregados de caucho asfalto en laboratorio y pequeños parches de prueba (1975), los resultados fueron generalmente favorables. Construyó además el primer pavimento de concreto asfáltico modificado con caucho (proceso seco) en 1978, con un desempeño considerado como bueno. Construyó también el primer pavimento de concreto asfáltico con caucho (proceso húmedo y agregado de gradación densa) en 1980. Ambos pavimentos de concreto asfáltico con caucho se desempeñaron supuestamente bien en resistencia a la abrasión y agrietamiento por reflexión. Caltrans siguió construyendo más proyectos. Por 1987, estaba claro que los pavimentos delgados de concreto asfáltico con caucho se desempeñaban mejor que los concretos asfálticos de gradación densa (Dense Graded Asphalt Concrete) convencionales más gruesos.

En 1992, se instituyó un mandato federal sobre el empleo de caucho asfalto. Esto resultó en varios estudios dirigidos por la Administración Federal de Carreteras (FHWA). Antes que todo los estudios se completen el mandato fue revocado y las patentes sobre el ligante de caucho asfalto habían expirado. Esto resultó, particularmente en Arizona y California, en un número de nuevos productores de ligante caucho asfalto. Esto sucedió a la vez que California fue

⁸ Hicks, R.G., Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines – Volume I: Design Guidelines. Oregon State University, Corvallis, OR, January 2002.

expandingo su empleo de caucho asfalto debido al buen desempeño inicial. Por consiguiente, muchos proyectos construidos durante este periodo experimentaron problemas tempranos, debido a que fueron usados en un mal lugar o porque no fueron construidos correctamente, o porque no se encontraron especificaciones del ligante. En marzo de 1992 Caltrans publicó la "Guía de Diseño para Mezclas en Caliente Caucho Asfalto de Gradación Incompleta (ARHM GG)", basada en las revisiones de estudios y proyectos. Se siguieron construyendo nuevos proyectos; sin embargo, parte de los problemas antiguos relacionados con la selección del producto, diseño y la construcción continuaron surgiendo, acumulando mayores fracasos al experimentar con esta nueva tecnología. El propósito de esta Guía era resolver tales problemas y aumentar el desempeño de pavimentos de caucho asfalto que se diseñasen y fuesen construidos en el futuro. Una especificación del Ligante Modificado (Modified Binder – MB) se desarrolló en los inicios de la década de los 90. Se construyeron proyectos pilotos que incluyeron mezclas de gradación densa e incompleta, entre diciembre 1997 y noviembre 1999, para evaluar el desempeño de los materiales que reúne la especificación MB. Proyectos pilotos adicionales se planearon para su construcción entre los años 2003 y 2004.

En la primavera del 2001, ADOT en cooperación con la FNF Construction Inc., se involucró en una investigación y plan de ensayos con la Arizona State University (ASU). El plan involucra la caracterización de mezclas y ligantes caucho asfalto para determinar sus propiedades para el futuro uso en la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 2002. Una parte adicional del plan a largo plazo es empezar a construir una base de datos para apoyar la nueva Guía de Diseño de Pavimentos 2002. El plan era caracterizar las mezclas caucho asfalto de varios proyectos para representar diferentes clases de ligante asfalto, diferentes agregados y diferentes climas representativos de Arizona.

Actualmente el caucho asfalto ha entrado a una etapa de evaluación y difusión en distintos países del mundo y de América Latina, lo cual se prueba en los distintos trabajos presentados en el Congreso Mundial sobre caucho asfalto realizado en diciembre del 2003 en Brasil, en el cual países como Chile,

Argentina y el mismo Brasil muestran el estado de práctica alcanzado por cada uno.

3.3 Tipos de Procesos

Existen dos tipos de procesos en los cuales interviene la adición de granos de caucho (los cuales consisten de caucho reciclado que ha sido reducidos a tamaños menores que el tamiz $\frac{1}{4}$ " de 6.3 mm) en la mezcla asfáltica, dichos procesos son:

- Proceso húmedo (*wet process*)
- Proceso seco (*dry process*)

En 1991 en los Estados Unidos, la Federal Highway Administration (FHWA) introdujo una terminología estándar para mejorar la capacidad de transmitir las experiencias al evaluar procesos con granos de caucho modificador⁹. En la figura 3.3.1 se define y resume dicha terminología.

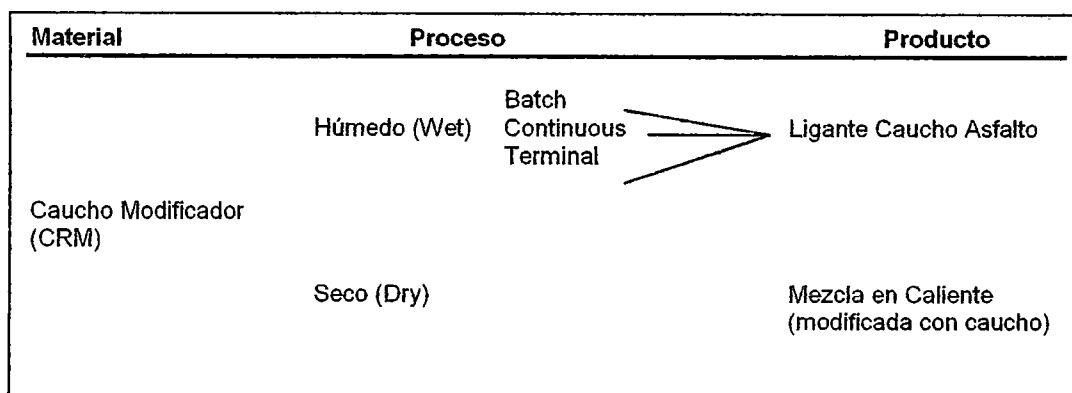


Figura 3.3.1 Tipos de procesos.

⁹ Sacramento County DERA and Bollard & Brennan, Inc. Rubberized Asphalt Traffic Noise Reduction Study, 1999.

3.3.1 Proceso Húmedo (*Wet Process*)

El proceso húmedo o también llamado proceso Mc Donald consta de la adición de granos de caucho molido, directamente mezclados con el ligante asfáltico para producir una mezcla caucho asfalto, la cual es usada como ligante modificado. El porcentaje de caucho según la ASTM es alrededor de 18% - 22% respecto al peso total del ligante, y varía dependiendo del ligante. La reacción se realiza a temperaturas desde los 177 °C hasta 218 °C (350 °F – 425 °F) por espacio de 45 a 60 minutos¹⁰. Se busca que el asfalto reaccione física y químicamente con las partículas de caucho, como es mostrado en la figura 3.3.2. De esta manera las partículas de caucho absorben el asfalto permitiendo mayor concentración de asfalto líquido en la mezcla. Después de que la modificación del ligante asfáltico es lograda, este ligante modificado caucho asfalto es mezclado con los agregados para producir la mezcla modificada caucho asfalto usando equipos y técnicas convencionales. En lo sucesivo cuando se hable o nombre la mezcla caucho asfalto, nos estaremos refiriendo al proceso húmedo, (también llamado proceso Mc Donald o proceso Arizona).

Este método de mezclado se puede dividir a su vez en tres categorías dependiendo del proceso de manufacturación: *batch blending*, *continuous blending* y *terminal blending*. El proceso *batch blending* define aquellas tecnologías de procesos que mezclan lotes de caucho modificador y cemento asfáltico en la producción. El proceso *continuous blending* describe aquellas tecnologías de proceso húmedo que tienen un sistema de producción continua, esto se debe a su inestabilidad de almacenaje por lo cual debe ser producido con un equipamiento de mezclado en una planta de mezcla en caliente en el sitio e inmediatamente usado. El proceso *terminal blending* esta asociado con tecnologías de proceso húmedo que tiene productos con características de almacenamiento extendido (*shelf life*) y son producidos en un terminal de suministro de cemento asfáltico; dicho caucho asfalto almacenable es apropiadamente formulado con caucho fino de neumáticos desechados

¹⁰ Sotil A., Douglas D. Carlson and Kamil E. Kaloush, Ph.D., P.E., Adición de Caucho Vulcanizado Desechado (Llantas) en pavimentos Treinta años de experiencia en Arizona – EEUU, I Congreso Internacional de la Construcción 2002, Lima – Perú, Octubre – Noviembre 2002.

(partículas menores que el tamiz N° 60), y mezclado para lograr un estado estable y relativamente homogéneo; con este proceso se da un ahorro de tiempo y costo, permitiendo así que el material sea mezclado en una ubicación terminal y transportado al sitio de trabajo.

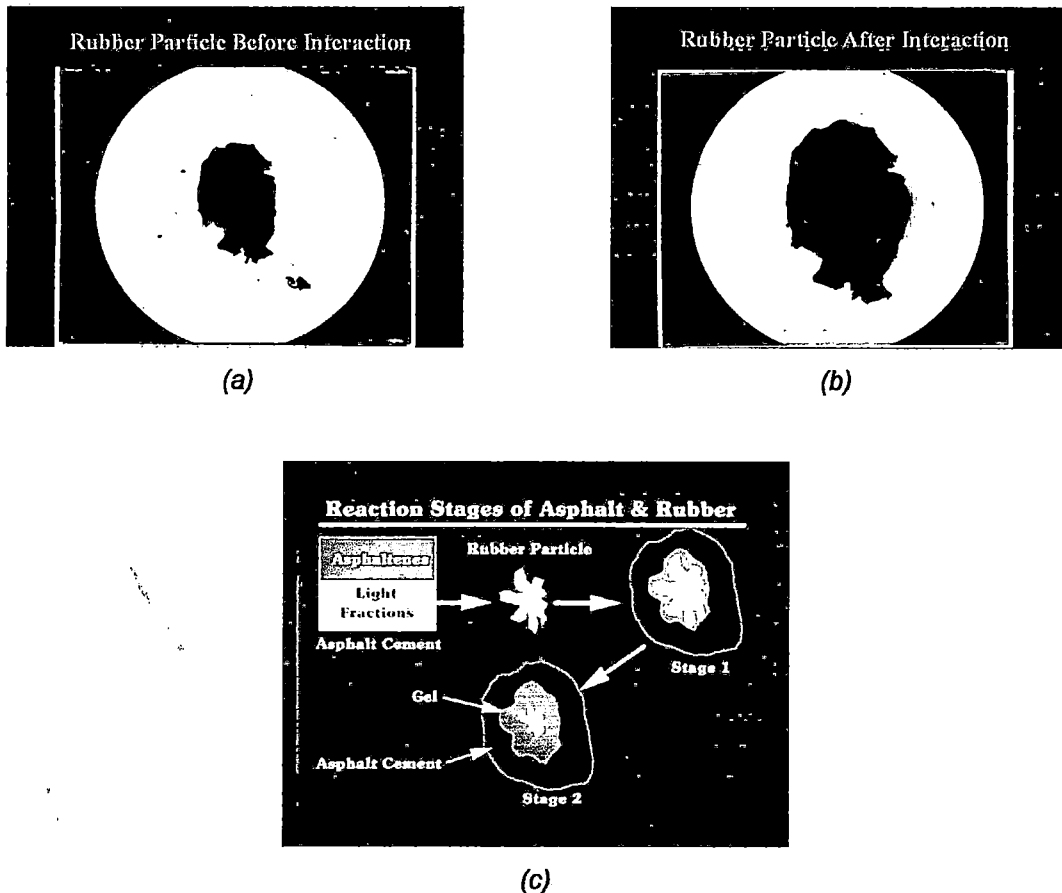


Figura 3.3.2 Proceso Húmedo. (a) Partícula de caucho antes de reaccionar. (b) Partícula de caucho después de reaccionar. (c) Etapas de la reacción entre asfalto y caucho.

El ligante modificado (caucho asfalto) producto de esta mezcla sirve para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente y como ligante en reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, y construcción de membranas retardantes de fisuras.

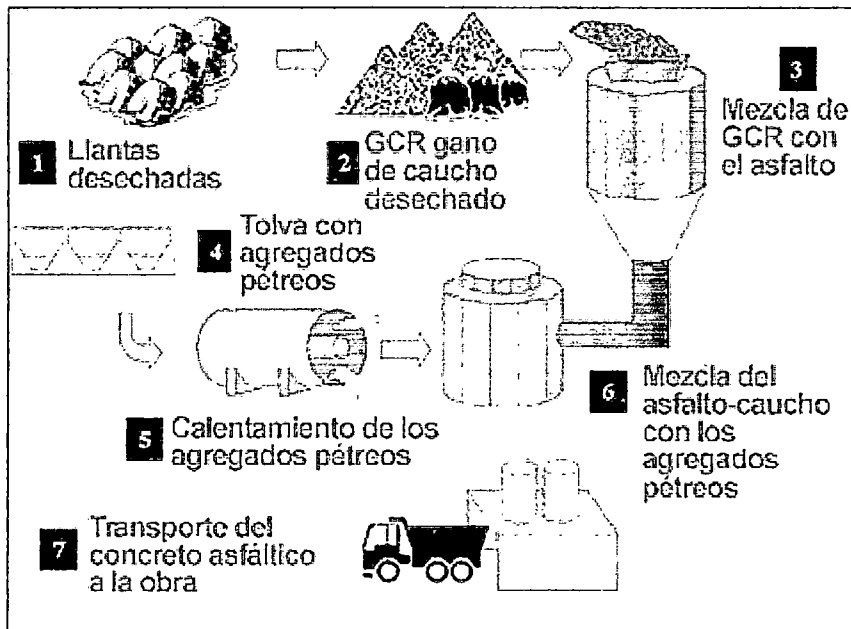


Figura 3.3.3 Esquema de procesos de producción del proceso húmedo (caucho asfalto).

Dentro del proceso húmedo encontramos dos tipos de mezcla usadas en California, las cuales difieren según el tipo de caucho usado en la modificación del ligante asfáltico. El tipo 1, que consiste sólo de caucho de trozos de neumáticos y el tipo 2 que consiste de 75% de caucho de trozos de neumáticos y 25% de fuentes de caucho natural y un aceite extensor para mejorar las propiedades al agrietamiento por reflexión. De estas mezclas Caltrans recomienda usar los ligantes tipo 2. El ligante tipo 1 es usado también tanto en California como en Arizona.

En Arizona, el caucho asfalto desarrollado y usado es una mezcla de aproximadamente 20% de caucho molido de neumáticos (granos de caucho) obtenido de neumáticos reciclados o de fabricación defectuosa. El caucho molido de neumáticos es añadido y mezclado con el cemento asfáltico a elevadas temperaturas. Después de la interacción, el producto caucho asfalto caliente ha adquirido propiedades elastoméricas únicas. El caucho asfalto caliente es entonces bombeado dentro de una planta en caliente convencional y mezclado con el agregado y colocado similar a una mezcla asfáltica en caliente, excepto

por unas diferencias poco significantes¹¹. Las diferencias significantes que existen, están relacionadas a la gradación del agregado mineral y al porcentaje de ligante. La mezcla caucho asfalto caliente es generalmente, o de gradación incompleta (*gap – graded*) o de gradación abierta (*open – graded*). Las mezclas de gradación incompleta contienen alrededor de 7.5% de ligante caucho asfalto y se coloca generalmente como capa estructural final de 1.5" a 2" de espesor. Las mezclas de gradación abierta contienen generalmente 9% de dicho ligante y son colocados como la capa final de desgaste de 0.5" a 1.0" de espesor. El diseño para estas dos mezclas son típicamente de un tipo volumétrico y poco ha sido publicado o investigado acerca de las características ingenieriles del ligante o de la mezcla en términos de la información necesaria para la nueva Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 2002.

En la mezcla en planta cuando se trabaja con el proceso húmedo, el caucho molido es introducido dentro de una cámara mezcladora, también conocida como reactor, la cual está llena de ligante asfáltico a temperaturas de 240 °F a 400 °F (116 °C a 204 °C). Después de la reacción del caucho y el ligante asfáltico, la mezcla es almacenada en un tanque mezclador calentado o llevada directamente dentro de la planta de asfalto en lugar del ligante asfáltico normal.

El caucho asfalto es el proceso objeto de este estudio. A continuación se detalla el proceso seco, que viene a ser el segundo método que incluye granos de caucho molido.

3.3.2 Proceso Seco (*Dry Process*)

El proceso seco a diferencia del proceso húmedo tiene a las partículas de caucho como agregado, los cuales no han reaccionado completamente con el ligante asfáltico. En este proceso el caucho sustituye parte de la fracción fina de la mezcla, en un porcentaje entre 1% y 4% respecto al peso total de los

¹¹ Kamil E. Kaloush, Matthew W. Witzak, George B. Way, Performance Evaluation of Arizona Asphalt Rubber Mixtures Using Advanced Dynamic Material Characterization Tests, Arizona State University, FNF Construction INC, ADOT, Julio 2002.

agregados. El tamaño de partículas de caucho en este proceso varía entre 2.0 mm (Nº 10) y 6.3 mm (1/4").

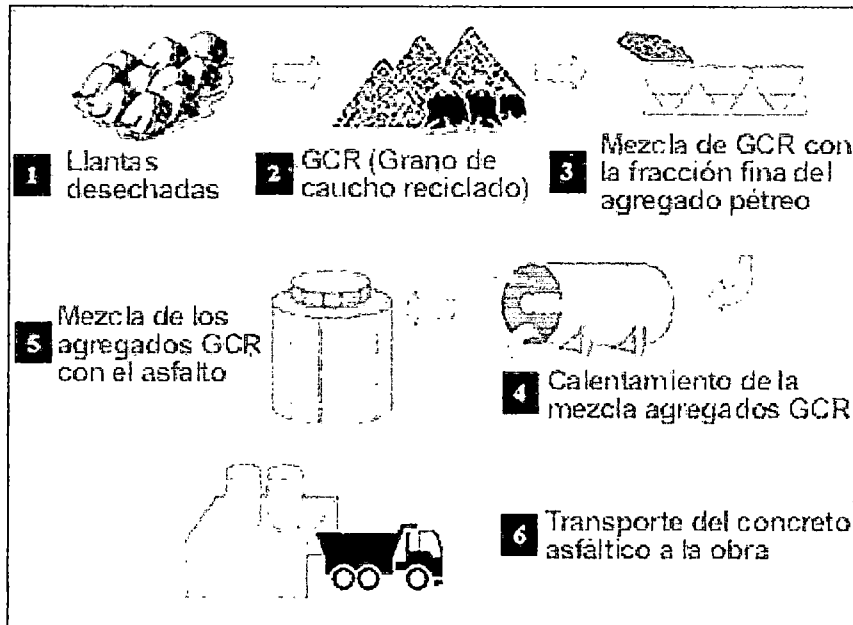


Figura 3.3.4 Esquema de procesos de producción del proceso seco.

Este proceso provee un método para mezclar el caucho con el cemento asfáltico y los agregados sin el uso de equipo adicional especial necesitado en el proceso húmedo. Existen algunos problemas técnicos asociados con este método, pero nuevas tecnologías están siendo introducidas, las cuales están mejorando este proceso.

Algunas ventajas del uso del proceso seco son el fácil manejo del material y el hecho que mucho menos equipamiento es necesario para el proceso de mezclado del caucho y el cemento asfáltico.

3.3.3 Diferencias entre los procesos

Las principales diferencias¹² entre los procesos húmedo y seco son dadas a continuación:

- *Tamaño de partícula*: los granos de caucho usados en el proceso seco son generalmente de mayor tamaño que aquellos usados en el proceso húmedo.
- *Cantidad de caucho*; en el proceso seco los granos de caucho pueden representar encima de 3% en relación a la masa total de la mezcla, mientras que en el proceso húmedo, el caucho puede representar encima del 25% en relación a la masa del ligante ó 1.5% en relación a la mezcla. Por lo tanto, el proceso seco puede usar encima de dos veces tanto caucho como en el proceso húmedo.
- *Función del caucho*; en el proceso seco, el grano de caucho puede actuar tanto como un agregado o como un agente modificador del ligante, mientras que en el proceso húmedo, el caucho actúa principalmente como un modificador del ligante. El grado de modificación del ligante depende de distintos factores, incluyendo el tamaño y la superficie áspera del caucho, la proporción del cemento asfáltico y el caucho, el tiempo y la temperatura de reacción, la compatibilidad con el caucho y el grado de energía mecánica durante el mezclado.
- *Facilidad de incorporación*; en el proceso seco, no se requiere un equipamiento especial ni cambios significativos en la planta, mientras que en el proceso húmedo se requieren cámaras especiales de mezclado, además de tanques de mezclado y reacción. El costo por movilización del equipamiento es pasado en el precio del ligante, elevando más el costo para el proceso húmedo cuando es comparado con el proceso seco.

Aunque el proceso seco presenta algunas ventajas al compararlo con el proceso húmedo, principalmente concernientes a costos y a la mayor cantidad de caucho usado, las investigaciones alrededor del mundo se han concentrado

¹² Roberts, F. L., P. S. Kandhal, E. R. Brown, and R. L. Dunning, Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report No. 89-3, 1989.

sobre el proceso húmedo. Esto se debe al irregular desempeño de algunas secciones experimentales construidas con el proceso seco, a diferencia del proceso húmedo, el cual ha presentado más resultados satisfactorios. La tecnología del proceso húmedo está mejor fundada, incluyendo el desarrollo de equipamiento especial, y el desempeño en campo indica que la presencia de caucho produce efectos benéficos. Los análisis de laboratorio y observaciones de campo indican un incremento en la vida de servicio que puede compensar el alto costo inicial.

Actualmente el único proceso aprobado para usar por el Departamento de Transportación de California (Caltrans) es el proceso húmedo.

3.4 Ventajas del Caucho Asfalto

El ligante modificado caucho asfalto ha mostrado tener ventajas con relación a los ligantes convencionales, lo cual se ha reflejado en el mejorado desempeño de la mezcla caucho asfalto.

Según Caltrans¹³ la principal razón para usar el ligante asfáltico modificado caucho asfalto es que este proporciona propiedades ingenieriles significativamente mejoradas con respecto a los ligantes asfálticos convencionales. Las mezclas asfálticas preparadas con este ligante se pueden diseñar para su desempeño en cualquier tipo de clima. A intermedias y altas temperaturas las características físicas del ligante asfáltico modificado son diferentes a la de los ligantes asfálticos convencionales. El caucho rigidiza el ligante e incrementa la elasticidad (proporción de la deformación que es recuperable) sobre este rango de temperatura de operación del pavimento, lo cual disminuye la susceptibilidad térmica del pavimento, mejorando así la resistencia a la deformación permanente (*rutting*) y a la fatiga con poco efecto sobre las propiedades a bajas temperaturas. Otra de las ventajas que podemos incluir es el uso del material desechado el cual forma parte del mayor problema

¹³ State of California Department of Transportation, Asphalt Rubber Usage Guide, January 2003

social de estos tiempos, el manejo de desechos sólidos y la contaminación. En la mayoría de casos el destino de estos neumáticos inutilizables es la quema indiscriminada, lo cual genera contaminación; esto genera un valor añadido al uso de los neumáticos.

Agencias Estadounidenses como Caltrans y Arizona Department of Transportation (ADOT) han seguido el desempeño de esta mezcla modificada encontrando muchos beneficios estructurales, ambientales, económicos y sociales¹⁴.

3.4.1 Ventajas Estructurales y Serviciales

Entre las principales ventajas encontradas al usar el ligante modificado se tiene las siguientes:

- *Retención del agregado*; mejora la retención en sello de agregados; debido al espesor de la película de asfalto.
- El *ligante caucho asfalto* tiene incrementada elasticidad y resiliencia a altas temperaturas. Incrementada viscosidad que permite mayores espesores de película, sin excesivo escurrimiento (*draindown*) o sangrado de la mezcla.
- Mayor *resistencia* al agrietamiento iniciado en la superficie, resistencia al agrietamiento por fatiga y reflexión debido a altos contenidos de ligante y a la elasticidad. Más *Resistencia* al envejecimiento y a la oxidación debido al alto contenido de ligante, películas más gruesas del mismo y a antioxidantes presentes en el caucho de neumáticos. *Resistencia* mejorada a la deformación permanente debido al punto de ablandamiento, alto contenido de ligante y la resiliencia (más rígido, ligante más elástico a altas temperaturas).
- *Durabilidad*; los pavimentos de caucho asfalto tienen durabilidad excelente en términos de resistencia al agrietamiento y envejecimiento.
- *Reducida susceptibilidad térmica* del pavimento.

¹⁴ Hicks, R.G., Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines – Volume I: Design Guidelines. Oregon State University, Corvallis, OR, January 2002.

- **Constructabilidad;** los pavimentos de caucho asfalto son colocados con maquinaria y pueden ser usados por el tráfico casi inmediatamente; no requieren ninguna demora que permita curar al pavimento.
- **Versatilidad;** la versatilidad del caucho asfalto es evidente a través de todo el estado de California y en otras partes de los Estados Unidos y del mundo. Muchas de las calles y caminos de California y Arizona se han revestido con caucho asfalto, esto es un testimonio claro de su rentabilidad, constructabilidad, y facilidad de mantenimiento.
- **Seguridad;** los pavimentos de caucho asfalto proveen superficies seguras con fricción superficial buena para todos los usuarios. Proporciona un contraste mejorado a largo plazo para las marcas del pavimento, debido a que el negro de carbón en el caucho actúa como un pigmento que mantiene más negro el pavimento. Este contraste proporciona mayor visibilidad nocturna. En el caso de mezclas de gradación abierta (*open – graded*), estas ofrecen la ventaja de reducir la salpicadura y encharcamiento durante las tormentas de lluvia debido a su textura abierta.

3.4.2 Ventajas Ambientales

- La principal ventaja ambiental es que se hace empleo de un material de desecho, ayudando así a preservar el medio ambiente, ya que las llantas que se acumulan en depósitos de desechos forma parte del problema de desechos sólidos, gran parte del problema ambiental de la sociedad moderna.
- Reduce el ruido que se produce ante la fricción del neumático y la carpeta asfáltica; debido al espesor de la película de ligante incrementada y la textura abierta, la disminución está en el orden de 3 a 5 dB.

3.4.3 Ventajas Económicas

Son rentables, sus costos de construcción así como su larga vida (cuando es apropiadamente construido y diseñado) son cualidades importantes.

- Reduce el *tiempo de construcción* porque menos material es colocado (menos espesores).
- Ahorro en *energía y recursos naturales* pues se usan productos desechados y al durar más tiempo se hacen menos trabajos de re-capeo, etc.
- Por su *versatilidad* puede ser usado en la mayor parte de actividades de mantenimiento y rehabilitación.
- Por su mejor desempeño puede ser usado en *espesores reducidos*, ahorrando así en costos de materiales.
- Más *bajos costos de mantenimiento* del pavimento debido al mejorado desempeño del pavimento cuando es correctamente diseñado y construido.
- En adición, el tiempo requerido para *mantenimiento y rehabilitación* de pavimentos de caucho asfalto reduce el retraso de los usuario.

3.4.4 Reciclabilidad

Un atributo principal de los pavimentos de caucho asfalto es su capacidad de ser completamente reciclado. No sólo el agregado puede ser reutilizado, el ligante caucho asfalto conserva la mayor parte de sus propiedades cementantes y también puede ser reutilizado en una nueva mezcla. Dicho reciclaje al igual que en mezclas convencionales estará sujeto a previa evaluación de sus propiedades.

3.5 Limitaciones del Caucho Asfalto

Aunque los materiales de caucho asfalto, usados en pavimentación han demostrado ser exitosos, estos no son la solución a todos los problemas de los pavimentos. Algunas de las limitaciones del caucho asfalto que han sido reportados por agencias de los Estados Unidos como California¹⁵ (Caltrans), Arizona¹⁶ (ADOT) y otras, incluyen las siguientes:

¹⁵ State of California Department of Transportation, Asphalt Rubber Usage Guide, January 2003

¹⁶ Hicks, R.G., Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines – Volume I: Design Guidelines. Oregon State University, Corvallis, OR, January 2002.

- *Costos unitarios más altos*; que son compensados usando espesores reducidos; resultando en costos más bajos del ciclo de vida. Como tal, se utilizan sobretodo sólo en capas superficiales.
- *Desempeño inconstante*; ocurrido en el pasado, debido principalmente a prácticas pobres de construcción o construcción durante tiempo inclemente. Estas deficiencias se han corregido a través de especificaciones mejoradas.
- *Mano de obra dificultosa*, debido a que los materiales de caucho asfalto son a menudo más difíciles de operar; esto se debe a las gradaciones gruesas y a la rigidez de la mezcla.
- *La construcción puede ser más complicada*; debido a que las exigencias de temperatura son más críticas. Las mezclas de concreto asfáltico con caucho de Gradación Incompleta (Rubberized Asphalt Concret Gap – RAC G) y concreto asfáltico con caucho de Gradación Abierta (Rubberized Asphalt Concret Open – RAC O) se deben compactar a temperaturas más altas que las mezclas convencionales DGAC porque el caucho rigidiza el ligante a temperaturas altas. También, las mezclas gruesas de gradación incompleta (*gap – graded*) pueden ser más resistentes a la compactación debido a la naturaleza piedra – piedra de la estructura del agregado.
- Si el trabajo sufre un *retraso* por más de 48 horas después de haber sido mezclado el caucho asfalto, algunos ligantes pueden no ser utilizables. La razón es que el caucho modificador (GCM) ha sido digerido hasta tal punto que no es posible lograr la viscosidad mínima especificada, aun así, si más caucho modificador es añadido de acuerdo con los límites especificados.
- *Producto pegajoso*; las mezclas caucho asfalto son más propensas a salir de la superficie del pavimento.
- *Raveling y flushing*; han sido reportados problemas tales como el temprano *raveling* (erosión o desprendimiento superficial) o *flushing* (exceso de ligante asfáltico en la superficie, también llamado *bleeding*). Estos a menudo son relacionados con el control de calidad de construcción.
- *Agrietamiento*; como la mayor parte de los pavimentos, el caucho asfalto exhibirá agrietamiento por fatiga o agrietamiento por reflexión. Sin embargo, su resistencia al agrietamiento es muy buena cuando es empleado en el correcto uso y/o espesor. Muchos de los problemas reportados de

agrietamiento temprano han sido asociados con el empleo de caucho asfalto como una última instancia de corregir un pavimento en mal estado.

- *Costos de movilización de equipos* para mezclas de caucho asfalto; para proyectos grandes, este costo se puede distribuir sobre un tonelaje suficiente de modo que el aumento del precio unitario pueda ser compensado con un aumento de vida útil, costos de conservación menores, y espesores reducidos. Para proyectos pequeños, sin embargo, el costo de movilización es el mismo, teniendo como resultado el incremento mayor en el precio unitario ya que no puede ser compensado completamente.
- *Uso poco conveniente en DGAC*; el caucho asfalto no es muy conveniente para uso en concreto asfáltico de gradación densa (Dense Graded Asphalt Concrete DGAC). La gradación de este agregado no permite el aumento suficiente en el contenido de ligante para aumentar el desempeño de las mezclas de gradación densa; no permitiendo justificar el alto costo adicional del ligante caucho asfalto.
- Problemas potenciales de *olor* y de *calidad del aire*.

3.6 Consideraciones Ambientales y Sociales

Dentro del aspecto ambiental, según los reportes y documentos elevados del seguimiento del desempeño de los proyectos ejecutados con la mezcla modificada, se ha concluido que existen beneficios al utilizar los materiales de caucho asfalto. Sin embargo, existen también algunas preocupaciones con respecto a las emisiones de las operaciones de producción de la mezcla en caliente y de pavimentación.

El principal de los beneficios es la *disminución de neumáticos en los depósitos de desechos*, debido al uso secundario de estos neumáticos desechados. Por consiguiente la subsiguiente contaminación por la quema indiscriminada de dichos desechos sólidos sería considerablemente reducida.

Los neumáticos desechados pueden usarse como combustible, pero el valor del caucho se consume y la acumulación de ceniza que resulta del quemado,

basura y residuos sigue siendo un problema. Los productos de pavimentación de caucho asfalto proporcionan un "valor agregado" por medio de la reutilización de materiales de caucho desechados. El caucho aumenta las propiedades físicas de los materiales de pavimentación resultantes sobre la vida del pavimento, y así proporciona un beneficio a largo plazo para los pagadores de impuesto y transportistas públicos.

Disminución del ruido; como ya fue anotado, el ruido reducido del tráfico (ruido de neumático principalmente) es otro beneficio importante que se ha documentado en Europa (Bélgica, Francia, Alemania, Austria, Países Bajos), Canadá, Arizona y California (Orange y condados de LA). Significativas reducciones en el ruido por tráfico, variando de 40 al 88%, han sido medidas no sólo para concretos asfálticos con caucho (RAC) de gradación abierta, sino también para aquellas de gradaciones incompletas. Un estudio realizado por el condado de Sacramento¹⁷ (EE.UU.) mostró que las mezclas de concreto asfáltico con caucho (RAC) han continuado manteniendo bajo el nivel del ruido por tráfico después de seis años, mientras que en mezclas de concreto asfáltico con caucho de gradación densa (DGAC) convencionales vuelven a niveles de pre-pavimentación dentro de cuatro años.

3.6.1 Problemas y preocupaciones

Se espera que las temperaturas altas y los aceites extensores sumamente aromáticos involucrados en el ligante caucho asfalto y la producción de la mezcla, aumenten la cantidad de emisiones (vapores y humos) engendrados por la producción y la construcción de productos de asfalto. Esto no necesariamente es cierto. Varios estudios de emisiones se han realizado durante los últimos 10 a 15 años, en los Estados Unidos. El olor distintivo del caucho asfalto continúa provocando cierta preocupación acerca de estas emisiones, porque las personas tienen la costumbre de pensar que los olores fuertes indican peligro.

¹⁷ Sacramento County DERA and Bollard & Brennan, Inc., Rubberized Asphalt Traffic Noise Reduction Study, 1999.

Resultados de pruebas indican generalmente que las emisiones medidas durante la producción de caucho asfalto en plantas de concreto asfáltico son las mismas que en las mezclas en caliente convencionales y que las cantidades de algún componente y partículas peligrosas están por debajo de los límites establecidos. Sin embargo en algunos casos de producción de concreto asfáltico con caucho ha habido un incremento significativo de partículas dentro de los vapores que ha sido vinculado al uso de cementos asfálticos suaves que a menudo incluyen extensores (extender oil). Las emisiones de la planta generalmente están más directamente influenciadas por la elevada temperatura de la planta operadora, el combustible del quemador y la clase de asfalto que por los granos de caucho modificador (CRM). Entonces el cuidado debe ir por el lado de esos factores antes que por el uso del grano de caucho.

El CRM (GCM) no incluye sustancias químicas exóticas que presenten riesgos nuevos para la salud¹⁸. Consiste en su mayor parte de varios tipos de caucho y otros hidrocarburos, carbón negro, petróleos y masillas inertes.

El uso de caucho asfalto no parece aumentar los riesgos de salud del personal en la pavimentación, inclusive operarios, operarios de rodillo, operarios en camiones distribuidor y en otros trabajadores. Algunos estudios realizados en California del Sur, como: *"Exposure of Paving Workers to Asphalt Emissions, (When Using Asphalt Rubber Mixes)"*, que fue iniciado en 1989 y cuyos resultados fueron publicados en 1991, mostraron lo antes mencionado.

¹⁸ State of California Department of Transportation. Asphalt Rubber Usage Guide. January 2003

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y APLICACIONES

Los ligantes caucho asfalto pueden usarse en mezclas en caliente, en aplicaciones de riego como superficies o intercapas. De la selección del producto apropiado para el uso buscado (mantenimiento, rehabilitación o construcción) y del diseño óptimo dependerá el éxito del proyecto que incluya a esta mezcla modificada como alternativa de solución.

Las especificaciones desarrolladas por algunas agencias Estadounidenses para productos de caucho asfalto consideran ciertos factores importantes para su desarrollo, los cuales se mencionan a continuación:

- Requerimientos de las propiedades físicas y químicas de los granos de caucho, incluyendo su granulometría.
- Requerimientos para el suministrador, quien debe certificar tanto las propiedades físicas como químicas de los granos de caucho.
- Los procedimientos de muestreo y ensayo tanto para el caucho modificador como para el caucho asfalto se deben definir claramente.
- Se debe exigir al suministrador del producto que entregue un diseño del ligante caucho asfalto.
- Se debe exigir también al contratista ejecutor del proyecto una fórmula de trabajo de la mezcla, que especifique la fuente, composición y propiedades de los agregados, ligante caucho asfalto y aditivos para cada mezcla suministrada.
- La importancia de las temperaturas de mezcla y compactación debe enfatizarse, ya que estos factores en productos de caucho asfalto son más críticos para asegurar el buen desempeño de los pavimentos.
- El método de mezclado y combinación del cemento asfáltico y el caucho modificador deben ser bien definidos, particularmente con respecto a la temperatura de mezclado y al tiempo de curado.
- El equipo necesario para la compactación debe ser especificado.

4.1 Diseño del Ligante Caucho Asfalto

El suministrador del ligante caucho asfalto deberá facilitar, con anticipación a la ejecución del proyecto, el diseño que incluya la fuente y cantidad de caucho modificador y del diluyente (extensor), si se usa, así como los resultados de las pruebas de las propiedades físicas especificadas. Según las especificaciones de Caltrans, se deberán entregar muestras del ligante caucho asfalto preparado al Ingeniero responsable, al menos dos semanas antes de lo programado para su uso en el proyecto. Es recomendable también que se solicite la carta viscosidad vs. tiempo y temperatura. Con esto se permite al ejecutor evaluar la estabilidad tiempo / temperatura de la mezcla.

4.1.1 Especificaciones de diseño

Existen especificaciones propuestas por las agencias de los EE.UU. quienes han trabajado con estas mezclas modificadas y han obtenido cierta experiencia en su aplicación. Dichas especificaciones contienen los requerimientos para el correcto y adecuado diseño del ligante asfáltico modificado.

4.1.1.1 Grano de Caucho Modificador

Las especificaciones para el caucho molido modificador se basan normalmente en términos de propiedades físicas y/o químicas, las que incluyen: tamaño/gradación, gravedad específica, extracto acetónico, ceniza, carbón negro, hidrocarburo de caucho, y contenido de caucho natural.

Las especificaciones propuestas por Caltrans exigen un $20 \pm 2\%$ de contenido de caucho modificador por masa total de ligante (como está especificado en la sección SSP-39, *Standard Special Provisions – Pavements Specifications*). Existen dos tipos de granos de caucho modificador (tipo 1 y tipo 2) especificados en las SSP y varían según su composición. Caltrans sólo considera los granos de caucho modificador del tipo 2 el cual debe incluir $25 \pm$

2% por masa de caucho natural (grano de caucho modificador) y $75 \pm 2\%$ de trozos de neumático (grano de caucho modificador). Los trozos de neumático consisten principalmente de partículas de tamaños entre 2 mm a 600 μm (tamices N° 10 a N° 30). El caucho natural es un tanto más fino, mayormente entre 1.18 mm a 300 μm . La gradación del caucho molido modificador puede influenciar la interacción de la mezcla caucho asfalto; una gradación gruesa generalmente requiere más tiempo para reaccionar que una más finamente molida. Las gradaciones típicas se dan en las *tablas 4.1.1 (a y b)*. Asimismo las *figuras 4.1.1 (a y b)* muestran los husos correspondientes.

También es añadido un modificador asfáltico (diluyente extensor); a una tasa de 2.5 a 6% por masa del ligante asfáltico. Dicho modificador asfáltico conjuntamente con el caucho natural son usados para mejorar la interacción del caucho asfalto. El extensor (diluyente) actúa como un agente compatibilizante suministrando pequeñas moléculas aromáticas que hinchan las partículas de caucho y la ayudan a dispersarse en el asfalto.

Tabla 4.1.1 Típica Gradación de Caucho molido modificador

(a) Tipo 1

Tamiz #	Tamaño de tamiz (mm)	% Pasa
10	2.0 mm	100
16	1.18 mm	75-100
30	600 μm	25-100
50	300 μm	0-45
100	150 μm	0-10
200	75 μm	0

(b) Tipo 2

Tamiz #	Tamaño de tamiz (mm)	% Pasa	
		Trozos de neumático (GCM)	Caucho Natural (GCM)
8	2.36 mm	100	100
10	2.00 mm	98-100	100
16	1.18 mm	45-75	95-100
30	600 μm	2-20	35-85
50	300 μm	0-6	10-30
100	150 μm	0-2	0-4
200	75 μm	0	0-1

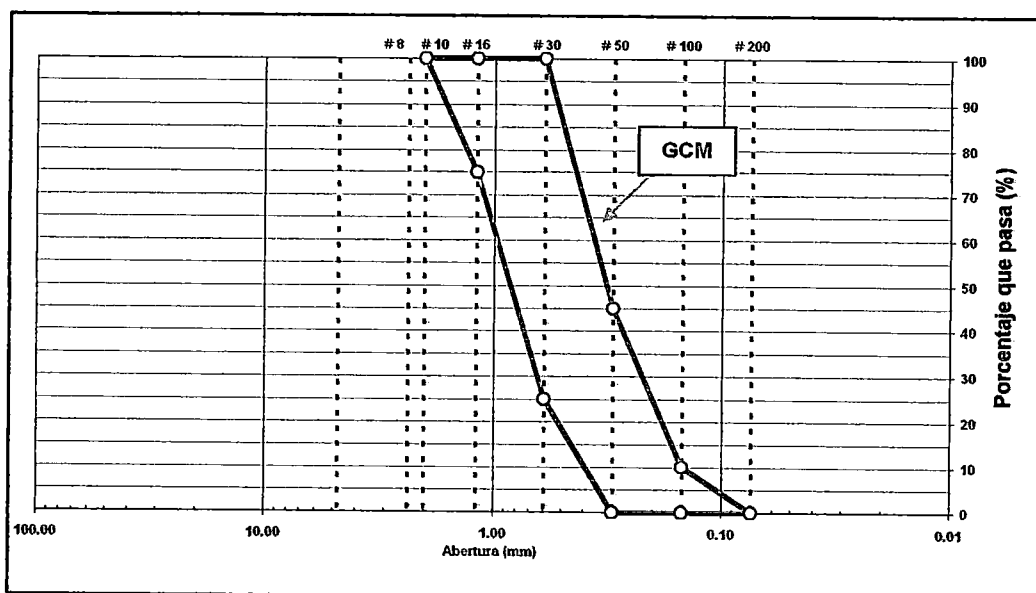


Figura 4.1.1 (a) Huso granulométrico para la gradación tipo I (según Caltrans).

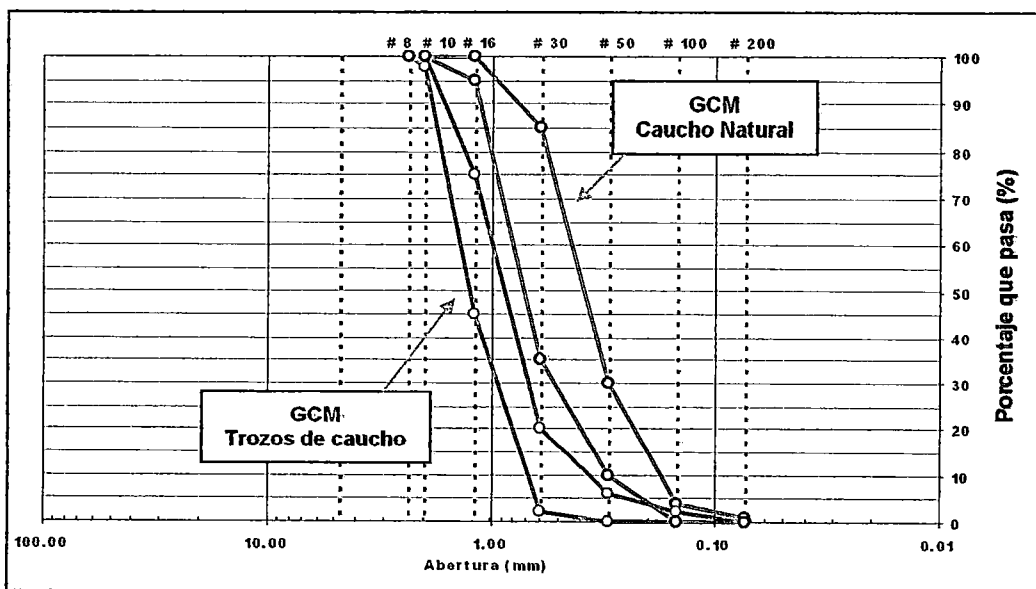


Figura 4.1.1 (b) Huso granulométrico para la gradación tipo II (según Caltrans).

Se ha encontrado que el caucho natural (GCM) también ayuda a la retención del agregado en los sellos de agregados, incluso a concentraciones de hasta sólo 3 por ciento por masa de ligante caucho asfalto. El uso de GCM natural parece mejorar el enlace entre el agregado y la membrana caucho asfalto, en los sellos de agregados.

4.1.1.2 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico puede afectar el producto final ligante caucho asfalto de distintas maneras. El cemento asfáltico debe ser compatible con el caucho modificador, esta compatibilidad es controlada por la composición química de ambos, tanto el cemento asfáltico como el caucho molido modificador, según lo demostrado por un incremento en la viscosidad de la mezcla caucho asfalto con el tiempo. Para controlar la composición química del caucho y del cemento asfáltico (compatibilidad) es necesario atender alguna especificación como aquellas propuestas en la Sección 39 de las Especificaciones Especiales Provisionales de Caltrans (Standard Special Provisions – Pavement Specifications SSP 39). La mayoría del grano de caucho modificador producido

actualmente donde se aplican estos procesos, es una mezcla homogénea de polímeros de caucho; por lo tanto la compatibilidad es principalmente dependiente de las propiedades del cemento asfáltico más que de la composición del grano de caucho modificador.

La composición química del cemento asfáltico puede variar notablemente dependiendo de la fuente del crudo. Si la fuente del crudo es baja en aromáticos, los problemas de compatibilidad pueden desarrollarse a causa de una carencia de aromáticos para la absorción del caucho molido modificador. Los extensores son a menudo usados para proveer los aromáticos requeridos (por ejemplo, ligantes tipo 2).

El grado (clase) del cemento asfáltico es también importante, las propiedades tanto a temperaturas bajas como altas se ven afectadas por el grado del cemento asfáltico. Los asfaltos más suaves tendrán mejores propiedades a bajas temperaturas. El caucho incrementa la viscosidad a altas temperaturas. En algunos lugares de los Estados Unidos, como Arizona, se adapta el grado del asfalto de modo que coincida con el clima al cual se colocará la mezcla caucho asfalto.

Es importante entender que una vez mezcladas las proporciones de asfalto, GCM y los extensores componentes, arbitrariamente seleccionados, dentro de los rangos especificados, no producirán necesariamente un ligante que cumpla con los requisitos de las propiedades físicas. Las características de los ligantes caucho asfalto dependen directamente de la composición, compatibilidad y de las proporciones relativas del asfalto componente, de los materiales de GCM y de otros aditivos, así como de la temperatura y tiempo de interacción. Hay muchas combinaciones de materiales convenientes, dentro de las proporciones de la fórmula que no proporcionan simplemente un ligante caucho asfalto apropiado o aún usable. Esto es por que el diseño del ligante y procedimientos de pruebas son esenciales para desarrollar satisfactoriamente formulaciones de caucho asfalto.

4.1.2 Consideraciones de diseño

Es importante que las propiedades del ligante caucho asfalto, en particular el control de viscosidad primario en campo, cumpla con las especificaciones cuando es mezclado con el agregado o aplicado en riego; tanto cuando es producido justo antes de su uso o cuando sea almacenado a temperaturas elevadas por 24 horas o más por cuestiones de factores climáticos u otros que retrasan la construcción. Para esto es necesario que las propiedades del ligante caucho asfalto se mantengan relativamente estables con el tiempo.

Normalmente los productores del ligante caucho asfalto deberían monitorear en laboratorio el perfil del diseño, midiendo las propiedades físicas del asfalto durante 24 horas a intervalos específicos de tiempo de interacción. En la *tabla 4.1.3* se presenta un ejemplo de este monitoreo tomado de un productor del ligante modificado. Las provisiones especiales SSP no exigen que el monitoreo de la interacción sea realizada por un periodo de 24 horas, sólo exige que el cumplimiento de las especificaciones estén documentadas con resultados de las pruebas realizadas en las muestras tomadas después de 45 minutos de la interacción.

Un cemento asfáltico más suave (que el normalmente usado) se usa para mejorar el desempeño a largo plazo en cuanto a resistencia por agrietamiento a bajas temperaturas. Esto se debe a que a temperaturas bajas (alrededor de 5 °C y por debajo) las propiedades físicas del ligante asfáltico gobiernan típicamente el comportamiento del ligante caucho asfalto. Otra manera de lograr este mejor desempeño es usar un incremento en el porcentaje del extensor (diluyente) para suavizar el ligante. A temperaturas intermedias (10 °C – 40 °C) y altas (> 40 °C) esto también producirá un ligante asfáltico más blando. Sin embargo, debido a la presencia del caucho modificador, que incrementa la rigidez y la elasticidad del ligante, sin comprometer las propiedades a temperaturas bajas, se puede extender significativamente el rango de desempeño de la mayoría de los asfaltos de pavimentación.

Para trabajos en zonas con climas calientes es recomendable reducir la dosificación del extensor para minimizar el potencial de exceso de ligante asfáltico en la superficie o *flushing*. La dosificación del extensor puede incrementarse en caminos con bajo volumen de tráfico, los cuales tienden a agrietarse por la falta de uso.

4.1.3 Criterios y procedimiento de diseño

Se han especificado (por ejemplo Caltrans) rangos de propiedades físicas particulares para ligantes caucho asfalto. Estos rangos son indicadores del relativo aumento de modificación lograda por la interacción entre el caucho modificador y el cemento asfáltico. Las propiedades son: viscosidad rotacional, resiliencia (ASTM D 5329), penetración (ASTM D 217) y punto de ablandamiento (aro y bola – ASTM D 36). La *tabla 4.1.3* muestra las especificaciones límites y un ejemplo de resultados de un diseño de ligante actual. La resiliencia ha probado ser uno de los mejores indicadores del desempeño en campo del ligante caucho asfalto en términos de resistencia a la fatiga y agrietamiento reflectivo. La incrementada resiliencia típicamente indica mejor desempeño.

Tabla 4.1.3 Datos de diseño en laboratorio de ligante Caucho Asfalto

Ensayo desempeñado	Minutos de reacción					Especificación Límites***
	45	90	240	360	1440	
Viscosidad, Haake a 190°C, Pa*s, (10-3), o cP (*ver nota)	2400	2800	2800	2800	2100	1500-4000
Resiliencia a 25°C, %Rebote, (ASTM D 3407)**	27	--	33	--	23	18 mínimo
Punto de ablandamiento Aro y Bola, °C (ASTM D 36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52-74
Penetración a 25°C, 150 g, 5 seg., 1/10 mm (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25-70

- * *El ensayo de viscosidad podrá ser conducido usando un viscosímetro de man: Haake*
- ** *ASTM D 3407 fue remplazada por la ASTM D 5329 que también incluye las referencias del procedimiento de ensayo para resiliencia*
- *** *Especificaciones Caltrans 7/2002*

El primer paso para el adecuado diseño es la recolección de muestras del ligante asfáltico, grano de caucho modificador y algún otro aditivo que podría usarse, esto se debe a que las interacciones caucho asfalto están muy influenciadas por los materiales. Los cambios en la clase del asfalto o en el GCM pueden tener mayores impactos sobre las propiedades del ligante y necesitarán un nuevo diseño.

En el proceso de diseño del ligante caucho asfalto, el diseñador mezcla las proporciones de los componentes designados dentro de los requerimientos de la especificación, basándose en su experiencia práctica. Entonces, la interacción caucho asfalto es realizada a altas temperaturas especificadas (encima de los 177 °C). Se toman muestras del ligante caucho asfalto a distintos intervalos de tiempo de interacción, como es mostrado en el ejemplo de la tabla 4.1.3 y ensayado para el cumplimiento de las especificaciones. Esto proporciona un perfil del comportamiento con el tiempo de las propiedades del caucho asfalto y es a la vez un razonable indicador de lo que se espera durante la producción en campo, aunque la información en campo puede variar del diseño de laboratorio. Si los resultados del primer proceso no son adecuados, deben ejecutarse las interacciones adicionales que sean necesarias.

Son considerados tres tipos de ligante caucho asfalto con variación de los límites en el punto de ablandamiento y la resiliencia¹⁹. La tabla siguiente, extraída de la norma ASTM D 6114-97, muestra los tipos de ligante y sus respectivas especificaciones. Asimismo la norma ASTM D 6114-97 se encuentra traducida disponible en los anexos del presente estudio.

¹⁹ American Society of Testing and Materials (ASTM), ASTM D6114-97 (2002) Standard Specification for Asphalt Rubber Binder. <http://www.astm.org>

Tabla 4.1.4 Especificaciones Estándar para ligantes Caucho Asfalto

Designación de ligante		Tipo I	Tipo II	Tipo III
Viscosidad Aparente, 175 °C: cP	Mín.	1500	1500	1500
Ensayo Modificado Método D 2196, Método A	Máx.	5000	5000	5000
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s: 1/10 mm	Mín.	25	25	50
(Ensayo Método D5)	Máx.	75	75	100
Penetración, 4 °C, 200 g, 60 s: 1/10 mm	Mín.	10	15	25
(Ensayo Método D 5)				
Punto de Ablandamiento: °C	Mín.	57.2	54.4	51.7
(Método de Ensayo D 36)		(135)	(130)	(125)
Resiliencia, 25: % (Método de Ensayo D 5329)	Mín.	25	20	10
Punto de Inflamación: °C	Mín.	232.2	232.2	232.2
(Método de Ensayo D 93)		(450)	(450)	(450)
Ensayo de residuo de película fina en horno	---	---	---	---
(Método de Ensayo D 1754)				
Retención de Penetración, 4 °C: % del original	Mín.	75	75	75
(Método de Ensayo D 5)				

El propósito del diseño de mezcla es seleccionar la correcta combinación de agregados y ligante caucho asfalto para una aplicación específica. Los métodos más comúnmente usados en las Agencias Norteamericanas para determinar la proporción de los componentes de la mezcla son el método Marshall y el Método Hveem, asimismo el método empleado en los proyectos viales de nuestro país es el Método Marshall. Dicho diseño de mezcla determina la óptima cantidad de ligante caucho asfalto que será usado con el agregado. El diseño está centrado en las siguientes características de mezcla y en la influencia que tienen sobre el comportamiento de la mezcla:

- Densidad
- Contenido de Vacíos
- Vacíos en el agregado mineral (VAM)
- Estabilidad
- Sensibilidad al humedecimiento

El control de las temperaturas de mezclado y compactación es un factor importante. La tabla 4.1.5 muestra las temperaturas típicas (según Caltrans) de estos procesos para distintos tipos de mezcla. El mezclado del ligante con el agregado debe ser completado entre 1 a 2 minutos después de haber adicionado el ligante a la mezcla. La compactación de la mezcla es lograda usando los procedimientos estándar Marshall o Hveem.

Tabla 4.1.5 Temperaturas de mezclado y compactación típicas de laboratorio para distintos tipos de mezcla

Tipo de Mezcla	Temperatura °C (°F)	
	Mezclado*	Compactación**
Gradación Densa	149-163 (300-325)	143-149 (290-300)
Gradación Incompleta	149-163 (300-325)	143-149 (290-300)

* Temperatura mínima del agregado. Temperatura mínima del ligante = 190 °C (375 °F)

** Temperatura mínima de la mezcla

El contenido del ligante caucho asfalto encontrado depende del tipo y gradación de los agregados. La tabla 4.1.6 muestra algunos contenidos típicos usados en California, asimismo muestra el porcentaje adicional de contenido de ligante asfáltico cuando es comparado con mezclas convencionales de gradación densa.

Tabla 4.1.6 Contenidos típicos de ligante

Tipo de Mezcla	Contenido de Ligante, (%)*	% Más alto que lo normal
Gradación Densa	6-8	20
Gradación Incompleta	7-9	40-50
Gradación Abierta	6-8	50-60

* Por peso de agregado seco

4.2 Aplicaciones del ligante Caucho Asfalto

Como ya fue mencionado, el ligante caucho asfalto puede ser usado en mezclas en caliente y para aplicaciones de riego como superficies o intercapas. Estos usos incluyen los siguientes:

Mezclas en caliente; el caucho asfalto ha sido usado en los siguientes tipos de mezclas:

- *Mezclas de gradación densa (dense – graded);* generalmente de 6% a 8% (% por peso seco del agregado) de ligante caucho asfalto es incluido en agregados con gradación densa.
- *Mezclas de gradación Incompleta (gap – graded);* generalmente de 7% a 9% (% por peso seco del agregado) de ligante caucho asfalto es incluido en agregados con gradación incompleta para producir una mezcla con una película gruesa de ligante caucho asfalto alrededor del agregado.
- *Mezclas de gradación abierta (open – graded);* generalmente de 6% a 8% (% por peso seco del agregado) de ligante caucho asfalto es incluido en agregados con gradación abierta para su uso como capa superficial. Esta mezcla es usada para reducir la salpicadura y el encharcamiento (*spray and splash*) debido al agua superficial.
- *Mezclas de gradación abierta (open – graded) – High binder;* en este tipo de mezclas con alto contenido de ligante, generalmente de 8% a 10% (%.

por peso seco del agregado) de ligante caucho asfalto es incluido. Estas mezclas tienen películas gruesas de ligante para la buena durabilidad.

Aplicaciones de riego; los ligantes caucho asfalto son usados para:

- *Sello de agregados (chip seal)*; consiste de una aplicación de ligante caucho asfalto seguida de una aplicación de sello de agregado.
- *Intercapas (interlayer)*; consiste de una aplicación de sello de agregados (*chip seal*) caucho asfalto antes de la sobrecapa de mezcla asfáltica en caliente.
- *Sellos combinados (cape seal)*; consiste de una aplicación de sello de agregados (*chip seal*) caucho asfalto seguido por una lechada asfáltica (*slurry seal*).

4.2.1 Mezclas en caliente (HMA)

Los estudios anteriores conducidos por algunas agencias en los Estados Unidos (como es el caso de California) limitan el uso de ligantes caucho asfalto a mezclas en caliente de gradaciones abiertas (*open – graded*) e incompletas (*gap – graded*), recomendando no aplicarla en mezclas de gradaciones densas ya que no existen suficientes espacios vacíos para acomodar la cantidad necesaria de ligante modificado que mejore efectivamente el desempeño del pavimento resultante.

Las mezclas caucho asfalto de gradación incompleta y abierta son mayormente usadas como sobrecapas para mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos de concreto asfáltico y concreto de cemento Pórtland. Las mezclas caucho asfalto son también usadas como capa superficial (desgaste) para la construcción de pavimentos nuevos o proyectos nuevos de pavimentación, mayormente en áreas residenciales donde el ruido por tráfico es un factor de importante consideración. El diseño estructural es ejecutado de la misma manera que para pavimentos de concreto asfáltico de gradación densa (DGAC), y una reducción de espesores se puede aplicar cuando se sustituye el DGCA

convencional por capas superficiales de caucho asfalto de gradación incompleta²⁰.

4.2.2 Mezclas en Caliente de Gradación Incompleta

Este tipo de mezcla de gradación incompleta con ligante caucho asfalto (GGAR – *Gap Graded Asphalt Rubber*) es la más comúnmente usada en California. El espesor de esta mezcla varía en cierto rango, siendo el mínimo de 30 mm (por cuestiones de tamaño de agregado componente) y el máximo de 60 mm, debido a una limitada experiencia con espesores más gruesos y a consideraciones económicas. Si se requiere un mayor incremento en capacidad estructural se puede colocar antes una capa de mezcla asfáltica convencional DGAC y/o una membrana intercapas absorbente de esfuerzos caucho asfalto, SAMI-R (*Asphalt Rubber Stress Absorbing Membrane Interlayers*).

Esta mezcla GGAR provee una superficie de pavimento durable, flexible, con incrementada resistencia al agrietamiento reflectivo, a la deformación permanente y a la oxidación, buenas características de superficie de fricción debido a la textura provista por el agregado de gradación incompleta, y a menudo reduce el ruido ocasionado por el contacto entre neumático y pavimento. La mezcla GGAR actúa como una capa estructural en el pavimento.

También pueden ser usadas en sobrecapas o para proyectos de construcción nueva en un amplio rango de volúmenes de tráfico y cargas. La mezcla GGAR puede también ser usada en áreas urbanas donde existe considerable tráfico de parada y avance para el cual la mezcla de gradación abierta no será apropiada. Tales áreas incluyen intersecciones señalizadas, entradas y áreas de estacionamiento. Sin embargo, las mezclas de este tipo (debido a su alto contenido de ligante) pueden presentar exceso de ligante en la superficie o *flushing*, en intersecciones con tráfico de camiones pesados.

²⁰ State of California Department of Transportation. Flexible Pavement Rehabilitation Manual. June 2001

La política actual de rehabilitación de Caltrans es diseñar una sobrecapa para extender la vida de servicio del pavimento por 10 años, aunque se pueden usar también otros periodos de diseño. El diseño de espesores de la sobrecapa esta basado en el Índice de Tráfico (TI) para el periodo de diseño y los siguientes tres ítems.

- Apropiaada mejora estructural.
- Retardo de grietas reflectivas.
- Mejoramiento de la calidad de recorrido del pavimento (*quality ride*).

El diseño de una sobrecapa con esta mezcla involucra la determinación del espesor de sobrecapa para una mezcla convencional DGAC basada en la medida de deflexión del pavimento, luego se ajustan a los espesores según las equivalencias estructurales entre el DGAC y la mezcla GGAR. El espesor de la mezcla convencional DGAC necesario para retardar el agrietamiento reflectivo y para restaurar la calidad del recorrido del pavimento (*quality ride*) es también evaluado. El espesor de este es seleccionado y las reducciones para el espesor del pavimento se hacen para una alternativa de la mezcla modificada, por estructura y agrietamiento, mas no por calidad del recorrido (*quality ride*). El *Manual de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles de Caltrans* provee detalles para diseñar una variedad de estrategias de sobrecapas. La figura 4.2.1 ilustra la vista del espesor reducido a la mitad.

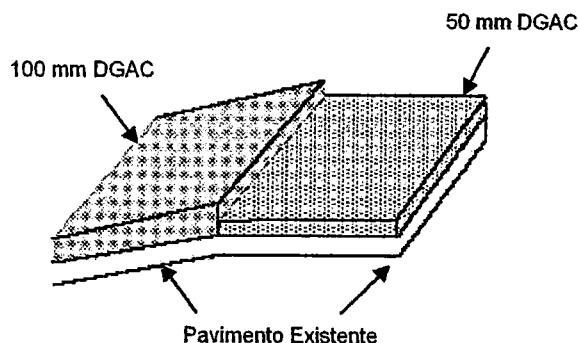


Figura 4.2.1 Típica sobrecapa GGAR

El tonelaje de la mezcla caucho asfalto para “medio-espesor” e igual longitud es ligeramente menor que la mitad de la mezcla convencional DGAC, esto se debe a que el peso unitario de la mezcla caucho asfalto GGAR y la mezcla convencional DGAC difieren como una función del alto contenido de ligante en la primera. El ligante tiene una gravedad específica mucho más baja que el agregado, por lo tanto tiene un peso unitario ligeramente más bajo.

Las sobrecapas con mezcla caucho asfalto también pueden ser colocadas como sistemas de dos y tres capas, revestidas tanto con mezcla caucho asfalto de gradación incompleta como mezcla caucho asfalto de gradación abierta. Un sistema de dos capas es típicamente una mezcla caucho asfalto colocada directamente sobre una mezcla SAMI-R (*Asphalt Rubber Stress Absorbing Membrane Interlayers*). Cuando una capa nivelante es colocada antes de la aplicación de la mezcla SAMI-R, se crea un sistema de tres capas tal como es mostrado en la figura 4.2.2. Una capa SAMI-R provee alguna equivalencia estructural limitada, de aproximadamente 15 mm de mezcla convencional DGAC según la tabla 3 del *Manual de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles Caltrans, Junio 2001*.

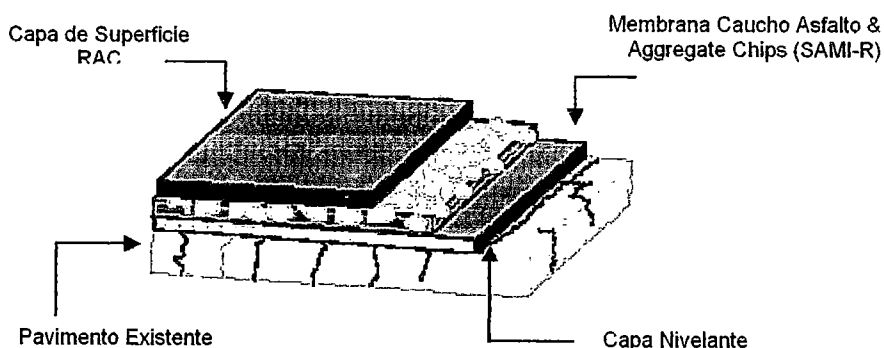


Figura 4.2.2 Sistema Tres capas

Cuando la mezcla GGAR es usada en proyectos de construcción nueva, se sustituirá directamente (1:1) para los 25 mm a 50 mm superiores de mezcla convencional DGAC (el espesor apropiado de la capa es de 2 a 3 veces el

tamaño máximo de agregado en la mezcla GGAR). El uso de la equivalencia a medio espesor, usualmente usado para sobrecapas en rehabilitaciones de pavimentos dañados no es recomendado para proyectos de construcción nueva debido a los posibles efectos a largo plazo de fatiga de servicio de capas fundamentales de la estructura del pavimento. Aun no se cuenta con la suficiente experiencia en el uso de la mezcla caucho asfalto para construcciones nuevas, para evaluar la aplicación de factores de equivalencia que fueron desarrollados para propósitos de rehabilitación.

4.2.3 Mezclas en Caliente de Gradación Abierta

Las mezclas con superficies de gradación abierta (*Open Graded Asphalt Concrete – OGAC*) proveen buenas características friccionantes superficiales. Los pavimentos con mezcla OGAC son propuestos para drenaje libre, de modo que la superficie de agua pueda ser rápidamente llevada a través de la cobertura hacia el dren exterior a lo largo de los bordes de la estructura del pavimento. Esto reduce el encharcamiento y la salpicadura (*splash and spray*) y la pérdida de contacto entre los neumáticos de los vehículos y la superficie del pavimento que ocurre cuando el vehículo viaja a altas velocidades en superficies con agua acumulada (*hydroplaning*), durante e inmediatamente después de las lluvias, mejorando así la seguridad. La mezcla OGAC convencional también reduce el ruido por tráfico, aunque los informes de la efectividad a largo plazo de tales reducciones varían. Existen ventajas al usar la mezcla tipo OGAC, asimismo existen ventajas adicionales al usar la mezcla caucho asfalto de gradación abierta OGAR.

El espesor de la película de cobertura de ligante caucho asfalto incrementa la durabilidad de los pavimentos de gradación abierta. Una de las razones de que las mezclas caucho asfalto de gradación abierta son durables es que son materiales relativamente de bajo módulo, lo cual significa que presentan más bajos esfuerzos para tasas de tensión que los materiales más rígidos como las mezclas convencionales DGAC. Se mueven más, en respuesta al mismo nivel de carga, y funcionan por flexión y recuperación (relajamiento, *creeping*,

rebotamiento, etc.) más bien que por ser rígidos. El alto contenido de ligante caucho asfalto hace a estos materiales muy resilientes y resistentes a la fatiga, pero no son capas rígidas y son colocadas como espesores delgados, alrededor de 24 mm a 30 mm de espesor. Así, tanto la mezcla caucho asfalto de gradación abierta OGAR y la mezcla caucho asfalto de gradación abierta con alto contenido de ligante OGAR-HB (*High Binder* – HB) no son considerados como elementos estructurales y la reducción de espesores no es aplicada para estos usos del ligante caucho asfalto.

Estas dos últimas mezclas son principalmente usadas como cobertura para mantenimiento, y sobrecapas para rehabilitación, incluyendo la restauración de la superficie de fricción.

Entre las ventajas que presenta este tipo de mezcla se incluye:

- La película más gruesa de ligante caucho asfalto provee una mejor resistencia al *stripping* (peladura) y al envejecimiento por oxidación.
- Las mezclas caucho asfalto de gradación abierta son altamente resistentes a la reflexión de grietas y juntas en pavimentos de concreto de cemento Pórtland y a la reflexión de grietas severas de pavimentos subyacentes de concreto asfáltico.

La principal razón para usar mezclas caucho asfalto de gradación abierta incluye:

- Provisión de una durable, altamente flexible, superficie de pavimento con realzado drenaje y características friccionantes que reducen el encharcamiento y el *hydroplaning* en condiciones húmedas. La imagen 4.2.1 muestra claramente la diferencia entre la mezcla convencional y esta mezcla con drenaje mejorado.
- Provisión de resistencia incrementada para:
 - Deformación Permanente
 - Oxidación
 - Agrietamiento Reflectivo

- Reducción del ruido de tráfico.

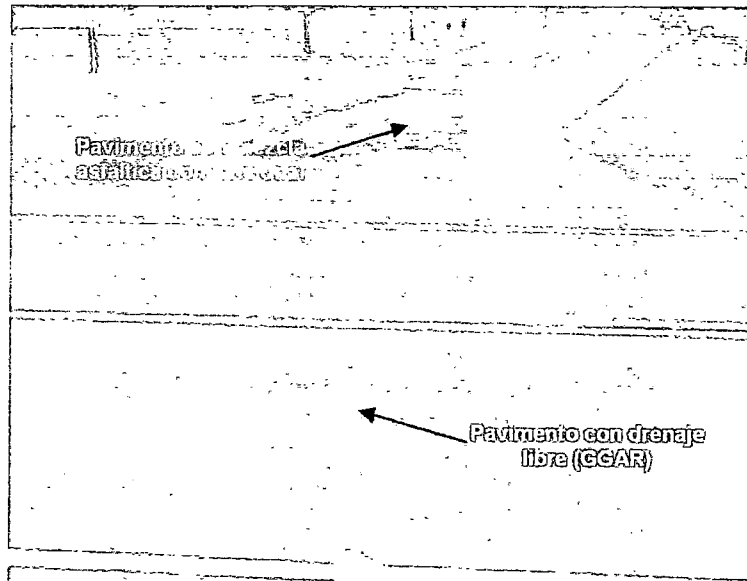


Imagen 4.2.1 Pavimento con drenaje libre (Mezcla caucho asfalto de gradación abierta), próximo a un pavimento de mezcla asfáltica convencional.

La mezcla OGAR es una capa superficial (para sobrecapa o construcción nueva) para caminos donde el flujo de tráfico es esencialmente no interrumpido por señalización, tal como algunos caminos libres, carreteras rurales y secundarias. Esta mezcla es altamente efectiva como una sobrecapa en pavimentos de concreto de cemento Pórtland y pavimentos de concreto asfáltico en zonas donde el potencial por agrietamiento reflectivo es severo. Esta mezcla es también usada como una cobertura de mantenimiento para restaurar las características friccionantes de la superficie y para ayudar a preservar el pavimento subyacente.

Las mezclas de gradación abierta no serán usadas donde existe un aumento significativo de tráfico de parada y avance o de giro de vehículos, tales como calles de ciudades o en estacionamientos, porque el pavimento poroso es susceptible al daño por goteo de fluidos vehiculares.

El diseño de mezclas se trabaja con contenidos de ligante caucho asfalto de 1.2 veces el óptimo contenido de una mezcla convencional y con un ensayo de escurrimiento de chequeo. Si se estiman transportes largos hacia el sitio de colocado el escurrimiento también deberá ser chequeado para este tiempo previsto de transporte. Si es excesivo, se pueden requerir ajustes. Para transportes largos la reducción de la temperatura de mezcla por acarreo puede no ser apropiada para cumplir con los requisitos mínimos de temperatura de colocación.

4.3 Aplicaciones de riego Caucho Asfalto

Las aplicaciones de riego caucho asfalto puede ser usadas como tratamiento superficial o intercapas. Tales aplicaciones son casi siempre usadas para mantenimiento o rehabilitación de pavimentos existentes y son muy efectivas para resistir el agrietamiento reflectivo.

4.3.1 Sello de agregados (SAMs)

Los sellos de agregados son usados por Caltrans para mantenimiento preventivo y con su uso se busca lo siguiente:

- Corregir las deficiencias de la superficie.
- Sellar las superficies erosionadas de pavimentos.
- Aislar y proteger la estructura del pavimento contra la intrusión de agua superficial.
- Proteger la superficie del pavimento de la oxidación.

En muchos lugares, donde se aplican los sellos de agregados, se les llama también membranas absorbentes de esfuerzos (SAMs – *Stress Absorbing Membrane*). Los sellos de agregados no adicionan resistencia estructural o corrigen problemas de rugosidad (relacionadas con el *quality ride*). Algunas agencias lo usan también como una alternativa de mezcla de gradación abierta.

para restaurar las características friccionantes de la superficie donde el volumen de tráfico lo permita.

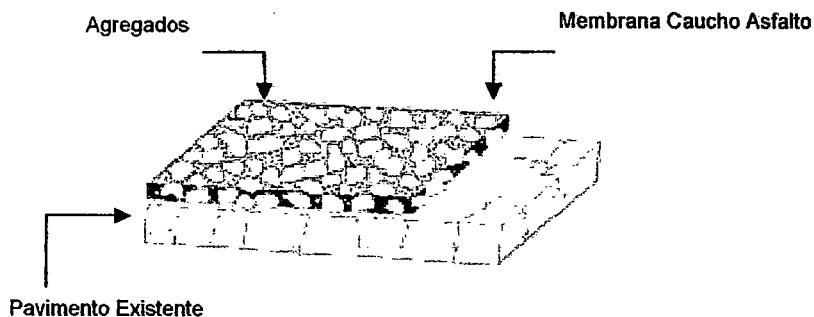


Figura 4.2.3 Membrana Absorbente de Esfuerzos (SAM)

Para construir un sello de agregados, el ligante caucho asfalto caliente es regado sobre la superficie del camino a una tasa determinada. El ligante es cubierto inmediatamente con una capa de agregados calientes pre-cubiertos, que deben ser rápidamente embebidos en el ligante por rodillado antes de que la membrana enfríe. Mejores resultados se logran con agregados de un solo tamaño nominal de 9.5 mm a 12.5 mm. El tamaño estándar de agregados para sellos caucho asfalto definidos y usados por Caltrans es 9.5 mm. La pre-cobertura del agregado con cemento asfáltico, mejora la adhesión, removiendo el polvo de la superficie y humedeciéndolo. Como ayuda adicional a la retención del agregado después que este ha sido embebido y barrido, se riega un sello neblina (*fog seal*) de emulsión asfáltica (diluido 1:1 con agua) sobre los agregados a una tasa típica de 0.14 l/m^2 a 0.27 l/m^2 (0.037 gal/m^2 a 0.071 gal/m^2). Un ligero empolvamiento de arena, de 1 kg/m^2 a 2 kg/m^2 es aplicado entonces como secador.

Los sellos de agregados caucho asfalto proveen los mismos beneficios que los sellos de agregados convencionales, pero también proveen las siguientes ventajas adicionales:

- Significativa más larga vida de servicio que los sellos de agregados convencionales.
- Superior desempeño a largo plazo en resistencia al agrietamiento reflectivo.

Los sellos de agregados caucho asfalto proveen una superficie flexible, impermeable, resistente al deslizamiento y durable, el cual resiste la oxidación y es altamente resistente al agrietamiento reflectivo. Un sello de agregados no es una capa estructural.

Los usos que se le da a los sellos de agregados incluyen:

- Rehabilitación de pavimentos estructuralmente sanos que están agrietados o erosionados.
- Restauración de las características friccionantes de la superficie (mantenimiento correctivo).
- Mantenimiento preventivo de rutina para extender la vida de pavimentos de concreto asfáltico.

El Manual de Mantenimiento de Caltrans²¹, incluye criterios para el uso de sellos de agregados y el tamaño de agregados de cobertura basado en límites de velocidad y promedio diario de tráfico. El uso de sello de agregados no es recomendado en áreas con tráfico de camiones pesados, tráfico de parada y avance o en intersecciones señalizadas.

De acuerdo con las provisiones estándar especiales Caltrans para capas de sello caucho asfalto, SSP37-030, las tasas de aplicación para sellos de agregados caucho asfalto son como se muestra en la tabla siguiente y depende el tamaño de agregado:

²¹ State of California Department of Transportation, Flexible Pavement Rehabilitation Manual, Junio 2001

Tabla 4.2.1 Tasas de aplicación para sellos de agregados caucho asfalto

Tamaño de agregado	Ligante Caucho Asfalto	Agregado
12.5 mm	2.5 – 3.0 l/m ²	15 – 22 kg/m ²
9 mm	2.5 – 3.0 l/m ²	15 – 22 kg/m ²

Sin embargo, la tasa exacta debe ser determinada en el lugar de trabajo. Existe un número de factores que pueden afectar el ligante caucho asfalto y la velocidad de aplicación de la cubierta de agregados incluyendo:

- Textura superficial del pavimento existente: las superficies severamente envejecidas, oxidadas y de textura abierta absorberán más ligante que las superficies cerradas más nuevas.
- Volumen de tráfico: típicamente se usa un agregado más pequeño para altos volúmenes, para reducir el potencial de daños a los vehículos por pérdida de agregados. La tasa de aplicación del ligante puede ser incrementada para áreas con bajo volumen de tráfico.
- Rango de temperatura estacional: membranas más gruesas se pueden usar en áreas con climas fríos.
- Tamaño de agregado: los agregados grandes requieren más ligante caucho asfalto (membrana más gruesa) para lograr de 50% a 70% de recubrimiento.
- Gradación del agregado: los materiales de un sólo tamaño requieren más ligante caucho asfalto que los agregados gradados.

Existen métodos por los cuales la tasa especificada de aplicación del agregado puede ser evaluada antes del inicio de la construcción. La finalidad es simplemente poner el agregado de tamaño uniforme profundo en un área medida, pesar el aumento del agregado requerido para cubrir esa área y convertir a las unidades apropiadas (kg/m²).

Para verificar si la tasa de aplicación es apropiada, también se debe chequear el recubrimiento del agregado. El agregado será embebido a una

profundidad de alrededor de 50% a 70% después de ser asentado en el laboratorio o en el campo por rodillado y por el tráfico. El exceso de aplicación de agregado interfiere en el recubrimiento y la adhesión.

El exceso de aplicación de ligante caucho asfalto puede literalmente sumergir o tragarse el agregado y resultar en problemas tales como *flushing/bleeding*. La pérdida de agregado a lo largo del borde del camino después del barrido puede indicar excesiva aplicación y desperdicio de agregado, que la aplicación de ligante caucho asfalto es muy liviana o que el ligante se enfrió antes que el recubrimiento o la adhesión se haya logrado.

4.3.2 Membrana Intercapas Absorbente de Esfuerzos Caucho Asfalto (SAMI-R)

Una Membrana Intercapas Absorbente de Esfuerzos Caucho Asfalto (SAMI-R, *Stress Absorbent Membrane Interlayer – Rubber*) es simplemente un sello de agregados caucho asfalto que es revestido con concreto asfáltico convencional o con concreto asfáltico con caucho. El material SAMI es muy flexible y elástico y tiene un bajo módulo; se dobla y fluye para aliviar tensiones y para curar muchas de las grietas que ocurran. La membrana SAMI-R actúa para interrumpir la propagación de grietas y ha mostrado ser altamente efectiva para retardar el agrietamiento reflectivo en sobrecapas.

No se aplicará un sello neblina o arena sobre una mezcla SAMI-R porque esto podría interferir con el enlace de la sobrecapa.

Las membranas SAMIs pueden ser aplicadas a cualquier tipo de pavimento, asfáltico o rígido, y han demostrado ser muy efectivas para minimizar la reflexión de grietas en pavimentos de concreto de cemento Pórtland. Sin embargo, el Manual de Mantenimiento Caltrans expresa que si las irregularidades de la superficie (deformación permanente en concreto asfáltico o falla en pavimentos de concreto de cemento Pórtland) sobrepasan de 12.5 mm., entonces se

colocará una capa nivelante o se hará un molido y rellenado de grietas antes de la colocación de la membrana SAMI-R.

Las ventajas que presenta esta aplicación incluyen:

- Altamente efectivo para minimizar el agrietamiento reflectivo en sobrecapas de pavimentos asfálticos existentes afectados y pavimentos de concreto de cemento Pórtland agrietados.
- Minimiza el espesor de la sobrecapa, cuando el agrietamiento reflectivo es el modo principal de falla esperada y la capacidad estructural es estimada como suficiente.

El manual Caltrans de rehabilitación de pavimentos flexibles da crédito a la membrana SAMI-R para una contribución estructural, variando de 15 mm a 30 mm de capa caucho asfalto, dependiendo si la resistencia estructural o el agrietamiento reflectivo gobiernan el diseño.

La membrana SAMI-R es una capa de bajo módulo (no estructural) que es usada para retardar y minimizar el agrietamiento reflectivo en las sobrecapas que se colocan sobre ellas, y para minimizar la infiltración adicional de agua superficial a través de la estructura del pavimento. Son usadas también en sobrecapas para mantenimiento correctivo y es una herramienta de rehabilitación de pavimentos. Una membrana SAMI no será incluida como parte de construcciones nuevas.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS DE EXPERIENCIAS EN OTROS PAÍSES

5.1 Experiencias Diversas

La mezcla modificada Caucho Asfalto ha sido usada en varios proyectos a nivel mundial, dando en la mayoría de ellos resultados satisfactorios. Países de Europa y África, países de América del Sur como Brasil, Chile y Argentina, han tenido cierta experiencia con esta mezcla asfáltica modificada.

Los Estados Unidos es el país donde más se ha investigado y desarrollado esta mezcla modificada. Se han experimentando resultados exitosos, así como fracasos iniciales debido al escaso conocimiento inicial de su comportamiento. Agencias como California, Arizona, Texas, etc., han ejecutado diversos proyectos y pistas de prueba monitoreándolos y obteniendo resultados satisfactorios. Asimismo dichas agencias han formulado Especificaciones, las cuales se han ido implementando y mejorando conforme se conocía más acerca del desempeño del caucho asfalto. El gobierno norteamericano ha destinado fuertes inversiones a fin de obtener un conocimiento adecuado del comportamiento de esta mezcla a fin de mejorar el desempeño de sus pavimentos para contrarrestar el alto costo de mantenimiento que anualmente invierte.

En otros continentes también se ha experimentado con el caucho asfalto. Una investigación llevada a cabo en Sudáfrica²² por investigadores del Center for Transportation Engineering (CET), Department of Civil Engineering, Bangalore University de la India y el Central Road Research Institute (CRRRI), New Delhi de la India, se experimentó con mezclas asfálticas porosas modificadas con

²² V.S. Punith, S.N. Suresha, A. Veeraragavan, Sridhar Raju, Sunil Bose. Characterization of Polymer and Fiber-Modified Porous Asphalt Mixtures. Transport Research Board – Annual Meeting 2004, EE.UU.

polímeros y fibras, usando un cemento asfáltico de grado 60-70. En dicho estudio se analiza el desempeño relativo, aspectos relacionados al diseño basado en estudios de laboratorio y se concluye lo siguiente:

- Los resultados de los ensayos indican que la modificación del ligante con los polímeros (incluyendo el caucho) logran propiedades ingenieriles relevantes de las mezclas asfálticas porosas.
- La modificación del ligante con caucho reciclado mejora la resistencia compresiva y la resistencia a la fatiga y agrietamiento de las mezclas asfálticas.
- La susceptibilidad al humedecimiento medida a través del valor de relación de resistencia a la tensión (*Tensile Strength Ratio – TSR*) es menor para mezclas con ligantes modificados que para las mezclas convencionales.
- Los resultados del ensayo de Hamburg Wheel Track confirman la más baja susceptibilidad térmica de los ligantes modificados y su superior desempeño por el lado de la deformación plástica.
- El uso de ligantes modificados facilita la obtención de una película más gruesa de ligante lo cual mejora la cohesión, resistencia al agrietamiento, fricción y durabilidad de las mezclas asfálticas porosas.

En Latinoamérica, Brasil es el país Sudamericano donde más se ha experimentado con esta mezcla modificada. Una evaluación de laboratorio²³, realizada por investigadores de la Universidad de Sao Paulo y Petrobras – Brazilian Petroleum S.A., presenta los resultados de ensayos que evaluaron el efecto del caucho reciclado de neumáticos sobre las propiedades de mezclas asfálticas densas usando materiales producidos en Brasil. Fueron estudiados tanto el proceso seco como el proceso húmedo. Las principales conclusiones a las que se llegaron al usar el método húmedo fueron:

- La incorporación de 20% de caucho al ligante asfáltico (1% de caucho del peso total de la mezcla) mediante el proceso húmedo permitió un módulo

²³ L. Bariani B., Sandra A. Margarido B., J. Leomar F., L. Mathias L. Mechanical Properties of Asphalt Mixtures Using Recycled Tire Rubber Produced in Brazil - A Laboratory Evaluation. Transport Research Board – Annual Meeting 2004, EE.UU.

resiliente más bajo. Sin embargo, para estas mezclas no existió significativa alteración en la resistencia a la tracción. La reducción en el módulo resiliente en relación a la mezcla de control es del mismo orden de magnitud que el observado en el proceso seco, usando 1% de caucho. Además, este estudio produjo valores de módulo resiliente y resistencia a la tracción significativamente más altos que en el estudio con el proceso seco, debido principalmente a la gradación seleccionada.

- Los resultados de deformación permanente indican que el uso del caucho asfalto provee una importante mejora del desempeño concerniente a la resistencia a la deformación permanente.

En Argentina también se experimentó el uso del caucho mediante el proceso seco, las conclusiones del estudio indicaron ventajas al usar esta mezcla modificada (proceso seco). En Chile se experimentó con el proceso húmedo obteniendo conclusiones positivas y despertó el interés de las autoridades para fomentar el uso del caucho asfalto. A continuación se detalla el estudio realizado en Chile así como las conclusiones obtenidas.

5.2 Experiencia Chilena

En Chile se ha experimentado con la mezcla modificada Caucho Asfalto. Un resumen más detallado de dicho estudio²⁴ dirigido por investigadores de la Universidad de Chile y con el apoyo de la Empresa Privada, se muestra a continuación:

A través de una acción combinada del estado y compañías del sector privado chileno, se desarrollaron en este país estudios preliminares para establecer el uso masivo de neumáticos de caucho en pavimentos asfálticos. La investigación, aprobada por el Ministerio de Trabajos Públicos de Chile, incluye las siguientes etapas:

²⁴ J. Torrejon, L. Alvarez, J. Castillo. Expectation on the use of asphalt rubber in Chilean pavements. Congreso Mundial de Caucho Asfalto - Brasil 2003

- Etapa 1: Información (recolección y análisis)
- Etapa 2: Estudios en laboratorio del ligante y la Mezclas Asfáltica con Caucho a un nivel comparativo con Mezclas Convencionales.
- Etapa 3: Aplicación de Mezclas Asfálticas en Caliente en Revestimientos. Formulación Tentativa de Especificaciones Técnicas.
- Etapa 4: Estudio del Desempeño en campo a un mediano y largo plazo. Validación de metodologías.

Se estudió la incorporación de caucho mediante el proceso húmedo para dos tipos de mezclas: de gradación densa y de gradación semi-incompleta.

5.2.1 Materiales empleados

El cemento asfáltico usado fue clasificado con penetración 60-80, de la Refinería RPC-Chile obtenido de la destilación de los crudos de Venezuela. Se usó el fraccionamiento ambiental de caucho de neumáticos de autos y camiones importados de un país Asiático. Los agregados fueron obtenidos de un depósito fluvial, del Río Maipo a 25 km al sur de Santiago y sometido a procesos mecánicos de fraccionamiento.

5.2.2 Dosificación del ligante

- Dosis de caucho (50% de autos y 50% de camiones) : 18%
- Dosis de asfalto : 82%
- Temperatura de mezcla del caucho asfalto : 180°C
- Tiempo de mezcla (digestión) : 60 min.
- Energía de mezcla : 500 rpm

5.2.3 Evaluación del comportamiento en laboratorio

Para evaluar comparativamente el comportamiento en laboratorio de las cuatro mezclas, se realizaron tres ensayos:

- “Efectos del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas compactadas” (Inmersión-compresión). Este ensayo consiste en la comparación, en términos de porcentaje, la resistencia a la compresión simple de dos de tubos idénticos agrupados, los cuales han sido previamente sometidos a 25 °C de temperatura por 24 horas en un horno estándar, el primero, y a 60 °C de temperatura de inmersión en agua el segundo. Ambos han sido ensayados a 25 °C.
- “Resistencia a la distorsión plástica de mezclas bituminosas por medio de ensayos de laboratorio” (*Wheel Tracking*). Consiste en la medición de la distorsión producida por las repetitivas pasadas de una rueda de dimensiones y presión (900 kN/m²) constantes sobre un espécimen prismático compactado.
- “Resistencia a la compresión diametral de mezclas bituminosas”. Tracción Indirecta. Con este ensayo es posible obtener la resistencia a la tracción indirecta. El procedimiento consiste en cargar un espécimen cilíndrico a la compresión según una generatriz midiendo la carga de rotura y las distorsiones horizontal y vertical del correspondiente diámetro.

En el ensayo de compresión por inmersión se detectó un comportamiento superior lejano a favor de la mezcla caucho asfalto. En el mismo ensayo, las diferencias entre las mezclas densas y las de gradación semi – incompleta son pequeñas (con y sin caucho).

Se detectó también un mejor comportamiento a través en el ensayo de *Wheel Tracking*, especialmente en el agregado de gradación semi – incompleta.

En el ensayo de tracción indirecta, los valores de resistencia a la tracción son muy similares en todas las mezclas. Se detectó una resistencia ligeramente más baja en mezclas asfálticas modificadas comparadas con las mezclas

convencionales. Esto se debe a que con el ligante modificado trabaja una cantidad más pequeña de asfalto, el cual es el componente que provee resistencia a la tracción por medio de la cohesión. Sin embargo, estas diferencias son mínimas y todas las mezclas cumplen las regulaciones mínimas internacionales.

5.2.4 Conclusiones de la experiencia Chilena

- Existe una gran cantidad de neumáticos desechados en Chile, lo cual hasta la fecha crea un gran e incontrolado problema ambiental.
- El proceso húmedo, mezclas asfálticas con caucho, entregan mejores resultados que las mezclas sin caucho en el "Ensayo de Estabilidad Marshall", "Ensayo de Compresión por Inmersión" y "Ensayo Wheel Tracking".
- Las mezclas asfálticas óptimas fueron aquellas que incluyeron caucho y usaron el proceso húmedo, con agregados de "gradación semi-incompleta".
- Los resultados de laboratorio ratifican la conveniencia técnica de la incorporación de caucho fracturado de neumáticos a mezclas asfálticas en caliente.

Las autoridades del Gobierno Chileno aprobaron la presente etapa preliminar de esta innovación tecnológica. Dos secciones de las vías CH 60 y X-65 serían construidas a fines de 2003 y 2004, para probar su factibilidad técnica y económica en el campo.

Hacia el año 2006 se sabe que en el vecino país del Sur, se realizaron los dos tramos de prueba. El primero de 500 metros en la Ruta X- 65 entre Villa Castillo y Puerto Ibáñez, en la X Región del país chileno. La experiencia chilena en esta vía demostró que aquel no era el lugar ideal para hacer la prueba pues debido a la distancia con la capital es difícil hacer un seguimiento técnico oportuno (monitoreo técnico). Además, en este país no se contaba con una política ambiental que regule la reutilización obligatoria de los neumáticos usados. La segunda prueba se realizó en la Ruta 60 CH, en el túnel Cristo

Redentor de Los Andes. En este caso la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas Chileno utilizó el caucho asfalto sobre el pavimento de concreto para evitar la reflexión de las grietas.

En la presente investigación no se informa sobre el estado actual de dichas vías, sin embargo esto es un factor fundamental si se piensa en futuras aplicaciones en nuestro medio. Por tal motivo es importante conocer el estado actual en el que se encuentran dichos tramos de prueba, así como identificar sus deficiencias para corregirlas y sus virtudes para explotarias.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE LA MEZCLA CAUCHO ASFALTO

6.1 Introducción

En el presente capítulo se detalla el proceso de aplicación experimental, el cual consta de la evaluación en laboratorio de la mezcla caucho asfalto y de una mezcla convencional para comparar sus características mecánicas a través de ensayos de compresión edométrica cíclica obteniendo los módulos dinámicos en especímenes diseñados con el óptimo contenido de ligante asfáltico.

La mezcla asfáltica modificada “caucho asfalto” consta de agregados con gradación tipo densa convencional (*dense – graded*), caucho modificador (CGM), filler mineral (cal hidratada), cemento asfáltico y un aditivo mejorador de adherencia. La mezcla convencional corresponde a un diseño de mezcla con agregados de gradación densa convencional (*dense – graded*), filler mineral (cal hidratada), cemento asfáltico y un aditivo mejorador de adherencia. Esta mezcla asfáltica convencional corresponde al diseño MAC-02, la cual fue usada en el Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape, en la Provincia de Chiclayo del Departamento de Lambayeque. Adicionalmente se realizó el estudio de una mezcla asfáltica modificada con agregados de gradación tipo *gap – graded* (gradación incompleta), y se tentó un diseño al cual se le denominó MAC-GG-AR. Cabe resaltar que esta mezcla fue diseñada en base a especificaciones usadas por el Departamento de Transportes de California (Caltrans) - EE.UU.

Para tal evaluación se siguió un programa experimental, el cual consta de dos partes fundamentales. La primera es la etapa de *Evaluación de Componentes y Diseño de Mezclas*; en esta etapa se realiza la caracterización de las propiedades físicas y/o químicas de los materiales componentes de

ambas mezclas, tales como agregados, caucho (para la mezcla modificada), filler (cal hidratada), aditivos y cemento asfáltico; seguidos del diseño de mezclas correspondiente y complementados con ensayos para evaluar la sensibilidad al humedecimiento de las mezclas asfálticas. La segunda etapa consta de *Ensayos de Compresión Confinada* para ambas mezclas a fin de obtener parámetros que nos permitan comparar el comportamiento mecánico de ambas mezclas a través de sus módulos complejos. Para la etapa I de la evaluación de laboratorio, la ejecución de los ensayos fue realizada en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos del Consorcio Supervisor del Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape, que fue integrado por las empresas CESEL Ingenieros y NIPON KOEI Consulting Engineers. Para la mejor descripción de esta parte del estudio haremos una breve descripción del Proyecto de Rehabilitación mencionado. Para la etapa II de esta evaluación los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos del Consorcio Constructor IIRSA Norte, integrado por las Empresas Constructoras Norberto Odebrecht Ingeniería y Construcción, Andrade Gutiérrez Perú y Graña & Montero, Empresas Contratistas a cargo de la construcción del Eje Vial Multimodal del Amazonas, tramo Tarapoto – Yurimaguas.

6.2 Breve descripción del Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape

La carretera Chiclayo – Chongoyape se ubica en el Departamento de Lambayeque. El tramo se inicia en la ciudad de Chiclayo a una altura de 29.00 msnm., y finaliza en la localidad de Chongoyape con una altura de 208.00 msnm., con una longitud de 59.22 km. El eje forma parte de la vía Chiclayo – Chongoyape – Chota – Cutervo, siendo su acceso desde Lima a través de la Panamericana Norte hasta la ciudad de Chiclayo desviándose luego a la derecha con rumbo a Chongoyape, pasando por las Cooperativas Azucareras de Pomalca en el km 6+160, Tumán en el km 15+700 y Pátapo en el km 23+150; así como los poblados de la “Cría” en el km 34+396, “Cuculí” en el km 46+000 y “Piedra Parada” en el km. 56+150, llegando a Chongoyape en el km 59+220.

El proyecto tiene por finalidad la Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera entre Chiclayo y Chongoyape, tramo inicial de la vía Chiclayo – Chota – Cutervo. La empresa contratista encargada de la construcción es el Consorcio Chiclayo, el cual está integrado por las empresas contratistas Camargo Correa y Upacá.

6.2.1. Estudio de Canteras

El estudio realizado en 1995 consideró tres canteras: Cantera km 27+928, Cantera Cariñito km 40+800 y la Cantera Palomo km 46+800. En 1999 se consideró la Cantera La Cría km 34+000. Sin embargo por agotamiento y referencias en la zona, las canteras Cariñito y La Cría no han sido utilizadas en pavimentación por lo que se consideró utilizar el material de la Cantera Tres Tomas que a pesar de encontrarse más alejada de la carretera Chiclayo – Chongoyape contiene buen material para trabajos de pavimentación, los cuales han sido usados en varias carreteras en Lambayeque.

La cantera Tres Tomas se localiza en el distrito de Mesones Muro – Batán Grande a 21.70 km distante de la Carretera Chiclayo – Chongoyape, ubicada al lado izquierdo de la vía. El acceso es inicialmente mediante una trocha y luego por un caminito afirmado que empalma a la carretera en el km 21+620. Esta cantera presenta material residual compuesto de hormigón grueso con arena limpia, de forma angular a sub-angular. Puede utilizarse como base granular previo triturado y zarandeado con un rendimiento del 100%; como agregado para concreto Pórtland previo lavado, triturado y zarandeado con un rendimiento del 100%; como agregado para concreto asfáltico previo lavado, triturado y zarandeado, además será necesaria la utilización de aditivo mejorador de adherencia, en 0.5% del peso del asfalto a emplear para asegurar un rendimiento del 100% y como relleno. El volumen estimado de la cantera como material de préstamo es de 3'000,000.00 m³. La cantera abarca un área aproximada de 154,620.00 m². La explotación puede realizarse en todo el año, empleando equipo mecánico adecuado: tractor, cargador, chancadora y zaranda vibratoria.

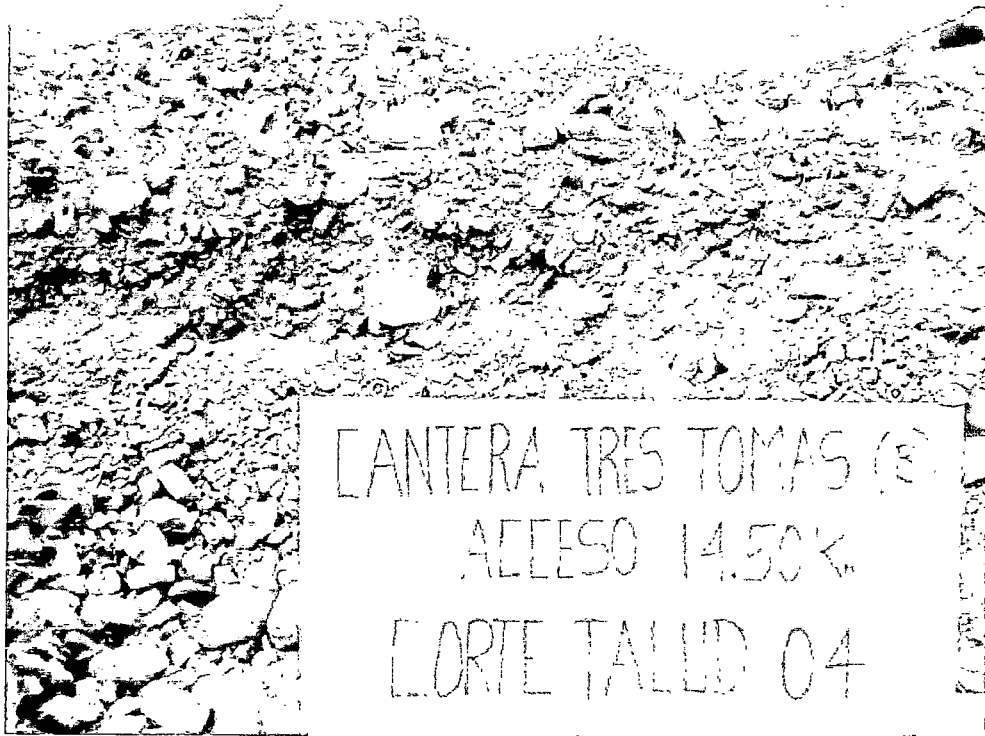


Imagen 6.2.1 Cantera Tres Tomas, km. 21+620 L.I.

Del estudio de canteras se obtuvieron las características físicas del material a explotarse, las mismas que se resumen a continuación:

Tabla 6.2.1 Propiedades del material de la Cantera Tres Tomas

Ensayo	Resultado
Límite Líquido (%) ASTM D-423	17.03
Límite Plástico (%) ASTM D-424	NP
Índice Plástico	NP
CBR (%) para 100% MDS	53
CBR (%) para 95% MDS	35
Peso específico de sólidos (gr/cc) ASTM D-854	2.794
Equivalente de arena (%) ASTM D-2419	71.87
Sales solubles totales (%) ASTM D-1889	0.026
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	GW

Ensayo	Resultado
Abrasión (%) ASTM C131	21.16
Durabilidad con NaSO ₄ ASTM C-88 (Grueso)	7.17
Durabilidad con NaSO ₄ ASTM C-88 (Fino)	8.35
Máxima Densidad Seca (gr/cc)	2.202
Optimo Contenido de Humedad (%)	7.6

Asimismo se verificó la adherencia de este material con el cemento asfáltico tipo PEN 60-70 procedente de la Refinería Talara mostrando una afinidad bitúmen agregado grueso: revestimiento 100% y desprendimiento (% retenido) de 95; y una adherencia del agregado fino, según el ensayo Riedel Weber, de grado 2.

6.3 Materiales empleados

6.3.1. Agregado Mineral

Como fue mencionado anteriormente, después del estudio de cinco posibles canteras, los agregados son obtenidos de la Cantera Tres Tomas.

De la explotación de agregados para la mezcla asfáltica se obtienen cuatro tipos:

- Arena natural zarandeada de ¼"
- Arena triturada de ¼"
- Gravilla triturada de 3/8"
- Grava triturada de ¾"

El diseño de mezcla asfáltica convencional MAC-02, considera el uso de los cuatro agregados en proporciones determinadas para cumplir la tabla N° 410-7 de las Especificaciones Técnicas del Proyecto (huso granulométrico de los agregados).

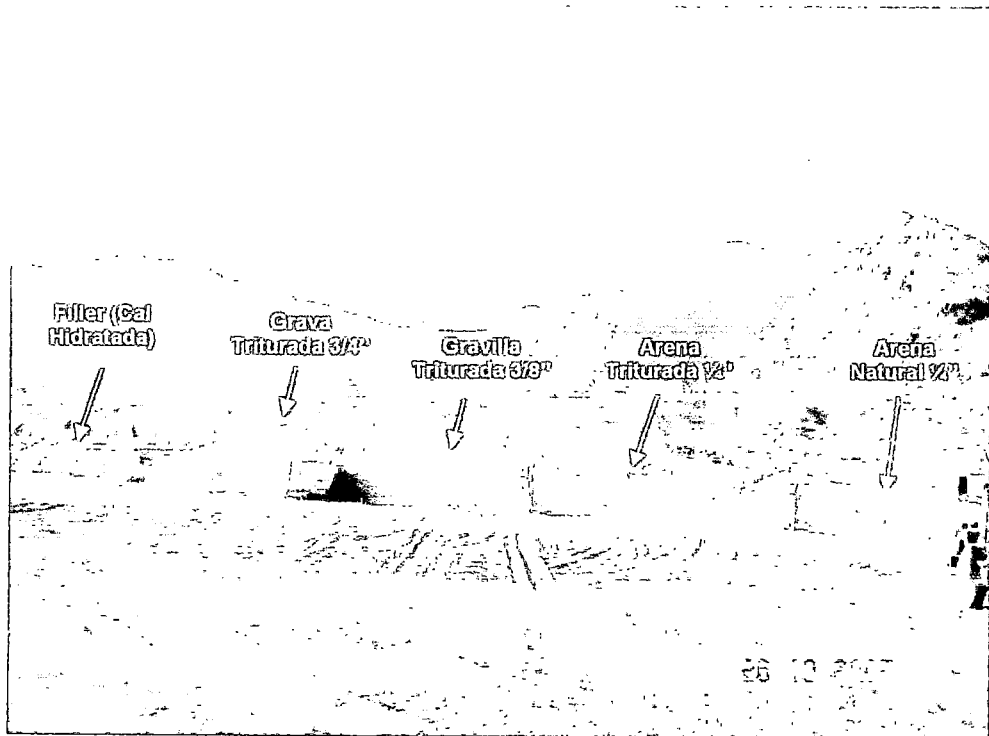


Imagen 6.3.1 Stock de agregados en planta para la producción de mezcla asfáltica.

Las Especificaciones Técnicas del presente proyecto presentan el siguiente huso granulométrico, correspondiente a la gradación densa convencional, para la mezcla convencional tipo MAC-02:

Tabla 6.3.1 Especificaciones de gradación para la mezcla convencional tipo MAC-02.

Tamiz	% que pasa MAC-2
3/4" (19.050 mm)	100
1/2" (12.700 mm)	90 – 100
Nº 4 (4.760 mm)	44 – 74
Nº 8 (2.360 mm)	28 – 58
Nº 50 (0.300 mm)	5 – 21
Nº 200 (0.074 mm)	2 – 10

6.3.2. Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico usado en el Proyecto proviene de la refinería Talara y su gradación por penetración es PEN 60-70, según el diseño Proyectado. Los certificados y la carta de viscosidad son presentados en los anexos de la presente tesis. Se resumen sus propiedades en la siguiente tabla:

Tabla 6.3.2 Características del cemento asfáltico PEN 60-70.

Ensayos realizados a la muestra original	Especificación	Resultado
Viscosidad cinemática, 135 °C (cSt)		364.5
Viscosidad absoluta, 60 °C, 300 mm Hg (P)		2566.1
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	60 – 70	68
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min (cm)	> 100.0	+100
Punto de inflamación, Copa abierta Cleveland (°C)	> 232.0	291.3
Solubilidad en tricloroetileno	> 99.0	99.88

Ensayos realizados después de película fina, 3.2 mm, 163 °C, 5 h.	Especificación	Resultado
Pérdida (% masa)	< 0.80	0.10
Penetración del residuo (% de la original)	> 52.0	60.0
Ductilidad del residuo, 25 °C, 5 cm/min (cm)	> 50.0	+100

Ensayo	Especificación	Resultado
Índice de penetración (susceptibilidad térmica)	-1.0 – +1.0	0.83
Ensayo de la mancha		
Solvente Nafta Estándar	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno (%)	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno (%)	Negativo	Negativo

6.3.3. Filler y Aditivos

El filler componente de la mezcla es cal hidratada. El aditivo líquido mejorador de adherencia Quimibond 3000 es una base amina que mejora la afinidad entre el agregado y el asfalto, evitando la formación de bolsas de agua que impiden la adhesión del cemento asfáltico al agregado, se comporta como un buen “anti – stripping” entre el asfalto y los agregados. Tanto el porcentaje del filler como del aditivo mejorador de adherencia fueron determinados en la verificación del diseño de mezcla del presente proyecto y corresponden a 2% y 0.5% respectivamente. Las propiedades del filler mineral y de los aditivos usados se muestran a continuación en la siguiente tabla resumen:

Tabla 6.3.3 Características del filler mineral y del aditivo mejorador de adherencia.

(a) Propiedades del Aditivo mejorador de adherencia

Determinación	Contenido
Contenido de aminas	400 – 600
Propiedades físicas a 25 °C	Líquido
Punto de inflamación (°C)	165
Viscosidad a 25 °C	2000 – 6500 cs
Gravedad Específica	0.95 promedio
Solubilidades:	
• Gasolina	Insoluble
• Agua	Insoluble
• Alcohol Isopropílico	Insoluble

(b) Propiedades del filler mineral (cal hidratada)

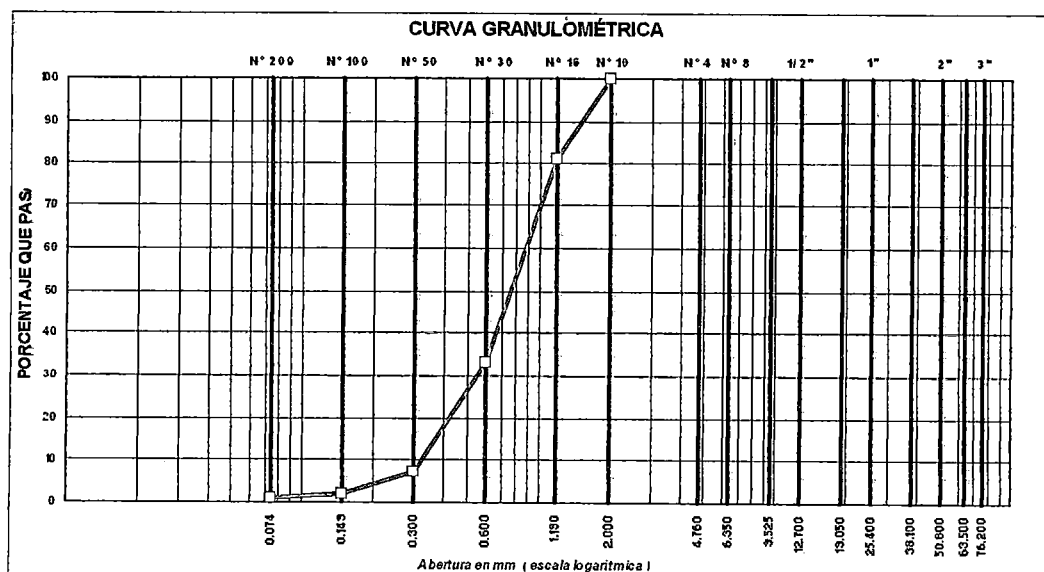
Determinación	Resultado
Contenido de cal activa	90.13
Porcentaje en peso de Ca(OH) ₂ + CaO	
Contenido de cal no hidratada	0.10
Porcentaje en peso de CaO	

Determinación	Resultado
Contenido de agua libre	
Porcentaje en peso de H ₂ O	0.70
Propiedades físicas	
Gravedad específica	2.28
Retiene el tamiz N° 30 (%)	0.01
Retiene el tamiz N° 200 (%)	0.17
Pasa por el tamiz N° 200 (%)	99.82

6.3.4. Caucho Molido Modificador (GCM – Granos de Caucho Modificador)

El caucho molido modificador (GCM) fue obtenido del área de investigación de la Universidad de Arizona (*Arizona State University – ASU*), específicamente cedidas para propósitos de investigación por Andrés Sotil Chávez, ex investigador de dicha casa de estudios. La gradación típica promedio del caucho usado en los proyectos de investigación de Arizona, y usado en la presente investigación se muestra en la figura siguiente:

Figura 6.3.1 Gradación del Caucho Molido Modificador (GCM).



El caucho obtenido se muestra en la imagen siguiente junto a los trozos de neumático desechado:

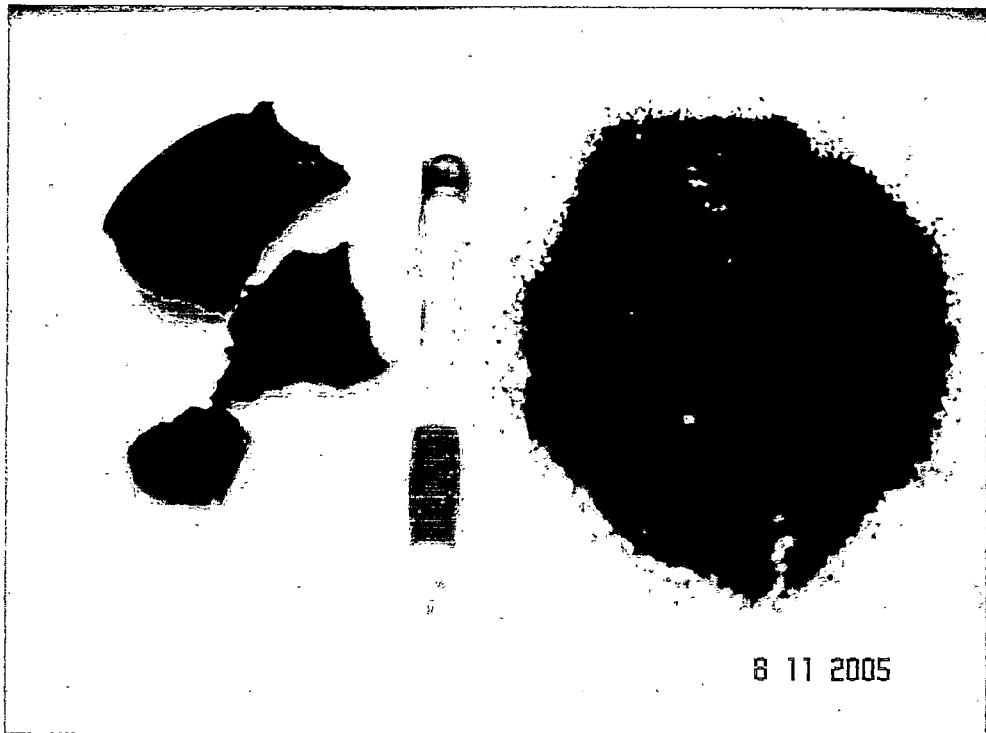


Imagen 6.3.2 Trozos de neumático desechado y Granos de Caucho Modificador (GCM).

Los pedazos de caucho (izquierda) corresponden a trozos de neumáticos desechados. El caucho fino molido (derecha) corresponde al caucho obtenido de la ASU (mencionado anteriormente) el cual proviene de lotes usados en proyectos de pavimentación y en investigación. Corresponde el tipo 1 descrito en la *tabla 4.1.1 (a)* y *figura 4.1.1 (a)* de la sección 4.1.1 de la presente investigación.

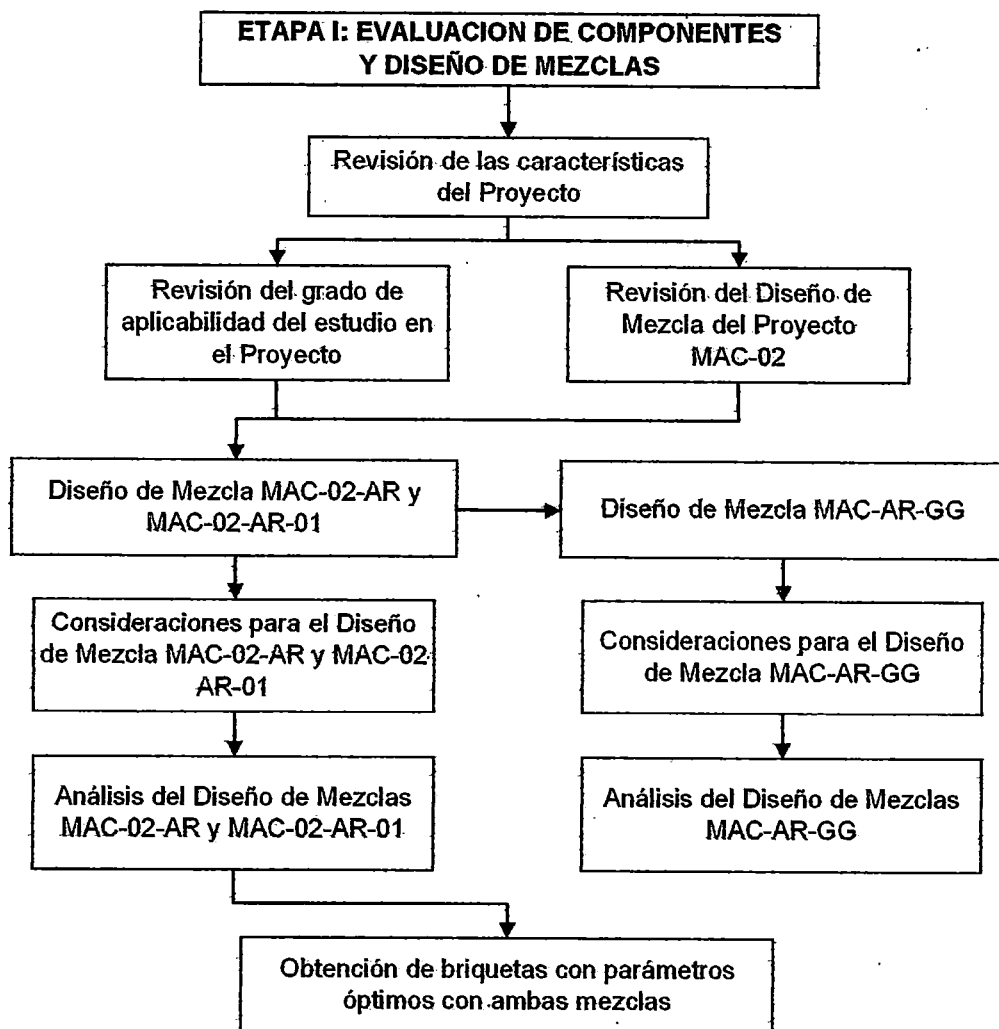
6.4 Programa Experimental

Como ya se mencionó el programa experimental consta de dos etapas de investigación las cuales son:

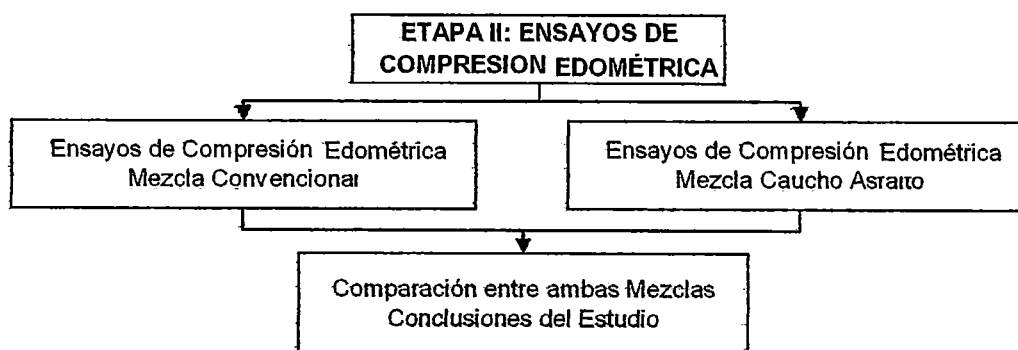
- Etapa I: Evaluación de Componentes y Diseño de Mezclas
- Etapa II: Ensayos de Compresión Confinada

La figura 6.3.2 muestra los procesos de ambas etapas del programa experimental.

Figura 6.3.2 Etapas del Programa Experimental
(a) Etapa I



(b) Etapa II



6.4.1. Etapa I: Evaluación de Componentes y Diseño de Mezclas

La primera etapa del presente estudio consta en la evaluación de los componentes de ambas mezclas asfálticas y el respectivo proceso de diseño, para lo cual se optó por el método de diseño Marshall actualmente usado en los diseños para los proyectos de pavimentación en nuestro país. Cabe acotar que una evaluación óptima se hubiese logrado aplicando la metodología *Superpave*, mas sin embargo algunas limitaciones nos restringen aún a la metodología Marshall por el momento. El método Marshall corresponde a una metodología empírica, por lo tanto no es la más acertada para caracterizar el comportamiento de las mezclas asfálticas, debido a esto es que en el presente trabajo se complementará el estudio con ensayos de compresión edométrica en muestras de ambas mezclas.

6.4.2. Revisión de las características del Proyecto

El Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape contempla la aplicación de una mezcla asfáltica convencional de gradación densa, la cual será colocada como una carpeta asfáltica de 3" (7.5 cm) de espesor, el cual obedece al diseño de pavimentos de dicho proyecto.

Las especificaciones de esta mezcla asfáltica obedecen a parámetros que se rigen por el tipo de tráfico y clima al cual será expuesto el pavimento final. La tabla siguiente muestra las Especificaciones Técnicas de la mezcla asfáltica a emplearse.

Tabla 6.4.1 Especificaciones de la Mezcla Asfáltica

Parámetros	Especificación
Número de golpes en cada lado del espécimen	75
Estabilidad (kg)	Mín. 680
Flujo (mm)	2 – 4
Porcentaje de vacíos (%)	3 – 5
Estabilidad/Flujo (kg/cm ²)	1700 – 3500 *
Índice de compactibilidad (%) **	Mín. 5
Estabilidad Retenida 24 horas a 60 °C en agua (%)	Mín. 75

* El índice de compactibilidad se define como:
$$I_c = \frac{1}{GEB50 - GEB5}$$

Donde:

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

** *Las Especificaciones Técnicas para la Mezcla Asfáltica, exigen un rango de Rigidez (Estabilidad/Flujo) entre 1700 – 3000 kg/cm, sin embargo teniendo en cuenta las altas temperaturas del medio ambiente y la temperatura de exposición del pavimento asfáltico en servicio, muy cercanos a los 60 °C en horas punta, es necesario tener una estabilidad de la mezcla alrededor de los 1000 kg. Asimismo es recomendable tener contenidos asfálticos menores a 6.0% para esta mezcla convencional.*

Los agregados tanto fino como grueso deben cumplir ciertas características físico – mecánicas, expuestas en las Especificaciones Técnicas del Proyecto. La tabla siguiente resume las exigencias mencionadas:

Tabla 6.4.2 Especificaciones de las características físico - mecánicas de los agregados.

Parámetros	Especificación
Equivalente de Arena (%)	Mín. 45
Partículas con una cara fracturada (%)	Mín. 40
Partículas con dos caras fracturadas (%)	Mín. 65
Durabilidad agregado grueso Na ₂ SO ₄ (%)	Máx. 12
Durabilidad agregado fino Na ₂ SO ₄ (%)	Máx. 12
Partículas chatas y alargadas (%)	Máx. 10
Abrasión Los Ángeles (%)	Máx. 40
Índice Plástico < N° 40 (%)	N.P.
Índice Plástico < N° 200 (%)	Máx. 4
Angularidad del agregado fino	Mín. 30
Afinidad Grueso (ASTM D – 1664)	+ 95
Riedel Weber (grado inicial)	Mín. 4
Índice de Durabilidad del agregado grueso (%)	Mín. 35
Índice de Durabilidad del agregado fino (%)	Mín. 35
Absorción del agregado grueso (%)	Máx. 1.0
Absorción del agregado fino (%)	Máx. 0.5

El material empleado como relleno mineral (cal hidratada) que es necesario para llenar los vacíos de la mezcla debe carecer de materias extrañas y objetables, debe estar perfectamente seco para fluir libremente y no contener grumos. Este material debe cumplir los siguientes requisitos mínimos de granulometría:

Tabla 6.4.3 Especificaciones granulométricas del material de relleno mineral.

Malla	Especificación
N° 30	100
N° 50	95 – 100
N° 100	85 – 100
N° 200	65 – 70

El cemento asfáltico o asfalto sólido, debe ser homogéneo, seco (no contener agua) y no formar espuma al ser calentado a 160 °C. Para el diseño de mezclas del proyecto se ha contemplado un cemento asfáltico clasificado por penetración como PEN 60-70, y obedece al tipo de clima al cual estará expuesto el pavimento final. Asimismo el cemento asfáltico deberá cumplir las siguientes características:

Tabla 6.4.4 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

Características	Ensayo	PEN 60-70	
		Mín.	Máx.
Penetración 25 °C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	60	70
Punto de inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-
Ductilidad. 25 °C cm/min, cm	MTC E 306	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	-
Ensayo de película delgada en horno, 3.2 mm, 163 °C, 5 hrs Perdida de masa, %	MTC E 316	-	0.8
Penetración del residuo, % de la penetración original	MTC E 304	52	-
Ductilidad del residuo, 25 °C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	50	-
Índice de susceptibilidad térmica		-1.0	+1.0
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano – Xileno 20% (Opcional)	MTC E 314	Negativo	

En horas punta, la temperatura a la que estará expuesto el pavimento, se acerca a los 60 °C, asimismo la temperatura ambiente es un poco elevada debido al clima cálido de esta zona de costa. Debido a esto será necesario tener una mezcla asfáltica con una estabilidad un poco mayor a la normalmente exigida (mín. 680 kg).

El paquete del pavimento se compone considerando la recuperación del pavimento actual (deteriorado) en una profundidad de 0.15 m, una base granular de 0.20 m y la carpeta asfáltica de 3" (0.075 m) de espesor.

Tabla 6.4.5 Características del Proyecto.

Parámetro	Característica
Velocidad	60 km/hr, que disminuye a 40 km/hr en las zonas donde la topografía no permite mejorar las características geométricas por presentar un incremento innecesario de la obra.
Radio	R máx. = 20 000.00 m R mín. = 50.00 m
Superficie de rodadura	6.60 m
Peraltas.	Según las Normas Peruanas de Diseño de Carreteras del MTC.
Ancho de bermas	1.20 m a cada lado.
Cunetas	En los tramos en corte, a media ladera y/o corte cerrado, se consideran cunetas de 0.30x0.50, revestidas de concreto simple según los tramos indicados en el estudio de drenaje.
Pendientes	Máx. = 5.6955% Mín. = 0.0026%
Bombeo	2%
Sobreanchos	Según las Normas Peruanas de Diseño de Carreteras del MTC.
Taludes	Según las Normas Peruanas de Diseño de Carreteras del MTC.

6.4.3. Revisión del grado de aplicabilidad del estudio en el Proyecto

Como ya se mencionó antes la zona en la que se encuentra ubicada la carretera Chiclayo – Chongoyape está expuesta a elevadas temperaturas, por lo que se sugiere tener mezclas más estables. La mezcla convencional usada en este proyecto aún mantiene sus características normales y muestra una susceptibilidad a la temperatura muy típica debido al ligante usado, el cual es cemento asfáltico convencional. Una reducción de tal susceptibilidad térmica es muy deseada y es lo que comúnmente se busca al usar ligantes modificados. Ampliar el buen comportamiento del ligante asfáltico en un rango más amplio de temperaturas es siempre el objetivo de la mejora del ligante asfáltico, es decir lograr mejores comportamientos a temperaturas extremas. Los ligantes Caucho

Asfalto experimentados en el exterior mostraron tener mejor desempeño para temperaturas extremas.

La mezcla usada en el Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape, tiene las características para presentar un comportamiento regular y el pavimento final estará expuesto a temperaturas elevadas, por lo cual es aplicable un ligante modificado, el cual puede mejorar su desempeño para las altas temperaturas mencionadas. Lo anterior se verificará con un estudio de laboratorio.

6.4.4. Revisión del Diseño de Mezcla del Proyecto

El diseño de mezcla del Proyecto fue realizado y verificado para constatar el cumplimiento de las Especificaciones Técnicas abordando la comprobación de la calidad de los componentes agregados y materiales bituminosos incluyendo el filler mineral o cal hidratada.

Para el diseño de la mezcla convencional se realizó la combinación de agregados, con la finalidad de producir una gradación densa convencional que esté dentro del huso especificado. Cada uno de los cuatro agregados participantes fue ensayado por granulometría a fin de obtener una gradación promedio de cada uno. Igualmente el filler mineral (cal hidratada) fue también sometido al análisis granulométrico correspondiente a fin de determinar su proporción de participación en la mezcla. Se obtuvieron así las proporciones a usarse de cada tipo de agregado y de filler mineral, mediante métodos de combinación de agregados. La tabla siguiente muestra un resumen de la combinación de agregados y muestra que esta corresponde al huso especificado:

Tabla 6.4.6 Combinación de agregados de la mezcla convencional (% que pasa).

Tamiz	Arena Natural (13%)	Arena Triturada (42%)	Gravilla Triturada (25%)	Grava Triturada (18%)	Filler Mineral (2%)	Mezcla Teórica	MAC-02
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
1/2"	100.0	100.0	100.0	62.1	100.0	93.2	90 – 100
Nº 4	94.5	97.2	10.2	1.0	100.0	57.8	44 – 74
Nº 8	83.8	70.4	1.2	0.5	100.0	42.9	28 – 58
Nº 50	20.8	16.6	0.0	0.0	100.0	11.7	5 – 21
Nº 200	4.2	4.8	0.0	0.0	99.2	4.5	2 – 10

La figura siguiente muestra el huso granulométrico y la faja de trabajo con la que se produce la mezcla asfáltica convencional en el presente Proyecto de Rehabilitación, la cual corresponde a una gradación densa convencional.

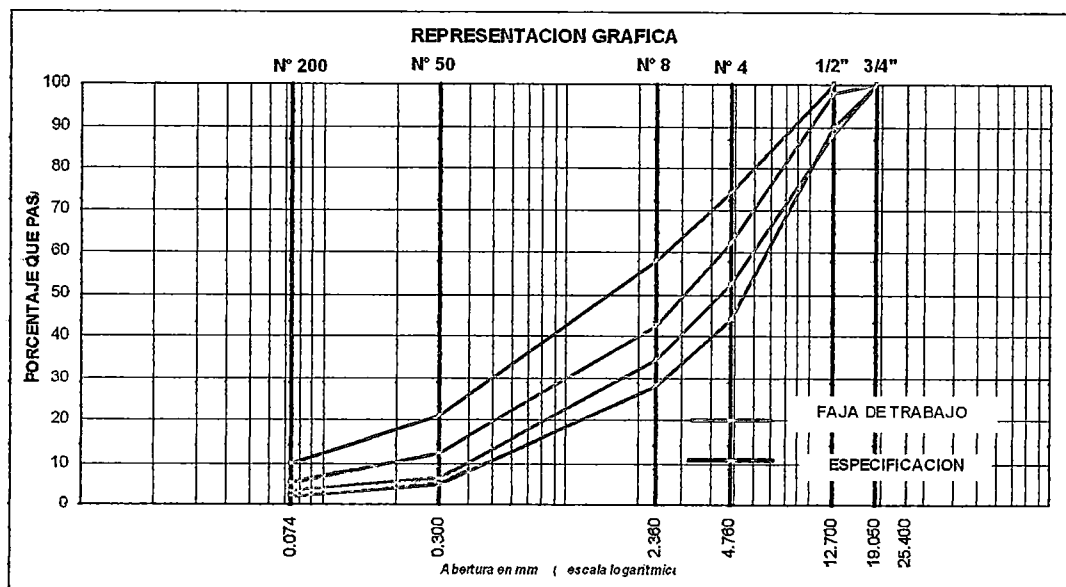


Figura 6.4.1 Huso granulométrico de especificación y huso de trabajo.

Para la utilización del agregado de la cantera tres tomas B se puso atención en la recomendación indicada en la Memoria Descriptiva del Proyecto, que indica la utilización de un aditivo mejorador de adherencia en un porcentaje de 0.5%. Las Especificaciones Técnicas del Proyecto exigen se verifique las características de adherencia y afinidad entre los agregados y el bitúmen a través de los ensayos de afinidad bitúmen para el agregado grueso y Riedel Weber para el agregado fino; ha sido mostrado a través de la experiencia que estos ensayos no representan el real comportamiento de los componentes de la mezcla asfáltica debido a que son de naturaleza muy subjetiva. Es debido a esto que se incorpora una evaluación más real a través del ensayo Lottman Modificado (el cual fue desarrollado siguiendo el procedimiento ASTM D 4867) a fin de determinar la real condición de dicha afinidad.

No obstante que según los ensayos antes mencionados, incluidos en las Especificaciones Técnicas, la afinidad y adherencia de los agregados con el bitúmen se muestran como satisfactorios; se confirma la necesidad de usar un aditivo mejorador de adherencia, al no superar el valor mínimo de 80% para la Resistencia a la Tracción del ensayo Lottman Modificado incluido en el SUPERPAVE, lo cual fue verificado desarrollando dicho ensayo sobre briquetas con y sin aditivo.

Asimismo se realizó la verificación de las propiedades físicas de la combinación de los agregados, tanto para la fracción fina como la fracción gruesa de dicha combinación de agregados. Dicho resumen se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.7 Resumen de las características físico – mecánicas de la combinación de agregados grueso y fino.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Equivalente de Arena	%	61.0	Mín. 45.0
Partículas con una cara fracturada	%	92.6	65.0
Partículas con dos caras fracturadas	%	70.4	40.0

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Durabilidad Grueso Na ₂ SO ₄	%	6.28	Máx. 12
Durabilidad fino Na ₂ SO ₄	%	6.32	Máx. 12
Partículas chatas y alargadas	%	6.0	Máx. 10
Abrasión Los Ángeles	%	14.7	Máx. 40
Índice Plástico < N° 200	%	3.3	Máx. 4
Angularidad del agregado fino	%	39.5	Mín. 30
Afinidad Grueso (ASTM D – 1664)		+95	> 95
Riedel Weber		8	Mín. 4
Índice de Durabilidad del agregado grueso	%	81.0	Mín. 35
Índice de Durabilidad del agregado fino	%	76.0	Mín. 35
Absorción del agregado grueso	%	0.8	Máx. 1.0
Absorción del agregado fino	%	1.9	Máx. 0.5

Las características del diseño de la mezcla asfáltica se obtienen a través del ensayo Marshall, comprobando que estas cumplan lo exigido en las Especificaciones Técnicas. El resumen de los resultados de dichas propiedades se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 6.4.8 Resumen de las características de la Mezcla Asfáltica Convencional, diseño de obra MAC-02.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Contenido de Cemento Asfáltico	%	5.67	±0.3%
Peso Unitario	gr/cm ³	2.380	
Contenido de Vacíos	%	4.0	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	15.4	Mín. 14
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico	%	75.0	
Flujo	mm	3.50	2 – 4
Estabilidad	kg	1073	680
Estabilidad/Flujo	kg/cm	3066	1700 – 3500 (*)
Índice de Compactibilidad	%	7.5	Mín. 5
Estabilidad Retenida	%	89.5	Mín. 75

(*) Las Especificaciones Técnicas para la Mezcla Asfáltica, exigían un rango de Rigidez (Estabilidad/Flujo) entre 1700 – 3000 kg/cm, sin embargo teniendo en cuenta las altas temperaturas del medio ambiente y la temperatura de exposición del pavimento asfáltico en servicio, muy cercanos a los 60 °C en horas punta, es necesario tener una estabilidad de la mezcla alrededor de los 1000 kg. Asimismo es recomendable tener contenidos asfálticos menores a 6.0% para esta mezcla convencional.

6.4.4.1 Dosificación obtenida del Diseño de Mezcla

Según lo obtenido de la combinación de agregados, estudio de la afinidad árido – bitumen y del diseño de mezclas realizado, se obtuvo la siguiente dosificación para la mezcla convencional, usada en la producción de la planta de asfalto instalada para los trabajos de pavimentación del proyecto de rehabilitación mencionado:

Tabla 6.4.9 Dosificación de los componentes de la mezcla asfáltica convencional.

Material	Proporción en la mezcla (%)
Arena natural zarandeada de ¼"	13.0 *
Arena triturada de ¼"	42.0 *
Gravilla triturada de 3/8"	25.0 *
Grava triturada de ¾"	18.0 *
Filler (Cal Hidratada)	2.0 *
Aditivo mejorador de adherencia	0.5 ***
Cemento Asfáltico	5.67 ± 0.3 **

* En relación al peso total de los agregados.

** En relación al peso total de la mezcla.

*** En relación al peso total del ligante asfáltico en la mezcla.

6.4.5. Diseño de Mezcla MAC-02-AR y MAC-02-AR-01

Para el diseño de la Mezcla Modificada o Caucho Asfalto se usó la misma combinación de agregados que el del diseño MAC-02. Las propiedades de dicho agregado ya se precisaron en el capítulo de revisión de la mezcla asfáltica. La gradación que se obtiene con esta combinación se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.10 Gradación densa convencional usada para los diseños MAC-02-AR y MAC-02-AR-01.

Tamiz	% Que pasa	Especificación
$\frac{3}{4}$ "	100.0	100
$\frac{1}{2}$ "	93.2	90 – 100
Nº 4	57.8	44 – 74
Nº 8	42.9	28 – 58
Nº 50	11.7	5 – 21
Nº 200	4.5	2 – 10

Los granos de caucho modificador usado corresponden al tipo I recomendado por Caltrans, presentan la siguiente gradación que se muestra en la tabla siguiente y cuyo huso granulométrico fue mostrado anteriormente:

Tabla 6.4.11 Gradación del Caucho Molido Modificador (GCM)

Tamiz	% Que pasa
Nº 10	100.0
Nº 16	81.3
Nº 30	33.1
Nº 50	7.4
Nº 100	2.1
Nº 200	1.0

Para la obtención de la gradación promedio del caucho molido modificador (GCM) se realizaron análisis granulométricos de diversas muestras como se muestra en la imagen 6.4.1.

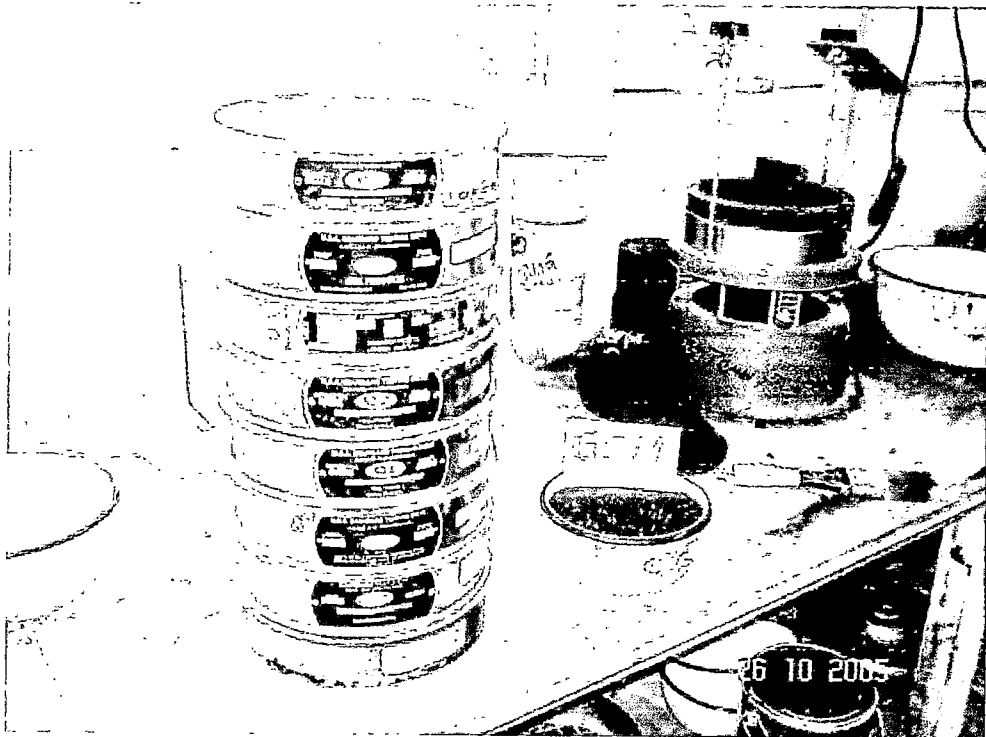


Imagen 6.4.1 Mallas y muestra para el análisis granulométrico del Caucho Molido Modificador (GCM).

El cemento asfáltico usado es el mismo que para el diseño de la mezcla densa convencional MAC-02. El ligante asfáltico consta de un cemento asfáltico virgen que será modificado con los granos de caucho molido, lo cual resultará en el ligante modificado caucho asfalto. Para este diseño se utilizará también el filler como material de relleno mineral de la mezcla y un aditivo mejorador de adherencia. También se evaluará la mezcla con aditivo a través del ensayo Lottman Modificado (incluido en *Superpave*) para ver la influencia del ligante modificado sobre la afinidad con los agregados.

6.4.6. Ensayos propuestos para evaluar la mezcla asfáltica

Los métodos más frecuentes para diseñar y evaluar mezclas asfálticas en caliente son los ensayos de estabilidad Marshall y Hveem. En nuestro medio el método adoptado y más comúnmente usado es el método Marshall y se continuará usando hasta que se incorporen y sean aceptados nuevos y mejores métodos. La metodología Marshall tiene un sustento empírico y no existe una buena correlación entre el método de ensayo y su comportamiento en campo²⁵.

El Método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por Bruce Marshall, del Mississippi Highway Department²⁶ en el año de 1939. Este método de ensayo fue normalizado por la ASTM con la nomenclatura D-1559, y tomó por nombre: *Resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa, usando el equipo Marshall*. La AASHTO normalizó también el procedimiento con la nomenclatura T-245, siendo similar a la Norma ASTM D-1559, variando únicamente en el uso de un martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente. El ensayo consiste en aplicar una carga diametral al espécimen compactado, medir su estabilidad (resistencia) y flujo (deformación).

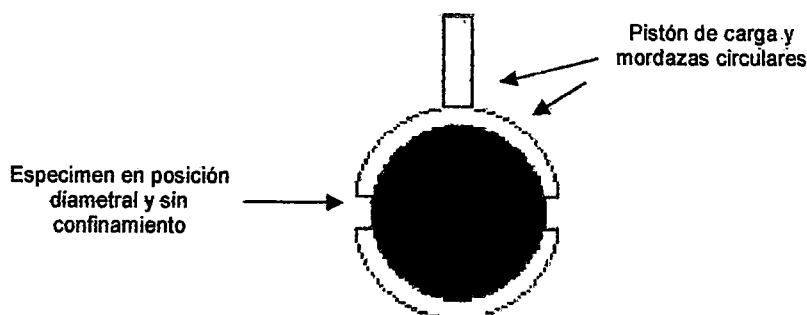


Figura 6.4.2 Esquema de compresión diametral con prensa y mordaza Marshall.

²⁵ National Center for Asphalt Technology, "Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction". Second Edition. 1996.

²⁶ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute MS-22

6.4.7. Consideraciones para el Diseño de Mezcla MAC-02-AR y MAC-02-AR-01

Como ya se mencionó antes, la gradación de los agregados será la misma usada para el diseño de la mezcla MAC-02, con la finalidad de comparar el efecto del ligante modificado en la mezcla asfáltica.

La gradación del caucho molido modificador (GCM) será la de tipo 1, recomendada por el Departamento de Transportes del Estado de California de los EE.UU. y se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.12 Gradación del Caucho Molido Modificador (GCM) Tipo 1.

Tamiz	GCM	
	% que pasa	
Nº 10 (2.00 mm)	100	100
Nº 16 (1.18 mm)	75	100
Nº 30 (600 µm)	25	100
Nº 50 (300 µm)	0	45
Nº 100 (150 µm)	0	10
Nº 200 (75 µm)	0	0

Para estos diseños también se hizo empleo tanto del filler mineral (cal hidratada) como del aditivo mejorador de adherencia.

Para la obtención del ligante modificado caucho asfalto se siguieron las recomendaciones tanto del Departamento de Transportes del Estado de California (Caltrans) como de investigaciones seguidas en la Universidad de Arizona. De este modo se definen las consideraciones para la mezcla del cemento asfáltico con el caucho molido modificador (GCM):

Tabla 6.4.13 Consideraciones para la mezcla (reacción) cemento asfáltico - caucho.

Parámetro	Valor
Porcentaje de caucho (*)	18%
Temperatura de mezclado	180°C
Tiempo de mezclado	60 min.
Velocidad de mezclado (**)	500 rpm

(*) En peso del ligante total.

(**) Se simula con mezclado manual.

La muestra del cemento asfáltico virgen fue extraída del tanque de almacenamiento instalado en la planta industrial de asfalto.

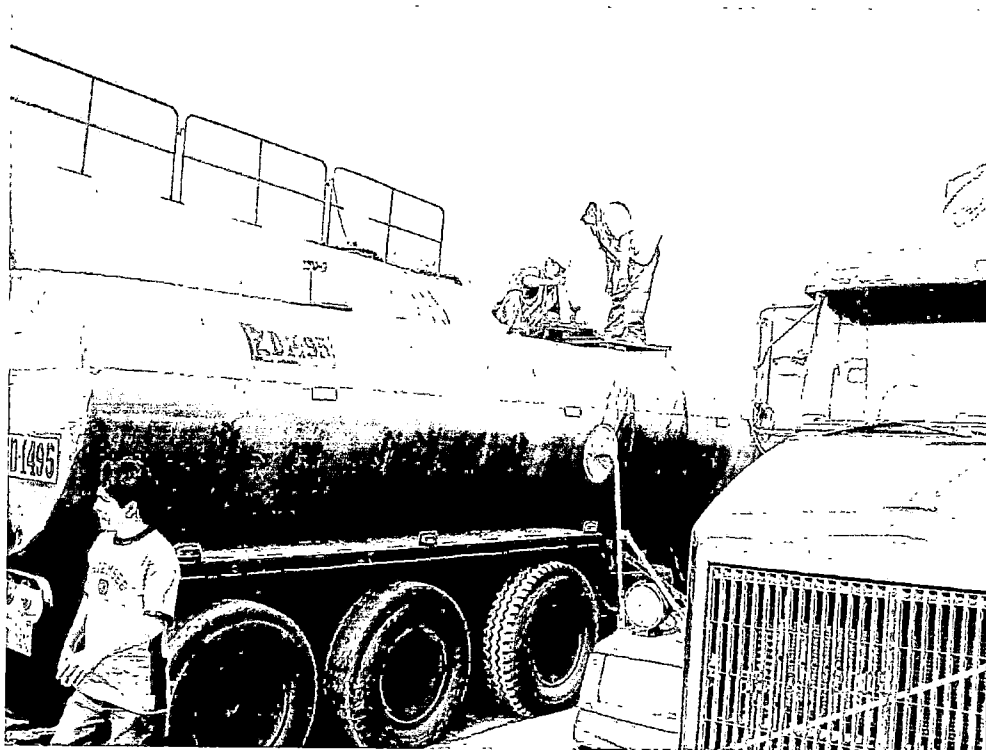


Imagen 6.4.2 Muestreo de cemento asfáltico del tanque de almacenamiento de la planta industrial de asfalto (Pátapo – Chiclayo).

Siguiendo estas consideraciones se procedió a realizar la mezcla en laboratorio, para lo cual se elevó a las temperaturas indicadas los materiales y se hizo la mezcla entre 180 °C – 190 °C, la agitación fue manual pero se trató de aproximarla a la velocidad recomendada (es recomendable una agitación mecánica centrífuga). El tiempo de mezclado también fue controlado. El resultado de la interacción de estos componentes da lugar al ligante modificado caucho asfalto.

Se realizó el ensayo de Penetración de Materiales Asfálticos (MTC E304 – ASTM D 5) sobre 4 muestra que constan de tres especímenes cada, logrando así un total de 12 especímenes ensayados. Los resultados se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.14 Ensayo de penetración sobre el ligante modificado caucho – asfalto.

Muestra	Penetración (1/100 mm)
M-1	32
M-2	33
M-3	33
M-4	33
Promedio	33

Temperatura de ensayo : 25 °C
 Carga móvil (incluye la aguja) : 100 ± 0.1 gr
 Tiempo de ensayo : 5 seg.

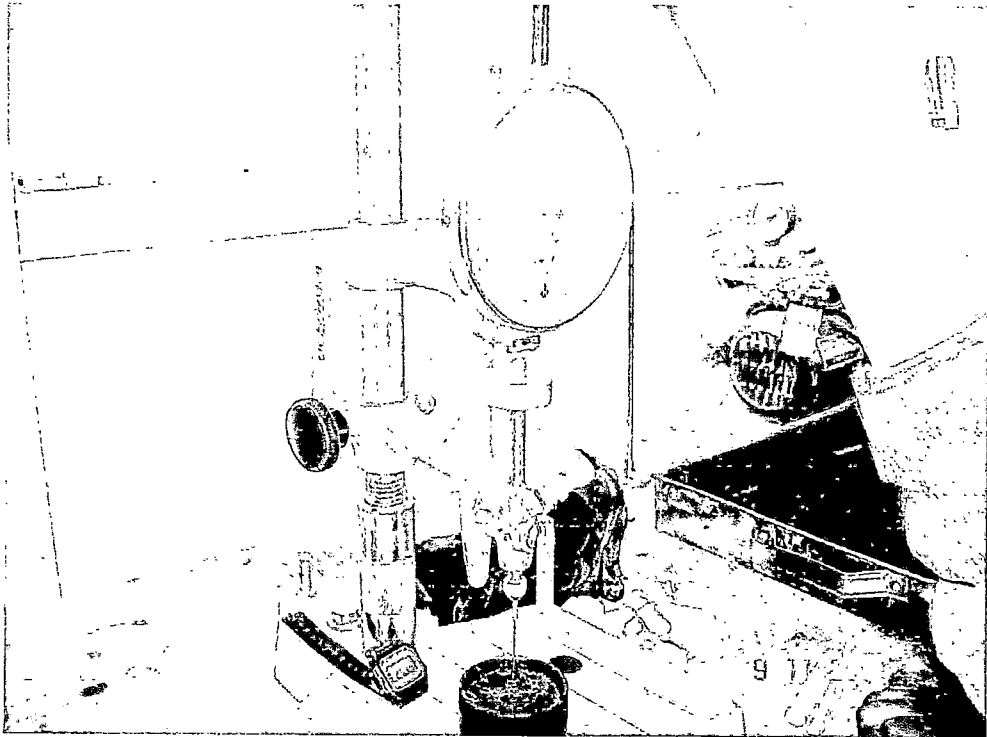


Imagen 6.4.3 Ensayo de penetración en el ligante modificado Caucho Asfalto.

El ligante modificado caucho asfalto obtenido presenta una consistencia más viscosa que el ligante convencional. A temperatura ambiente muestra una consistencia más dura que el convencional y esto se corrobora con los resultados del ensayo de penetración. Teniendo en cuenta de que el cemento asfáltico virgen (sin modificar) tiene una gradación de penetración de 60/70 (1/100 mm) y que el ligante modificado muestra una penetración promedio de 33 (1/100 mm) concluimos que el caucho aumenta la viscosidad del ligante final reduciéndolo en un 50%. Debemos tener en cuenta que muchos factores del mezclado pueden en cierto grado haber influenciado en las características finales de la mezcla, como por ejemplo el tipo de mezclado que fue manual; el dispositivo usado para la mezcla que permitió la emisión de vapores y humos que afectan en cierto grado. No obstante lo anterior mencionado debemos decir que el ligante modificado se aproxima a lo obtenido con procesos industriales de producción real de dicho ligante.

6.4.8. Análisis del Diseño de Mezclas MAC-02-AR y MAC-02-AR-01

Debido a que el ligante modificado presenta una viscosidad más elevada, y es comprobado esto con los valores de penetración obtenidos, las temperaturas de compactación y de mezcla deberán ser mayores a las usualmente optadas en los diseños convencionales, esto con el fin de lograr el porcentaje de vacíos requerido en el diseño de 4%. La temperatura de mezcla y compactación en la mezcla convencional según la carta de viscosidad del cemento asfáltico varía entre los 154 °C y 142 °C respectivamente. La figura siguiente esquematiza mejor lo antes mencionado:

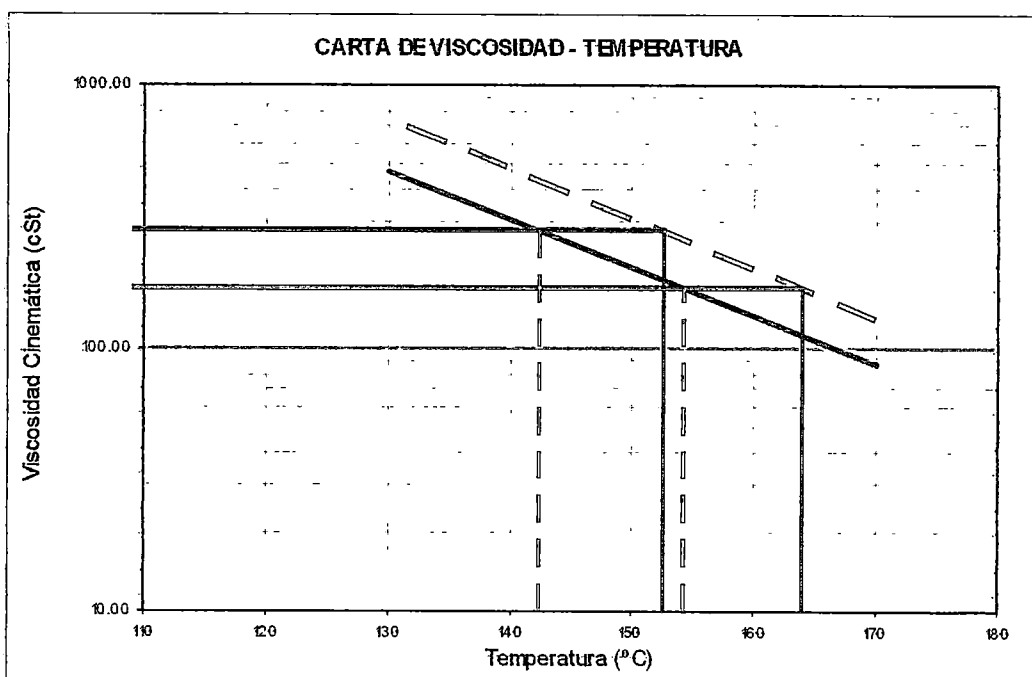


Figura 6.4.3 Carta de Viscosidad – Temperatura para los ligantes modificado y convencional.

Del gráfico mostrado se aprecia claramente que al aumentar la viscosidad del ligante asfáltico se produce un rango de temperatura superior para los rangos de viscosidad de mezcla y compactación. Tomando esto en consideración, el Diseño de Mezcla MAC-02-AR, fue realizado considerando un adicional de 10 °C

a las temperaturas de mezcla y compactación del diseño convencional, es decir 164 °C y 152 °C respectivamente. Este aumento de 10 °C en la temperatura de mezcla y compactación obedece a valores estimados después de una serie de moldeos (tanteos) para obtener porcentajes de vacíos alrededor de 4%.

Para el diseño de mezclas inicial (primer intento) MAC-02-AR, se observan que para contenidos de ligante asfáltico entre 5.0% y 7.0% los pesos unitarios están en el orden de 2.200 kg a 2.250 kg, lo cual representa valores bajos para este parámetro; el flujo de la mezcla oscila entre 4.5 mm y 5.5 mm, lo cual representa valores muy altos indicando que la mezcla es más flexible; los valores de estabilidad están en el orden de 800 y 1100 kg; el porcentaje de vacíos de este diseño varía entre 12.5% y 8.5%. Con esto mencionado anteriormente confirmamos que el porcentaje de vacíos no será alcanzado dentro de este rango, sino en un rango muy superior, lo cual no es representativo del comportamiento de un buen diseño debido a que la mezcla se comporta como muy abierta en cuanto al ligante asfáltico. La causa de los porcentajes altos de vacíos de este diseño es la compactación, ya que estos valores indican que la mezcla no está siendo compactada a la temperatura necesaria, debiéndose incrementar aún más la temperatura de mezcla y compactación a fin de alcanzar el rango de viscosidades necesario. Los ensayos correspondientes a este primer intento de diseño no son mostrados en los anexos.

El diseño de mezcla MAC-02-AR-01, nace después de algunos intentos por obtener valores de vacíos de la mezcla más acordes a fin de obtener el valor de 4% necesario. Es así que se llega a determinar que para obtener un Diseño de Mezclas acorde, es necesario elevar las temperaturas de mezcla y de compactación hasta 175 °C y 165 °C, respectivamente. Con estas temperaturas se realizó el diseño de mezcla MAC-02-AR-01, el cual procedemos a analizar.

Para el diseño MAC-02-AR-01 se consideró un rango de contenidos de ligante asfáltico entre 5.0% y 8.0%. Los parámetros del diseño por el método Marshall se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.15 Resumen de las características de la Mezcla Asfáltica Modificada, diseño MAC-02-AR-01.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Contenido de Cemento Asfáltico	%	7.25	±0.3%
Peso Unitario	gr/cm ³	2.335	
Contenido de Vacíos	%	4.0	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	19.9	Mín. 14
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico	%	75.0	
Flujo	mm	3.80	2 – 4
Estabilidad	Kg	1390	680
Estabilidad/Flujo	kg/cm	3658	1700 – 3500

Los gráficos y cálculos necesarios del Diseño MAC-02-AR-01 son mostrados en los certificados de los ensayos de laboratorio adjuntados en el anexo A.3.2 (*Diseño de Mezcla Marshall MAC-02-AR-01*) de la presente investigación. El diseño de mezcla arroja valores más elevados de estabilidad, siendo el valor para el óptimo contenido de asfalto de 1390 kg y una relación estabilidad/flujo de 3658 kg (ver anexo A.3.2). El óptimo contenido de asfalto es 7.25% que es un valor más alto comparado al 5.67% obtenido en el diseño de la mezcla convencional. Dicho mayor contenido favorece al uso de más caucho reciclado en la producción de la mezcla lo cual podría entenderse como un beneficio económico, mas sin embargo el más alto costo unitario inicial de este ligante modificado podría indicar lo contrario. Un análisis de los precios se detalla en capítulos posteriores, para un mayor entendimiento de este aspecto.

Este alto óptimo contenido de asfalto del Diseño de Mezcla MAC-02-AR-01 (7.25%) puede a menudo mostrarse como un problema pues se piensa inicialmente en problemas de exudación, más aún con las altas temperaturas a la cual estará expuesta en su vida de servicio. Esto no necesariamente es cierto puesto que el ligante modificado al tener menor penetración y mayor viscosidad se presentará como una material mas rígido a las altas temperaturas y mas flexible a las bajas temperaturas, esto debería corroborarse al ejecutarse pistas de prueba y ser estas expuestas a ambas condiciones de temperatura.

La tabla siguiente muestra la comparación entre las características de ambos diseños:

Tabla 6.4.16 Comparación de características de los diseños MAC-02 y MAC-02-AR-01.

Ensayo	Unidad	MAC-02	MAC-02-AR-01	Especificación
Contenido de Cemento Asfáltico	%	5.67	7.25	±0.3%
Peso Unitario	gr/cm ³	2.380	2.335	
Contenido de Vacíos	%	4.0	4.0	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	15.4	19.9	Mín. 14
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico	%	75.0	75.0	
Flujo	mm	3.50	3.80	2 – 4
Estabilidad	kg	1073	1390	680
Estabilidad/Flujo	kg/cm	3066	3658	1700 – 3500

Como ya se mencionó anteriormente ha sido mostrado a través de la experiencia que los ensayos aún usados y especificados en las normas MTC no representan el real comportamiento de la adherencia entre los agregados y el ligante asfáltico, dada su naturaleza muy subjetiva. En base a esto se recurre a una evaluación más real a través del ensayo Lottman Modificado (incluido en *Superpave*) para determinar la condición real de dicha afinidad.

El diseño MAC-02 sin la adición de un aditivo mejorador de adherencia no supera el valor mínimo para la relación de resistencia a la tracción recomendado por *Superpave* de 80%. La muestra sin aditivo presenta ligero desprendimiento de bitumen con partículas de agregado libre de asfalto y muestra una coloración opaca propia de un envejecimiento acelerado. Una inclusión de 0.5% en peso del ligante del aditivo mejorador de adherencia Quimibond 3000 logra superar dicho límite, llegando incluso a valores encima del 90%. La muestra con aditivo no presenta desprendimiento de bitumen, mantiene su coloración característica

bituminosa, los restos del bitumen todavía mantienen su principal característica de ligante.

Para la mezcla modificada del diseño MAC-02-AR-01 se realizó el ensayo Lottman Modificado a fin de determinar y comprender la influencia del caucho en las propiedades de adherencia entre los agregados y el ligante modificado. El resultado de relación de resistencia a la tracción de esta mezcla es de 84.7%, valor que supera el mínimo recomendado para el porcentaje de vacíos de 7% ($\pm 1\%$) que indica el procedimiento de ensayo.

6.4.9. Diseño de Mezcla MAC-AR-GG

El diseño de la mezcla modificada MAC-GG-AR con agregados de gradación *gap – graded* (gradación incompleta) omite el uso de la arena natural, esto fue necesario para cumplir el huso granulométrico usado como especificación y para atender a las recomendaciones de este tipo de granulometría, similares a las mezclas SMA.

Para la mezcla modificada, *caucho asfalto* de gradación incompleta, se usó la gradación incompleta (*gap – graded*), la cual es usada en muchas Agencias de Transportes de los EE.UU. y cuyo éxito en muchos proyectos es causa del interés de su uso para el presente estudio. Podemos decir que la mezcla de gradación incompleta abarca a las mezclas tipo SMA, las cuales debido a su gradación un tanto más abierta que las mezclas incompletas convencionales requieren muchas veces el uso de fibras para evitar el escurrimiento (*draindown*) a las cuales están expuestas debido a la falta de un tamaño intermedio en su estructura granular.

Las especificaciones de gradación que se usará en el presente estudio corresponden a las especificaciones para mezclas tipo *gap – graded* del Departamento de Transportes (Caltrans) del estado de California de los EE.UU., y que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.17 Especificaciones para la Gradación Incompleta (gap – graded), según Caltrans Standard Special Provisions for Asphalt Rubber – SSP 39-400-A03-15-00.

Tamiz	% que pasa Gap – Graded
¾" (19.050 mm)	100
½" (12.700 mm)	90 – 100
3/8" (9.525 mm)	83 – 87
Nº 4 (4.760 mm)	33 – 37
Nº 8 (2.360 mm)	18 – 22
Nº 16 (1.180 mm)	8 – 12
Nº 200 (0.074 mm)	2 – 7

El huso granulométrico para esta especificación se muestra en la figura siguiente, donde puede apreciarse la falta de los tamaños intermedios lo que permite que se forme un esqueleto piedra – piedra, un poco menos diferenciado que el de la gradación tipo SMA, como se mostró en la figura 2.5.6 de la sección 2.5.1.3 de la presente investigación.

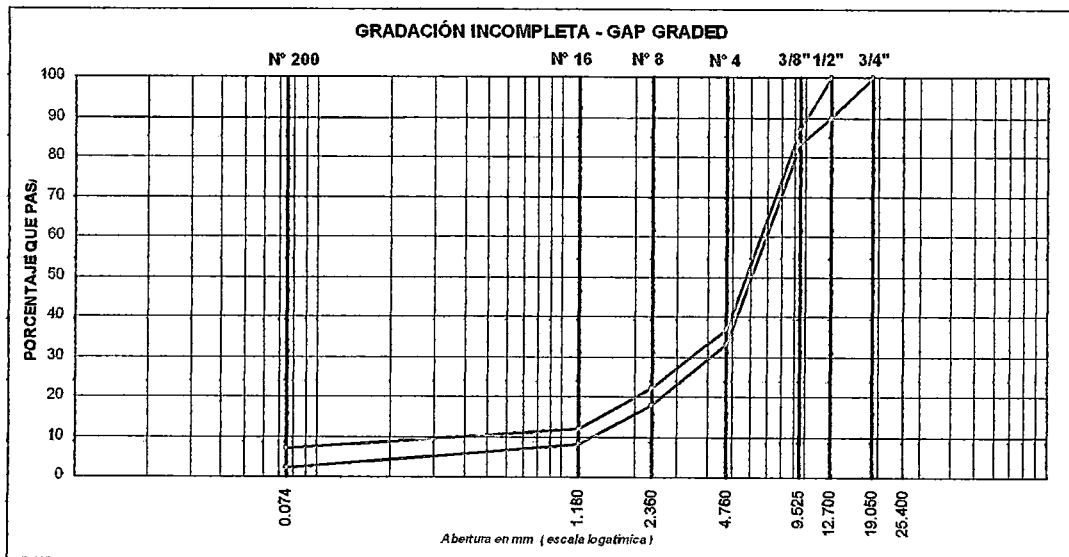


Figura 6.4.4 Huso granulométrico (gap – graded) según SSP 39-400-A03-15-00.

Como es apreciado en la figura anterior, el uso propuesto por las Normas Provisionales Especiales (SSP) de la Agencia Caltrans de California, corresponde a una gradación incompleta y es una faja bastante sesgada, ciertamente exigente en cuanto a la gradación. Para este huso se realizó también la correspondiente combinación de agregados. Debido a lo sesgado del huso se realizaron numerosas combinaciones con los cuatro tipos de agregados producidos, llegando a la conclusión de que para poder conseguir una mezcla que encaje dentro del huso propuesto es necesario omitir el uso de la arena natural, teniendo como mezcla final la mostrada en el resumen de la tabla siguiente:

Tabla 6.4.18 Combinación de agregados para la mezcla de gradación incompleta (% que pasa)

Tamiz	Arena Natural (0%)	Arena Triturada (28%)	Gravilla Triturada (50%)	Grava Triturada (20%)	Filler Mineral (2%)	Mezcla Teórica	SSP 39-400
¾"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
½"	100.0	100.0	100.0	69.0	100.0	93.8	90 – 100
3/8"	100.0	100.0	100.0	26.9	100.0	85.4	83 – 87
Nº 4	97.9	97.2	11.3	1.0	100.0	35.1	33 – 37
Nº 8	88.0	60.8	0.4	0.9	100.0	19.4	18 – 22
Nº 16	62.8	34.9	0.0	0.0	100.0	11.8	8 – 12
Nº 200	2.4	3.8	0.0	0.0	99.2	3.0	2 – 7

Al igual que para la gradación densa de la mezcla convencional, se evaluaron las propiedades físicas de la combinación de agregados tanto para la porción fina como para la porción gruesa. El resumen de estas propiedades se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.19 Resumen de las características físico – mecánicas de la combinación de agregados grueso y fino (Gradación Incompleta)

Característica	Resultado
Agregado fino (mezcla de arenas)	
Peso específico (bulk base seca)	2.624
Peso específico (bulk base saturada)	2.674
Peso específico aparente (base seca)	2.762
% de absorción	1.90
Equivalente de arena (%)	63.6
Límite líquido (pasante tamiz N° 200) (%)	24.9
Índice de plasticidad (%)	2.9
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1703
Peso unitario varillado (kg/m ³)	1851
Agregado grueso (mezcla de gravas)	
Peso específico (bulk base seca)	2.722
Peso específico (bulk base saturada)	2.742
Peso específico aparente (base seca)	2.777
% de absorción	0.72
Abrasión Los Ángeles (%)	12.0
Partículas chatas y alargadas (%)	7.3
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1505
Peso unitario varillado (kg/m ³)	1621
Partículas con una cara fracturada (%)	91.4
Partículas con dos o más caras fracturadas	65.7

6.4.10. Etapa II: Ensayos de Compresión Edométrica

6.4.11. Ensayo propuesto para evaluar la mezcla convencional y modificada

Según Investigaciones realizadas por la NCAT (National Center for Asphalt Technology), EEUU, sobre mezclas asfálticas densas convencionales y mezclas asfálticas de gradación incompleta tipo SMA, los resultados de estabilidad y flujo indican que las mezclas densas convencionales son más resistentes que las mezclas de gradación incompleta tipo SMA, lo cual contradice el comportamiento

real de dicha mezcla asfáltica en campo. Se concluyó para estas investigaciones que deberían desarrollarse nuevos métodos de ensayos de laboratorio que evalúen adecuadamente el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas y que los ensayos de laboratorio propuestos hasta la actualidad no representan el comportamiento real de las mezclas asfálticas en campo. Investigadores de la Arizona State University (ASU) están evaluando actualmente el ensayo adecuado para tal fin. El ensayo elegido debe evaluar el comportamiento mecánico de cualquier tipo de mezcla asfáltica que permita predecir su comportamiento para fines de diseño.

El ensayo para medir la resistencia de la estructura debe ser confinado, debido a que gran parte de la resistencia lo proporcionará el efecto de confinamiento como sucede con toda estructura granular.

En el presente trabajo se propondrá el ensayo de compresión edométrica. Para este ensayo se utiliza la prensa del ensayo CBR (MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193) y un disco metálico de diámetro similar al diámetro de la muestra. En la tesis de maestría: *Comportamiento Mecánico de Mezclas Asfálticas tipo Superpave y SMA*, desarrollada por S. Minaya G., se propuso esta metodología de ensayo en el año 2003 para evaluar el comportamiento de las mezclas SMA; estos ensayos fueron desarrollados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la FIC-UNI.

A continuación se detalla el ensayo realizado en el presente trabajo donde se evalúan los especímenes de mezclas asfálticas densas convencionales con y sin caucho, obtenidas en la Etapa I de la presente Investigación.

6.4.11.1 Compresión edométrica

Este ensayo de compresión edométrica consiste en aplicar una carga sinusoidal sin periodo de descanso a un espécimen confinado. La carga se aplica con el pistón de carga del equipo CBR a un disco metálico con diámetro igual al diámetro del espécimen.

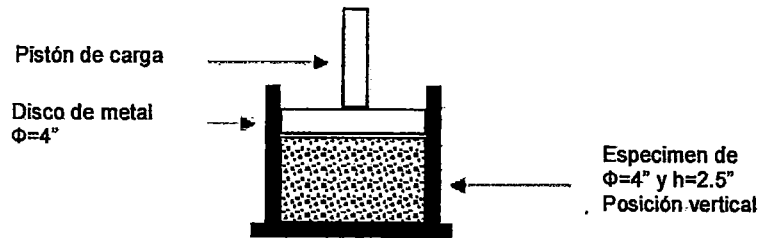


Figura 6.4.5 Ensayo de compresión edométrica con equipo CBR

Para este tipo de ensayo la deformación será calculada directamente con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon(\%) = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

Donde:

- ε : Deformación del espécimen
- Δh : Asentamiento debido a la carga
- h : Altura original del espécimen.

El módulo dinámico se calculará con la siguiente ecuación:

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

6.4.11.2 Evaluación comparativa mediante ensayos de Compresión Edométrica

Para efectos de un análisis comparativo a través de los módulos dinámicos de ambas mezclas se ejecutó el ensayo de Compresión Edométrica, para lo cual se usó el equipo CBR, (Prensa y Diales) del cual se presenta la respectiva carta de calibración en los anexos.

Este ensayo se realiza simulando una carga cíclica para lo cual se procede a cargar la muestra hasta llegar a la presión indicada en un determinado lapso de tiempo, luego se procede a la descarga, tomándose las lecturas de deformación tanto en la carga a la presión indicada como en la descarga con dos diales a fin de obtener valores mas certeros; un tercer dial de cargas sirve para controlar la presión aplicada. Este proceso es repetido hasta llegar a la condición de resiliencia (cuando la deformación debido a la carga repetitiva decrece y es prácticamente recuperable).

A través de esta simulación de ensayo de compresión edométrica se obtuvo los valores de los módulos dinámicos de las distintas briquetas obtenidas en la Etapa I del presente estudio, tanto de la mezcla convencional como de la mezcla modificada. Los gráficos y cálculos necesarios son presentados en el *Anexo E – Cálculos*.

Para la realización de los ensayos se utilizaron los siguientes equipos de laboratorio:

- Prensa CBR de 10,000 libras de capacidad.
- Dial de lectura de deformaciones (se utilizaron 02 diales para obtener lecturas en ambas caras y obtener el valor promedio).
- Dial de lectura de cargas.
- Disco metálico (que simula la placa rígida) de distribución de las presiones de espesor 1”.
- Cronómetro de precisión.

Siguiendo la metodología usada por S. Minaya G., 2003; fueron tomadas en cuenta las siguientes consideraciones para el ensayo:

Presión de aplicación : 10 kg/cm²
Temperatura de ensayo : 0 °C y 60 °C

De acuerdo a la presión de aplicación, área de contacto entre la placa rígida y la biqueta de prueba y a la calibración de la prensa CBR se determinó la

lectura del dial de carga que genera una presión de 10 kg/cm^2 (presión encima de aquella a la que estará expuesto el pavimento durante su vida útil). Se tomaron las lecturas de deformación en cada ciclo de carga y descarga.

El resumen de los resultados del ensayo de compresión edométrica sobre especímenes con ambos diseños a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se muestra en la tabla siguiente (los cálculos y gráficos detallados para la obtención de estos valores se adjuntan en el Anexo E – Cálculos):

Tabla 6.4.20 Resultados del ensayo de compresión edométrica: $60 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 kg/cm^2

Diseño (Muestra)	T° ensayo (°C)	Peso Unitario (gr/cm ³)	E (kg/cm ²)	E promedio (kg/cm ²)
MAC-02 (S1)	60	2.390	490	
MAC-02 (S2)	60	2.388	567	512
MAC-02 (S3)	60	2.378	504	
MAC-02 (S4)	60	2.389	488	
MAC-02-AR-01 (C1)	60	2.312	838	
MAC-02-AR-01 (C2)	60	2.288	823	786
MAC-02-AR-01 (C3)	60	2.319	785	
MAC-02-AR-01 (C4)	60	2.324	698	

El módulo dinámico promedio a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para el diseño MAC-02 es 512 kg/cm^2 . Para el diseño MAC-02-AR-01 el módulo dinámico promedio a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ es 786 kg/cm^2 . El módulo dinámico de la mezcla modificada a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ es 54% mayor que para la mezcla convencional a la misma temperatura de ensayo.

El resumen de los resultados del ensayo de compresión edométrica a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ sobre ambas mezclas se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.21 Resultados del ensayo de compresión edométrica: 0 °C, 10 kg/cm²

Diseño (Muestra)	T° ensayo (°C)	Peso Unitario (gr/cm ³)	E (kg/cm ²)	E promedio (kg/cm ²)
MAC-02 (S1)	0	2.387	583	
MAC-02 (S2)	0	2.386	633	627
MAC-02 (S3)	0	2.381	617	
MAC-02 (S4)	0	2.384	675	
MAC-02-AR-01 (C1)	0	2.321	824	
MAC-02-AR-01 (C2)	0	2.328	867	829
MAC-02-AR-01 (C3)	0	2.321	810	
MAC-02-AR-01 (C4)	0	2.314	813	

El ensayo a 0 °C muestra un valor promedio de módulo dinámico para la mezcla convencional de 627 kg/cm². Para la mezcla modificada se obtiene un módulo dinámico promedio de 829 kg/cm². Entonces el módulo dinámico a 0 °C de la mezcla modificada resulta 32% mayor al módulo de la mezcla convencional.

De estas tablas resumen, se puede recalcar el hecho que para un mismo tipo de mezcla los valores obtenidos a 60 °C son menores que los valores obtenidos a 0 °C.

Asimismo se presenta el resumen de los valores de deformación recuperable en la condición de resiliencia, el cual se calcula de la diferencia entre la lectura de deformación para la carga de la presión máxima y la lectura de deformación sin carga. Estos valores son presentados tanto para los ensayos a 60 °C y para los ensayos a 0 °C tal como sigue en la siguiente tabla:

Tabla 6.4.21 Deformación recuperable a 60 °C y a 0 °C, para ambos tipos de mezcla.

Diseño (Muestra)	Resultados a 60 °C		Resultados a 0 °C	
	Deformación recuperable, ϵ (%)	ϵ promedio (%)	Deformación recuperable, ϵ (%)	ϵ promedio (%)
MAC-02 (S1)	2.1		1.7	
MAC-02 (S2)	1.8		1.6	
MAC-02 (S3)	2.0	2.0	1.6	1.6
MAC-02 (S4)	2.1		1.5	
MAC-02-AR-01 (C1)	1.2		1.2	
MAC-02-AR-01 (C2)	1.2		1.2	
MAC-02-AR-01 (C3)	1.3	1.3	1.2	1.2
MAC-02-AR-01 (C4)	1.4		1.2	

Del análisis de estos valores podemos rescatar lo siguiente: el valor promedio de deformación recuperable a 60 °C en la condición de resiliencia para la mezcla modificada es 1.3, mientras que para la mezcla convencional es de 2.0. A 0 °C la mezcla modificada tiene una deformación recuperable promedio de 1.2 y la mezcla convencional tiene un promedio de 1.6.

Los resultados fueron similares a los obtenidos por S. Minaya G., 2003 cuando se compararon mezclas convencionales con mezclas SMA.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DE COSTO DE LA MEZCLA CAUCHO ASFALTO

7.1 Introducción

La mezcla caucho asfalto presenta algunas limitaciones que han sido mencionadas. Una de tales es su alto costo inicial.

La concepción de un proyecto vial en nuestro país toma en cuenta innumerables factores, la buena elección de estos hace posible la concreción de los mismos. En muchos casos la consideración número uno para la aprobación de un proyecto vial es el factor económico, buscando que la relación beneficio costo siempre sea mayor a la unidad ($B/F > 1$).

El uso de cualquier mezcla modificada que mejore el desempeño de los pavimentos deberá probar también que es económicamente más rentable, de tal modo que la factibilidad técnica vaya acompañada de la factibilidad económica. Sólo de este modo podrá desarrollarse en nuestro medio y se podrá impulsar su investigación e incorporación como alternativa de solución de los problemas actuales de los pavimentos de nuestra Red Vial Nacional.

7.2 Costo de la mezcla caucho asfalto

El costo de la mezcla caucho asfalto en Arizona, donde se han acondicionado el equipamiento necesario para su producción y se han ejecutado numerosos proyectos de pavimentación con la mezcla modificada es de \$45 a \$50 por tonelada, lo cual es entre \$10 a \$20 más costoso por tonelada que una mezcla convencional. Sin embargo un análisis del costo del ciclo de vida del

pavimento puede mostrar mejor el beneficio en cuanto al costo logrado al usar la mezcla modificada.

Si alguna mezcla modificada puede mejorar el desempeño del pavimento, dándole más durabilidad y resistencia a la estructura, algunas veces reduciendo a la mitad el espesor requerido para una mezcla convencional de gradación densa, se podrá usar menos material para obtener similares resultados. La mejor manera de concluir a ciencia cierta sobre las ventajas económicas de las mezclas modificadas es realizar un análisis de un proyecto a través de su vida esperada. En 1999 un Análisis de Costo del Ciclo de vida²⁷ (Life Cycle Cost Analysis – LCCA) fue conducido en los Estados Unidos para evaluar las ventajas del uso de la mezcla caucho asfalto.

La metodología usada para este análisis es mostrada en las figuras 7.2.1 y 7.2.2 y consta de los siguientes pasos:

- Desarrollo de estrategias de mantenimiento y rehabilitación para el periodo de análisis.
- Establecer la vida estimada de las distintas estrategias de mantenimiento y rehabilitación.
- Estimar los costos para la construcción, mantenimiento y rehabilitación.
- Estimar los costos de los usuarios y los no usuarios.
- Desarrollar el flujo de gastos.
- Calcular el valor presente.
- Analizar los resultados usando una aproximación probabilística y determinística.
- Re evaluar las estrategias y desarrollar nuevas como sea necesario.

²⁷ Hicks, R. G. and J. A. Epps. Life Cycle Cost Analysis of Asphalt-Rubber Paving Materials. Report for 1st International Conference World of Asphalt Pavements, Sydney, 1999.

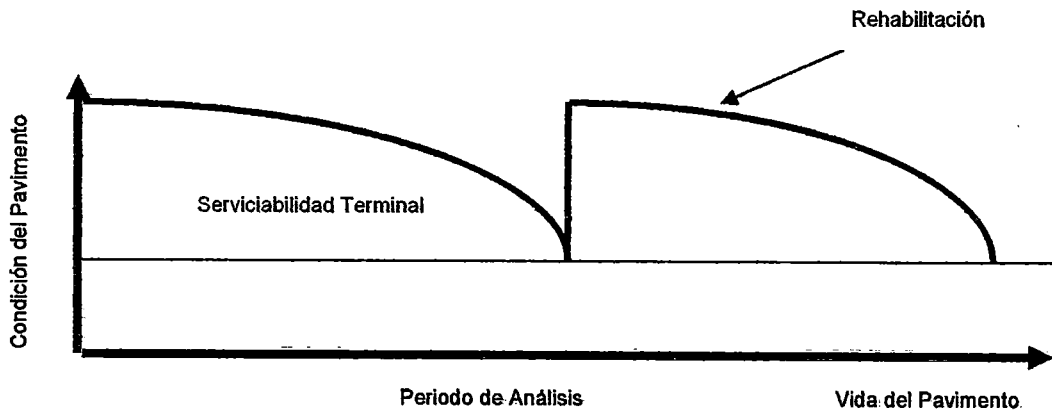


Figura 7.2.1 Metodología LCCA. Periodo de diseño para la alternativa de diseño del pavimento.

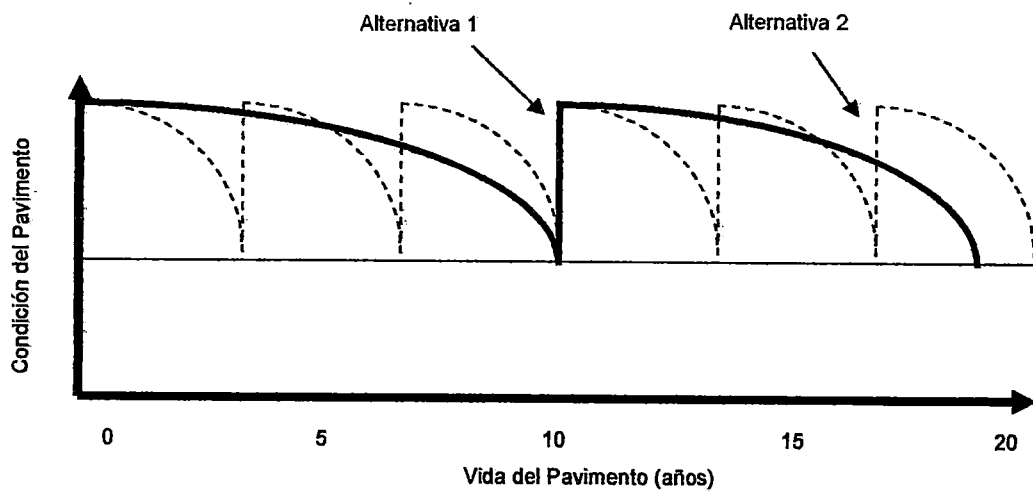


Figura 7.2.2 Metodología LCCA. Curvas de desempeño para dos estrategias de mantenimiento y rehabilitación.

Basado en la información provista y los resultados de los análisis, las siguientes conclusiones fueron garantizadas para este estudio:

- Para los escenarios evaluados, el caucho asfalto fue una alternativa efectiva de costo para muchas aplicaciones de pavimentos en carreteras.

- Cuando se consideró una variabilidad en las entradas (costo, vida esperada) las alternativas caucho asfalto fueron la mejor elección en la mayoría de las aplicaciones consideradas.
- El caucho asfalto no resultó tener un costo efectivo para todas las aplicaciones. El análisis LCCA permite determinar cuando y donde la mezcla modificada tiene un costo efectivo.
- El resultado de este estudio sugirió que el caucho asfalto tuvo principalmente un costo más efectivo cuando el agrietamiento por reflexión fue esperado.
- La efectividad de costo del caucho asfalto fue dependiente en muchos de los casos de la habilidad para reducir el espesor. Sin una reducción en el espesor, o mayores vidas para iguales espesores, las alternativas caucho asfalto no tendrán un costo efectivo.

Un ejemplo del menor costo de mantenimiento se muestra en la figura 2.7.3.

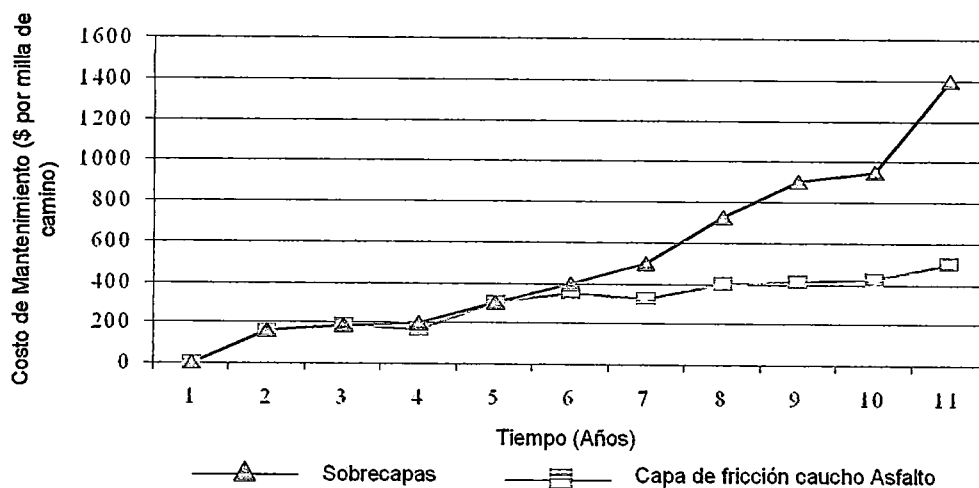


Figura 7.2.3 Costos de Mantenimiento de la Agencia de Transportes de Arizona EE.UU. Sobrecapa convencional comparado con una mezcla caucho asfalto.

7.3 Análisis Comparativo de Costos

Para fines de un análisis comparativo de costos entre la mezcla modificada y la mezcla convencional, revisaremos los análisis de costos del proyecto de

Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape, donde se aplicó la mezcla convencional y veremos el efecto que causa el uso de la mezcla modificada.

Los análisis de costos de las partidas involucradas en la preparación de la mezcla asfáltica convencional con la que se ejecutó el proyecto mencionado son mostrados a continuación:

Tabla 7.3.1 Análisis de Precio Unitario de la Carpeta Asfáltica en Caliente

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.04 Descripción: CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE E=0.075 M (3")

Rendimiento: m3/DÍA MO. 240.0000 EQ. 240.0000 Unidad: m3 33.87

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial U\$
Mano de Obra						
0190020001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO	hh	13.0000	0.4333	2.85	1.23
0190020020	OPERDOR	hh	7.5000	0.2500	2.85	0.71
0190020040	PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.0000	2.45	0.12	2.57
Equipos						
0390040002	RODILLO NEUMATICO 9-16 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390040003	RODILLO TANDEM 6.5 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390050001	PAVIMENTADORA 95 HP	hm	1.0000	0.0333	60.00	2.00
0390080001	COMPRESORA NEUMATICA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
0390120001	TRACTOR AGRÍCOLA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
Subpartidas						
909001012005	PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTIC.	m3	1.0000	25.84	25.84	25.84

Tabla 7.3.2 Análisis de Precio Unitario de la Preparación de Mezcla Asfáltica

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.09 Descripción: PREPARACION DE MEZCLA ASFÁLTICA

Rendimiento: m3/DÍA MO. 240.00 EQ. 240.00 Unidad: m3 25.84

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial U\$
Mano de Obra						
0190020001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO	hh	4.0000	0.1333	2.85	0.38
0190020040	PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.89	0.04
						0.93
Materiales						
0253000003	PETROLEO INDUSTRIAL	gl		4.0000	1.28	5.12
						5.12
Equipos						
0390020001	CARGADOR FRONTAL 170 HP	hm	1.0000	0.0333	48.00	1.60
0390020001	GRUPO ELECTROGENO 150 KM	hm	1.0000	0.0333	18.00	0.60
0390130001	PLANTA DE ASFALTO 80-100 TN/HR	hm	1.0000	0.0333	298.24	9.93
						12.13
Subpartidas						
909001012003	TRITURACION DE AGREGADOS	m3		1.2400	5.44	6.75
909001012006	ZARANDEO DE MATERIALES	m3		0.3100	2.94	0.91
						7.66

El análisis mostrado no incluye al cemento asfáltico, filler mineral ni al aditivo mejorador de adherencia. Dichos insumos se analizan en forma separada para realizar una valorización real en obra. Asimismo, el precio de los agregados se incluye dentro de la sub partida "Preparación de Mezcla Asfáltica".

A continuación se detallan el análisis por separado de los insumos componentes de la mezcla asfáltica:

Tabla.7.3.3 Análisis de Precio Unitario del Cemento Asfáltico

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.10 Descripción: CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

Rendimiento: g/DÍA MO. EQ. Unidad: g 1.21

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla Cant.	Precio	Parcial U\$
Materiales					
0213020007	ASFALTO SÓLIDO PEN 60/70	g	1.0000	1.21	1.21
					1.21

Tabla 7.3.4 Análisis de Precio Unitario del Relleno Mineral

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.08 Descripción: RELLENO MINERAL (FILLER)

Rendimiento: kg/DÍA MO. EQ. Unidad: kg 0.22

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla Cant.	Precio	Parcial U\$
Mano de Obra					
0190020040	PEON	hh	0.0080	2.30	0.02
					0.02
Materiales					
0204000005	FILLER	kg	1.0000	0.20	0.20
					0.20

Tabla 7.3.5 Análisis de Precio Unitario del Aditivo mejorador de adherencia

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.09 Descripción: ADITIVO PARA ASFALTO

Rendimiento: kg/DÍA MO. EQ. Unidad: kg 7.35

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla Cant.	Precio	Parcial U\$.
Materiales					
0230230007	ADITIVO MEJ. DE ADHERENCIA	kg	1.0000	7.35	7.35
					7.35

Para efectos de un análisis comparativo inicial tomaremos en cuenta el efecto que el ligante modificado causa en las proporciones de los materiales componentes para un volumen unitario de mezcla asfáltica, considerando sus características obtenidas de sus respectivos diseños. No se involucrarán la influencia de costos adicionales de equipamiento y mano de obra de la mezcla modificada, pero se tendrá en cuenta para tener una idea aproximada de cómo afectan ellos.

Considerando la dosificación de los diseños de mezcla convencional MAC-02 y modificado MAC-02-AR-01, se realizó un análisis de cantidades (que se incluye en los anexos) componentes de cada mezcla según los parámetros obtenidos de cada diseño. De esta manera se obtuvo los precios unitarios por m³ de cada tipo de mezcla. El resumen de dicho análisis es mostrado a continuación:

Tabla 7.3.6 Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica convencional.

Insumo	Und	Und/m ³	Precio U\$	Parcial
Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35.0190	1.21	42.37
Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0.6747	7.35	4.96
Filler mineral (cal hidratada)	ton	0.0450	220.00	9.90
Agregado grueso	m ³	0.3644	8.38	3.05
Agregado fino	m ³	0.4491	8.38	3.76
Total por m³				64.04

Tabla 7.3.7 Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica modificada.

Insumo	Und	Und/m ³	Precio U\$	Parcial
Granos de Caucho Modificador	ton	0.0306	265.00	8.11
Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35.9930	1.21	43.55
Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0.8464	7.35	6.22
Filler mineral (cal hidratada)	ton	0.0434	220.00	9.55
Agregado grueso	m ³	0.3515	8.38	2.95
Agregado fino	m ³	0.4333	8.38	3.63
Total por m³				74.01

Del resumen de los análisis podemos concluir que la diferencia entre ambas mezclas asfálticas es de \$10 por m³.

El costo directo del Proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo – Chongoyape asciende a la suma de US \$ 12'672,933.53. El cálculo del presupuesto reajustado con las cantidades reales del diseño de mezcla MAC-02 asciende a la suma de US \$ 12'855,931.39. El empleo de las cantidades según el diseño de mezcla MAC-02-AR-01 con el ligante modificado afecta el monto elevando el costo directo a US \$ 13'277,929.33. El total del presupuesto para la mezcla convencional es de US \$ 20'541,780.14 y llega a ser de US \$ 21'216,067.26 cuando se emplea la mezcla modificada, lo que indica un 3.3% más en el presupuesto final.

A esta diferencia obtenida se le debe sumar factores importantes como lo son los costos por mano de obra, ya que los rendimientos serán de hecho menores para las distintas partidas que incluyan trabajos con la mezcla modificada, asimismo la influencia del equipamiento hará que este costo sea mayor. Las mayores temperaturas a las que tendría que operar la planta asfáltica también elevarán los costos.

La mezcla caucho asfalto ha mostrado mayores valores de módulo dinámico para temperaturas de ensayo de 0 y 60 °C. No es suficiente recalcar esto sino que se deben realizar pistas de prueba como rehabilitaciones a fin de evaluar y cuantificar el beneficio de manera precisa, monitoreando su desempeño y conveniencia de uso para cada aplicación.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Metodologías de Diseño

- La metodología actualmente usada en el diseño de mezclas asfálticas en nuestro medio es el método Marshall. A través de este procedimiento se determina la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas, los cuales tienen relación indirecta con el comportamiento mecánico del pavimento. Estos métodos no arrojan información suficiente para evaluar el desempeño del pavimento ante los principales mecanismos de falla. Es importante implementar metodologías actuales con conceptos no empíricos sino mecanísticos.

8.2 Resultados Obtenidos

- En la primera etapa del presente estudio se pudo constatar que el ligante modificado es mucho más viscoso que el ligante virgen. El valor de penetración a 25 °C en el caso del ligante modificado disminuyó al 50% de su valor, lo cual refleja la más alta viscosidad del mismo. Este aumento en viscosidad del ligante involucra mayores temperaturas de mezcla y compactación para lograr los valores necesarios de viscosidad, lo cual incluye mayores gastos operativos de las plantas asfálticas.
- Se verificó la influencia el uso del ligante caucho asfalto a la afinidad entre agregados y ligante en la mezcla asfáltica a través del ensayo Lottman modificado. Se concluyó que la resistencia a la tracción de la mezcla con aditivo no se ve afectada pues logró superar sin problemas el 80% mínimo requerido por Superpave de valor de resistencia a la tracción. Se realizó un ensayo del ligante modificado sin aditivo, los resultados mostraron la misma deficiencia que la mezcla convencional al no alcanzar el valor requerido de

resistencia a la tracción, por lo que se concluye que la mezcla modificada no beneficia la afinidad entre ligante y agregados.

- En el caso del diseño de mezclas tentativo de gradación incompleta (gap – graded) MAC-AR-GG, se omitió el uso de las arenas naturales para lograr la combinación que se ajuste a la estrecha faja tomada como especificación y para atender la recomendación de la mezclas de gradación abierta tipo SMA, la cual restringe su uso.
- Los ensayos de compresión edométrica propuestos en la segunda etapa de la presente investigación fueron realizados simulando cargas cíclicas a través de ciclos de carga y descarga con la prensa CBR, confinando las muestras dentro de un molde de 4" y repartiendo los esfuerzos en toda el área de la muestra a través de una placa rígida.
- El ensayo de compresión edométrica realizado a 60 °C mostró que las muestras con mezcla convencional tienen un módulo dinámico promedio de 512 kg/cm², mientras que la mezcla modificada tiene un módulo dinámico promedio de 786 kg/cm²; concluyendo que módulo dinámico de la mezcla modificada es 54% mayor que para la mezcla convencional. A 0 °C se obtuvo un valor promedio de módulo dinámico para la mezcla convencional de 627 kg/cm², en el caso de la mezcla modificada se obtuvo un módulo dinámico promedio de 829 kg/cm²; por lo que se concluye que el módulo dinámico de la mezcla modificada resulta 32% mayor que el módulo dinámico de la mezcla convencional. También debemos recalcar el hecho que para un mismo tipo de mezcla los valores obtenidos a 60 °C son menores que los valores obtenidos a 0 °C.
- El valor promedio de deformación recuperable a 60 °C en la condición de resiliencia para la mezcla modificada es 1.3, mientras que para la mezcla convencional es de 2.0. A 0 °C la mezcla modificada tiene una deformación recuperable promedio de 1.2 y la mezcla convencional tiene un promedio de 1.6.

8.3 Puntos por corregir para futuras investigaciones

- Para la presente investigación se detectaron puntos débiles como el hecho que el proceso de mezclado y el control de las temperaturas de la misma no se realizaron con un dispositivo sofisticado que asegure la optimización del mismo, la temperatura de mezcla y compactación se logró después de un tanteo de pruebas, lo ideal es obtener la carta de viscosidad del ligante para trabajar con valores más precisos. A tales puntos se le debe prestar la atención debida para futuras investigaciones a fin de que los resultados obtenidos sean los más óptimos y la comparación sea eficaz.
- Asimismo recalcaremos el hecho de que deberíamos involucrarnos con la tecnología Superpave para tener un estudio mucho más realista en cuanto al comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas.

8.4 Aplicación de la mezcla Caucho Asfalto

- Como ya fue mencionado en capítulos anteriores esta mezcla modificada Caucho Asfalto, ha sido usada en varios proyectos a nivel mundial, con resultados satisfactorios en la mayoría de ellos (países de Europa y África, países de América del Sur: Brasil, Chile y Argentina, han tenido cierta experiencia con esta mezcla asfáltica modificada.
- La aplicación de esta tecnología está en ritmo creciente, países latinoamericanos como Brasil; que representa la primera potencia en tecnología de pavimentos en América Latina; Chile, Colombia, y Argentina han incursionado en este tema con resultados de laboratorio y desempeño en campo que ratifican la conveniencia técnica de la incorporación de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente.
- Tanto en Brasil (proceso húmedo y seco desde evaluaciones de laboratorio, en pistas de prueba y hasta en proyectos de pavimentación) como en Argentina (proceso seco en evaluaciones de laboratorio y en pista de prueba)

se han realizado investigaciones y la factibilidad técnica que han mostrado las han llevado hasta pistas de prueba donde actualmente se monitorea el desempeño de las mismas.

- Las autoridades del Gobierno Chileno aprobaron Etapas preliminares de esta innovación tecnológica. Asimismo en los años 2003 y 2004 fueron construidas dos secciones de las vías X-65 y CH 60 a fin de probar su factibilidad técnica y económica en el campo. La experiencia en este primero de 500 metros en la Ruta X- 65 entre Villa Castillo y Puerto Ibáñez, demostró que este no era el lugar ideal, pues la distancia con la capital dificultó realizar un óptimo monitoreo de su desempeño. Otra prueba se realizó en la Ruta 60 CH, en el túnel Cristo Redentor de Los Andes. En este caso la Dirección de Vialidad del MOP utilizó el caucho asfalto sobre el pavimento de concreto para evitar la reflexión de grietas. Asimismo Chile no contaba con una política ambiental que regule la reutilización obligatoria de los neumáticos usados.

8.5 Futura implementación de la Tecnología

- Los inconvenientes mencionados en el ítem anterior de la experiencia chilena demostraron que hay cosas por corregir y tomar en cuenta para futuras implementaciones en nuestro medio. No se informa sobre el estado actual de dichas vías debido a la poca información de estas, sin embargo esto es un factor fundamental si se piensa en futuras aplicaciones en nuestro medio.
- En nuestro medio se debe investigar a fondo esta tecnología, antes de ser aplicada, para lo cual se debe seguir como ejemplo modelos de investigación de aquellos países donde esta tecnología está favoreciendo el desarrollo de los pavimentos para explotar sus potenciales, así como de aquellos donde se han tenido fracasos rotundos a fin de tenerlos en cuenta y corregirlos.

8.6 Recomendaciones para su implementación

Se proponen seguir las siguientes Etapas:

- *Etapa 1: Etapa de recolección y análisis de experiencias*
En esta etapa debe recopilarse la mayor cantidad de información de experiencias exitosas y no exitosas en distintas condiciones (diversidad de condiciones climáticas, condiciones de carga, condiciones de servicio). Deben analizarse a que se debieron los éxitos y fracasos y tomar en cuenta aquellos parámetros causantes de tales.
- *Etapa 2: Estudios comparativos en laboratorio entre mezclas modificadas y convencionales a través de la metodología Superpave.*
Es necesario adquirir nuevas tecnologías para reforzar el conocimiento del comportamiento mecánico de los pavimentos, es importante involucrar estas investigaciones con la metodología Superpave adecuándola a nuestras condiciones. Los ligantes asfálticos deberían adecuarse a algún sistema de gradación por desempeño como el sistema PG (performance graded).
- *Etapa 3: Formulación de especificaciones basadas en los estudios de laboratorio.*
Con los resultados de laboratorio se deben formular las primeras Especificaciones que servirán de base para la Construcción de las secciones de prueba y a la vez sean el inicio de las futuras Especificaciones para ligantes modificados, las mismas que deben surgir e implementarse continuamente del monitoreo de las pistas de prueba.
- *Etapa 4: Aplicación en pistas de prueba.*
Como proyectos de rehabilitación, para desarrollar las Especificaciones iniciales basadas en los estudios de laboratorio, a través de las experiencias del desempeño en campo que se obtengan. El continuo monitoreo y sus resultados nos debe conducir a las Especificaciones Deseadas.

- ***Etapa 5: Evaluación Continua***

Monitoreo del desempeño de las pistas de prueba a mediano y largo plazo, evaluación permanente de las Especificaciones, de tal modo que verifiquen las metodologías y procesos empleados. A través de esto se entrará en un ciclo de mejora continua del uso de esta nueva tecnología.

- Debe ponerse el énfasis necesario también en el proceso seco, el cual si bien es cierto ha presentado menores beneficios que el método húmedo, esta en proceso de desarrollo y tiene un mayor potencial para lograr beneficios si es desarrollado correctamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A. Ordoñez H., S. Minaya G., Módulo Dinámico en Mezclas Asfálticas, VIII Congreso nacional de Asfalto, Lima 2005.
- American Society of Testing and Materials (ASTM), ASTM D6114-97 (2002) Standard Specification for Asphalt Rubber Binder. <http://www.astm.org>
- American Society of Testing and Materials (ASTM), Standard Terminology State of California Department of Transportation, Asphalt Rubber Usage Guide, January 2003.
- Carlson, D. D., and Zhu, H., "Asphalt-Rubber: An Anchor to Crumb Rubber Markets", Third Joint UNCTAD/IRSG Workshop on Rubber and the Environment. International Rubber Forum, Veracruz México. October, 1999.
- Hicks, R. G. and J. A. Epps. Life Cycle Cost Analysis of Asphalt-Rubber Paving Materials. Report for 1st International Conference World of Asphalt Pavements, Sydney, 1999.
- Hicks, R.G., Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines – Volume I: Design Guidelines. Oregon State University, Corvallis, OR, January 2002.
- Hicks, R.G., Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines – Volume II: Appendices. Oregon State University, Corvallis, OR, January 2002.
- Huang, Y. "Pavement Analysis and Design". Primera Edición, Prentice Hall 1993.
- H. Bianchetto, M. Lopez, M. Balige, A. Bisio, F Schvartzer, First test section using bituminous mixes with addition of crumb rubber from waste tires, for urban paving applications in Argentina, Asphalt Rubber 2003, Brasilia – Brazil, December 2003.
- Jong-Suk Jung, Kamil E. Kaloush, Ph.D., P.E. and George B. Way, P.E., Life Cycle Cost Analysis: Conventional Versus Asphalt-Rubber Pavements, Arizona Department of Transportation, Arizona State University, August 2002.
- J. Torrejon, L. Alvarez, J. Castillo. Expectation on the use of asphalt rubber in Chilean pavements. Congreso Mundial de Caucho Asfalto - Brazil 2003.
- Kamil E. Kaloush, Aleksander Sborowski, Andres Sotil, George B. Way, Material Characteristics of Asphalt Rubber Mixtures, Asphalt Rubber 2003, Brasilia – Brazil, December 2003.

- Kamil E. Kaloush, Matthew W. Witczak, George B. Way, Performance Evaluation of Arizona Asphalt Rubber Mixtures Using Advanced Dynamic Material Characterization Tests, Arizona State University, FNF Construction INC, ADOT, Julio 2002.
- Leni Figueiredo Mathias Leite, Prepredigna de Almeida da Silva, Guilherme Edel, Laura Goretti da Motta, Luis Alberto Herrmann do Nascimento, Asphalt Rubber in Brazil: Pavement performance and laboratory study, Asphalt Rubber 2003, Brasilia – Brazil, December 2003.
- L. Bariani B., Sandra A. Margarido B., J. Leomar F., L. Mathias L. Mechanical Properties of Asphalt Mixtures Using Recycled Tire Rubber Produced in Brazil - A Laboratory Evaluation. Transport Research Board – Annual Meeting 2004, EE.UU.
- National Asphalt Pavement Association and Federal Highways Administration, IS-128 HMA Pavement Mix Type Selection Guide, 2001.
- National Center for Asphalt Technology, “Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction”. Second Edition. 1996.
- Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute MS-22.
- Relating to Materials for Roads and Pavements, ASTM D8-97, <http://www.astm.org>
- Roberts, F. L., P. S. Kandhal, E. R. Brown, and R. L. Dunning, Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report No. 89-3, 1989.
- Sacramento County DERA and Bollard & Brennan, Inc. Rubberized Asphalt Traffic Noise Reduction Study, 1999.
- Sotil A., Douglas D. Carlson and Kamil E. Kaloush, Ph.D., P.E., Adición de Caucho Vulcanizado Desechado (Liantas) en pavimentos Treinta años de experiencia en Arizona – EEUU, I Congreso Internacional de la Construcción 2002, Lima – Perú, Octubre – Noviembre 2002.
- State of California Department of Transportation. Flexible Pavement Rehabilitation Manual. June 2001.
- S. Minaya G., A. Ordoñez H. Manual de Laboratorio - Ensayos para Pavimentos Volumen I, UNI-FIC, Diciembre 2001.

- S. Minaya G., A. Ordóñez H. Superpave y el Diseño de las Mezclas Asfálticas, Instituto de Investigaciones – UNI-FIC, Mayo 2003.
- S. Minaya G. Comportamiento Mecánico de Mezclas Asfálticas tipo Superpave y SMA, Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica, UNI-FIC, Sección de Post-Grado. Lima-Perú, en culminación.
- V.S. Punith, S.N. Suresha, A. Veeraragavan, Sridhar Raju, Sunil Bose. Characterization of Polymer and Fiber-Modified Porous Asphalt Mixtures. Transport Research Board – Annual Meeting 2004, EE.UU.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A - CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

- A.1 Análisis Granulométrico del Caucho Molido Modificador (GCM)
- A.2 Ensayo de Penetración del Ligante Modificado
- A.3 Mezcla Asfáltica Modificada MAC-02-AR-01
 - A.3.1 Ensayo de Gravedad Específica en la Mezcla de Arenas y Mezcla de Gravas
 - A.3.2 Diseño de Mezcla Marshall MAC-02-AR-01
 - A.3.3 Efecto de la Humedad sobre Mezclas Asfálticas - MAC-02-AR-01
- A.4 Mezcla Asfáltica Convencional MAC-02
 - A.4.1 Control de Agregados de faja para Mezcla Asfáltica Convencional
 - A.4.2 Ensayo Marshall de la Mezcla Asfáltica Convencional MAC-02
 - A.4.3 Efecto de la Humedad sobre Mezclas Asfálticas - MAC-02
- A.5 Mezcla Asfáltica Modificada MAC-GG-AR
 - A.5.1 Análisis Granulométrico de los Agregados Componentes
 - A.5.1.1 Arena Natural Zarandeada 1/4"
 - A.5.1.2 Arena Triturada 1/4"
 - A.5.1.3 Gravilla Triturada 3/8"
 - A.5.1.4 Grava Triturada 3/4"

A.5.2 Ensayos de Verificación de la Calidad de los Agregados

A.5.2.1 Mezcla de Arenas

A.5.2.2 Mezcla de Gravas

A.5.3 Diseño de Mezcla Marshall MAC-GG-AR

ANEXO B - CERTIFICADOS DE EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS

B.1 Certificado de Calibración de Equipos de Laboratorio

B.2 Certificado de Calidad Cemento Asfáltico

B.3 Certificado de Calidad Cal Hidratada

B.4 Certificado de Calidad Aditivo Mejorador de Adherencia

ANEXO C - NORMAS Y ESPECIFICACIONES

ANEXO D – ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO E - CÁLCULOS

E.1 Análisis de Cantidades

E.2 Cálculos Compresión Edométrica

ANEXO A
CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO

A.1 Análisis Granulométrico del Caucho Molido Modificador (GCM)



NIPPON KOEI
CONSORTIO INGENIEROS CIVILES JAPANESES

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROMAS NACIONAL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

OBRA : Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape
TRAMO : Chiclayo - Chongoyape
PROCEDENCIA : Proponido por la Universidad de Arizona (ASU) - Para fines de Investigación
ESTUDIO : Tests de Titulación

TESISTA : Sergio Quispe E.
ING° RESP. : Sebastião De Siqueira

RESUMEN PROPIEDADES DE GRADACION - DE LOS GRANOS DE CAUCHO MODIFICADOR (GCM)

MUESTRA	FECHA	PROGRAMA	UBICACIÓN DEL MUESTREO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORCENTAJES QUE PASAN TAMIZ										% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	MÓDULO DE FINIZA
				# 0	# 10	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	%				
1	24-oct-05	-	-	100.0	100.0	80.7	32.9	7.3	1.9	0.8	0.3	2.77			
2	25-oct-05	-	-	100.0	100.0	60.9	32.1	7.0	2.2	1.0	1.03	2.76			
3	25-oct-05	-	-	100.0	100.0	81.9	33.7	7.2	2.1	0.8	0.83	2.75			
4	25-oct-05	-	-	100.0	100.0	81.9	33.2	7.5	2.3	1.2	1.18	2.75			
5	25-oct-05	-	-	100.0	100.0	80.9	33.9	6.9	2.0	1.0	0.88	2.76			

ESTADÍSTICO	CANTIDAD	VALORES LÍMITES ESTADÍSTICOS	VALORES LÍMITES ESPECIFICADOS									
			# 0	# 10	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	%	MÓDULO DE FINIZA	
PROMEDIO	5		100.0	100.0	81.2	33.1	7.4	2.1	1.0	0.89	2.76	
DESVIACIÓN ESTD	5		0.0	0.0	0.8	0.8	0.4	0.1	0.1	0.12	0.01	
MAX	5		100.0	100.0	81.9	33.7	8.0	2.3	1.2	1.16	2.76	
MIN	5		100.0	100.0	80.7	32.1	7.0	1.9	0.8	0.83	2.75	
MAX	5											
MIN	5											

S. Quispe
SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

S. Ramos
Sr. ALBERTO J. CARAY RAMOS

ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
 CONSULTORIA INGENIERIA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

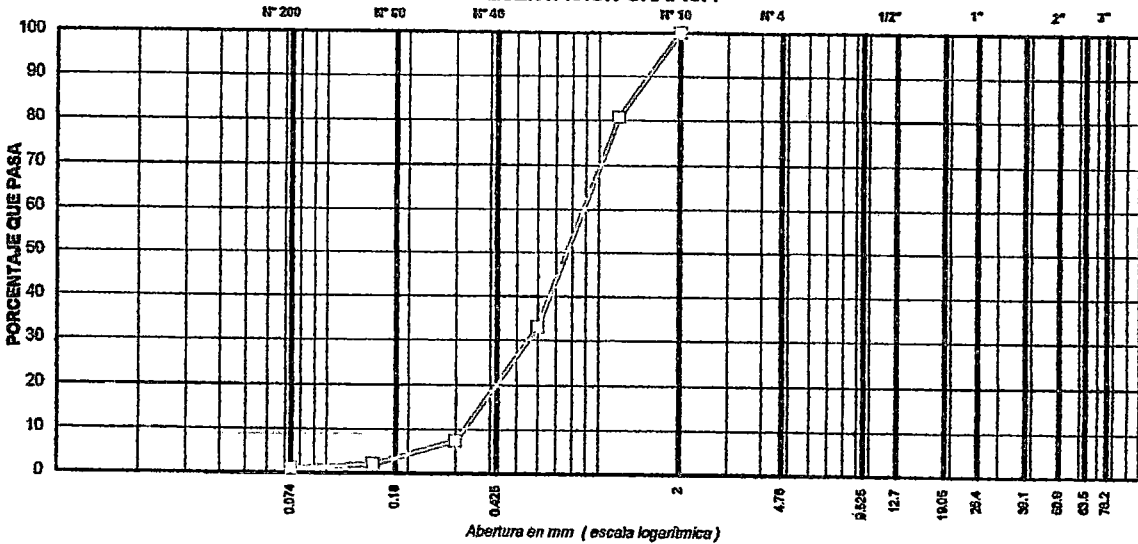
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRANO DE CAUCHO MODIFICADOR - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 26-oct-05
MUESTRA	: M-1		
PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD DE ARIZONA (ASU) - AREA DE INVESTIGACION		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050					PESO TOTAL 374.3 gr	
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
N° 4	4.760						
N° 8	2.360				100.0	MOD.FINEZA TOTAL 2.77	
N° 10	2.000				100.0	TAMIZ # 200(ASTM C-117) 0.83 %	
N° 16	1.190	72.4	19.3	19.3	80.7		
N° 30	0.600	178.7	47.7	67.1	32.9		
N° 40	0.425					OBSERVACION:	
N° 50	0.300	96.0	25.8	92.7	7.3		
N° 80	0.180					MUESTRA PROPORCIONADA POR LA ARIZONA STATE	
N°100	0.149	20.1	5.4	98.1	1.9	UNIVERSITY (ASU), PARA FINES DE INVESTIGACION.	
N°200	0.074	4.0	1.1	99.2	0.8		
< 200	-	3.1	0.8	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo / Chongoyape

Ing. Sebastião de Siqueira
 ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

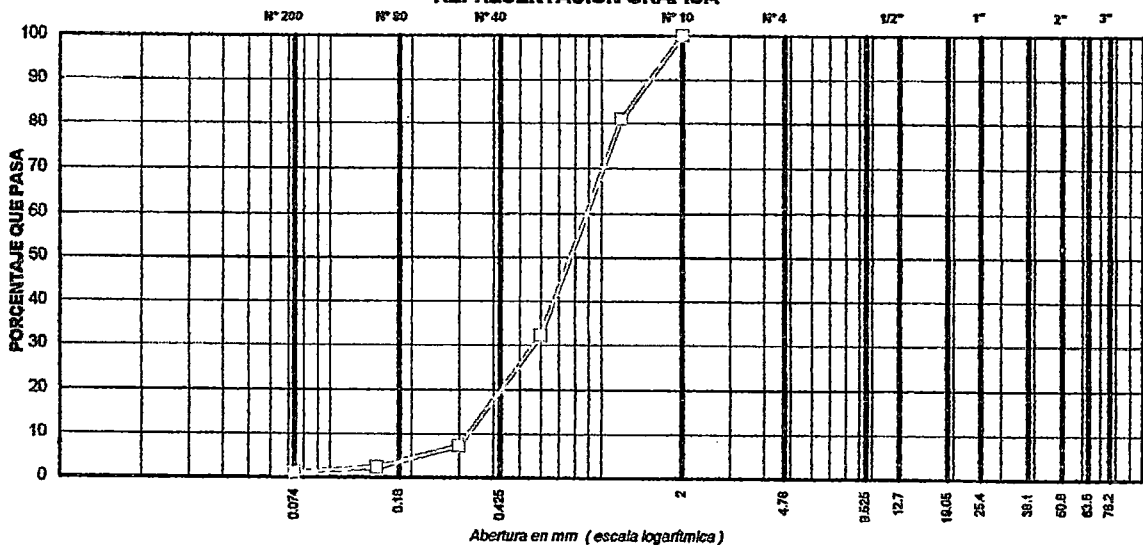
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRANO DE CAUCHO MODIFICADOR - TESIS DE TITULACION	FECHA	26-oct-05
MUESTRA	: M-2		
PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD DE ARIZONA (ASU) - AREA DE INVESTIGACION		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050					PESO TOTAL	523.5 gr
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
N° 4	4.760						
N° 8	2.360				100.0	MOD.FINEZA TOTAL	2.78
N° 10	2.000				100.0	TAMIZ # 200(ASTM C-117)	1.03 %
N° 16	1.190	100.2	19.1	19.1	80.9		
N° 30	0.600	255.4	48.8	87.9	32.1		
N° 40	0.425					OBSERVACION:	
N° 50	0.300	131.1	25.0	93.0	7.0		
N° 80	0.180					MUESTRA PROPORCIONADA POR LA ARIZONA STATE	
N°100	0.149	25.5	4.9	97.8	2.2	UNIVERSITY (ASU), PARA FINES DE INVESTIGACION.	
N°200	0.074	5.9	1.1	99.0	1.0		
< 200	-	5.4	1.0	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



[Signature]
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

[Signature]
 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

[Signature]
 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
 CORPORATION

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

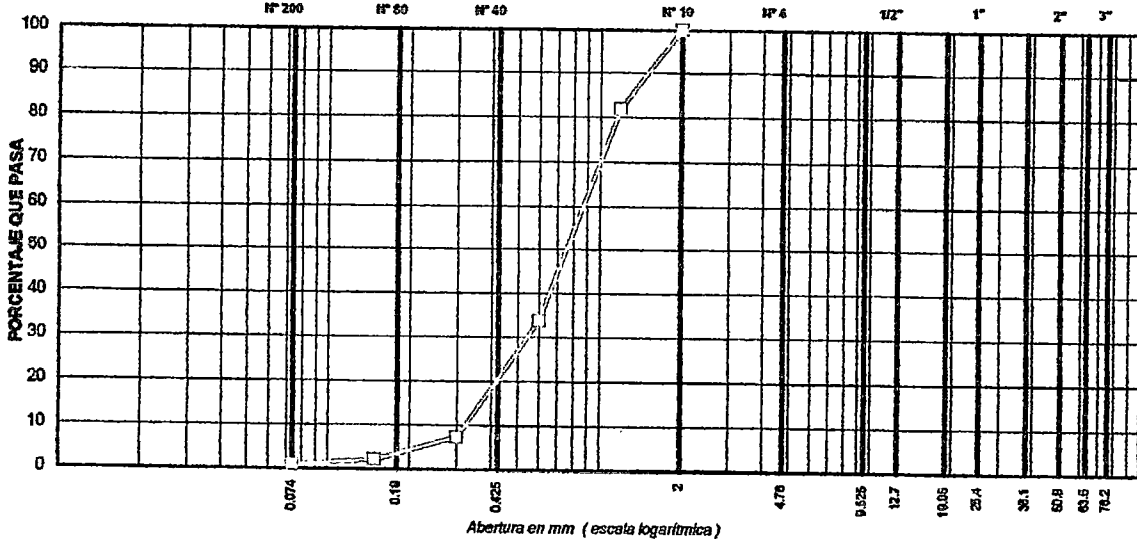
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	ING° RESP. : S.F.S.
MATERIAL : GRANO DE CAUCHO MODIFICADOR - TESIS DE TITULACION	FECHA : 26-oct-05
MUESTRA : M-3	
PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD DE ARIZONA (ASU) - AREA DE INVESTIGACION	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050					PESO TOTAL 605.4 gr	
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
N° 4	4.760						
N° 8	2.360				100.0	MOD.FINEZA TOTAL 2.75	
N° 10	2.000				100.0	TAMIZ # 200(ASTM C-117) 0.93 %	
N° 16	1.180	110.1	18.2	18.2	81.8		
N° 30	0.800	291.4	48.1	66.3	33.7		
N° 40	0.425					OBSERVACION:	
N° 50	0.300	160.5	26.5	92.8	7.2		
N° 80	0.180						
N°100	0.149	30.8	5.1	87.9	2.1	MUESTRA PROPORCIONADA POR LA ARIZONA STATE UNIVERSITY (ASU), PARA FINES DE INVESTIGACION.	
N°200	0.074	7.0	1.2	99.1	0.9		
< 200	-	5.6	0.9	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo J. Baray Ramos
 Sr ALFREDO J. BARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

Sebastião de Siqueira
 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSULTORIA INGENIERIA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

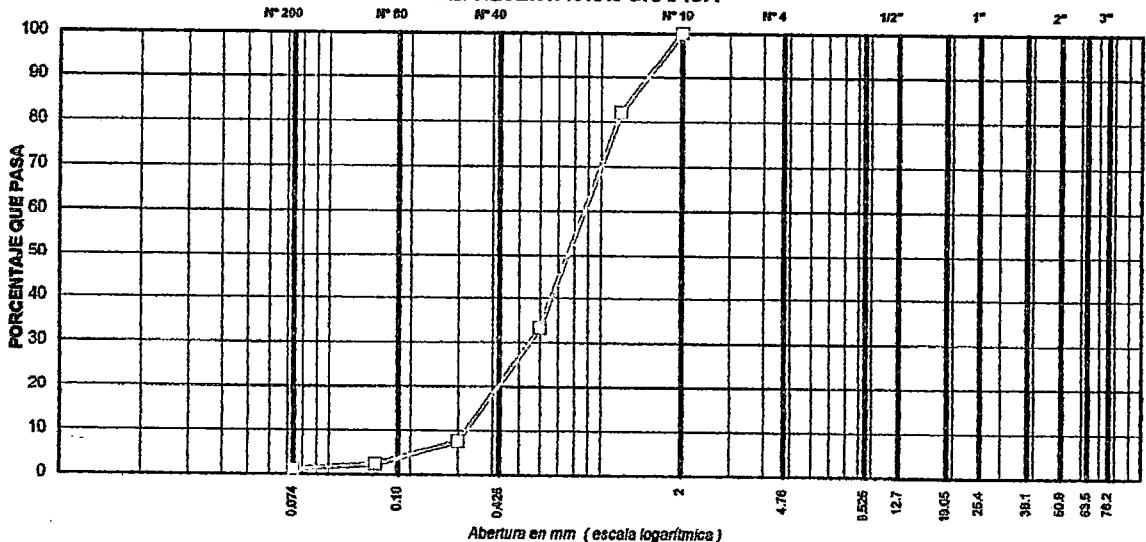
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	ING° RESP. : S.F.S.
MATERIAL : GRANO DE CAUCHO MODIFICADOR - TESIS DE TITULACION	FECHA : 26-oct-05
MUESTRA : M-4	
PROCEDECIA : UNIVERSIDAD DE ARIZONA (ASU) - AREA DE INVESTIGACION	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						PESO TOTAL 448.7 gr
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
N° 4	4.760						
N° 6	2.360				100.0		MOD.FINEZA TOTAL 2.75
N° 10	2.000				100.0		TAMIZ # 200(ASTM C-117) 1.16 %
N° 16	1.180	81.1	18.1	18.1	81.9		
N° 30	0.600	218.7	48.7	66.8	33.2		
N° 40	0.425						OBSERVACION:
N° 50	0.300	115.4	25.7	92.5	7.5		
N° 80	0.180						MUESTRA PROPORCIONADA POR LA ARIZONA STATE
N°100	0.149	23.3	5.2	97.7	2.3		UNIVERSITY (ASU), PARA FINES DE INVESTIGACION.
N°200	0.074	5.0	1.1	98.8	1.2		
< 200	-	5.2	1.2	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quipe Espinoza
 SERGIO QUIPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
INCORPORATED

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

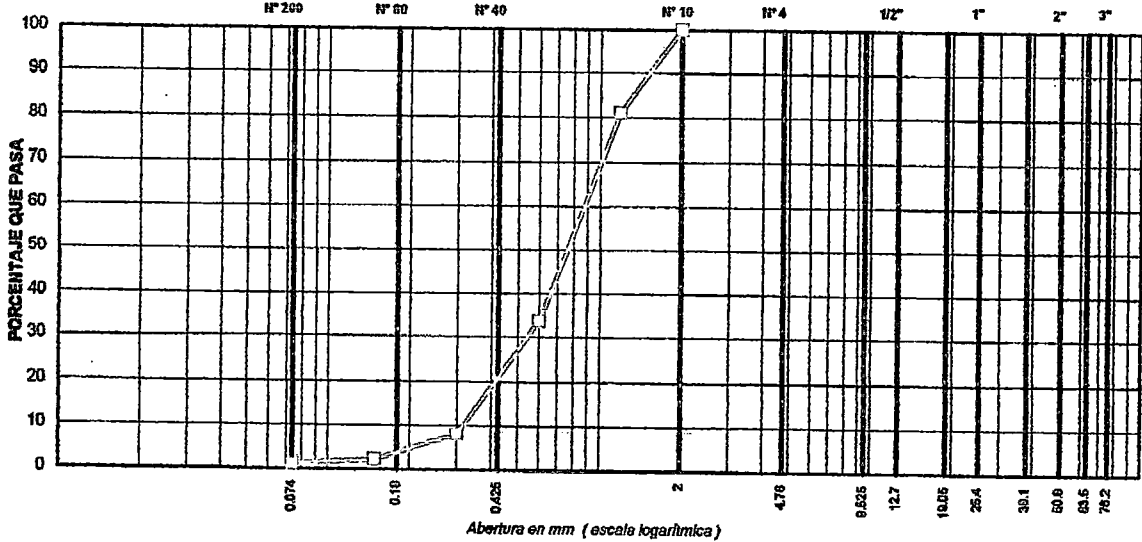
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	ING° RESP. : S.F.S.
MATERIAL : GRANO DE CAUCHO MODIFICADOR - TESIS DE TITULACION	FECHA : 26-oct-05
MUESTRA : M-5	
PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD DE ARIZONA (ASU) - AREA DE INVESTIGACION	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						PESO TOTAL 500.8 gr
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
N° 4	4.760						
N° 8	2.360				100.0		MOD.FINEZA TOTAL 2.76
N° 10	2.000				100.0		TAMIZ # 200 (ASTM C-117) 0.98 %
N° 16	1.180	95.7	19.1	19.1	80.9		
N° 30	0.600	237.4	47.4	66.5	33.5		
N° 40	0.425						OBSERVACION:
N° 50	0.300	127.8	25.5	92.0	8.0		
N° 60	0.180						MUESTRA PROPORCIONADA POR LA ARIZONA STATE
N° 100	0.149	29.9	6.0	98.0	2.0		UNIVERSITY (ASU), PARA FINES DE INVESTIGACION.
N° 200	0.074	5.1	1.0	99.0	1.0		
< 200	-	4.9	1.0	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



[Signature]
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

[Signature]
 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

[Signature]
 ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.2 Ensayo de Penetración del Ligante Modificado

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PENETRACION DE LOS MATERIALES ASFALTICOS

MTC E304 - ASTM D 5

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.O.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: LIGANTE MODIFICADO CAUCHO ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 09-nov-05
MUESTRA	: M-1, M-2		
PROCEDENCIA	: REFINERIA DE TALARA (CEMENTO ASFALTICO VIRGEN)		

1.- Muestra : **M-1**

Temperatura de ensayo : 25 °C (77 °F)
 Carga móvil (incluye la aguja) : 100 ± 0.1 gr.
 Tiempo de ensayo : 5 seg.

Penetración	1	2	3
Lectura (1/10 mm)	31	33	32

Penetración Promedio 32 1/10 mm

2.- Muestra : **M-2**

Temperatura de ensayo : 25 °C (77 °F)
 Carga móvil (incluye la aguja) : 100 ± 0.1 gr.
 Tiempo de ensayo : 5 seg.

Penetración	1	2	3
Lectura (1/10 mm)	33	33	33

Penetración Promedio 33 1/10 mm

Penetración = 33 1/10 mm

Observaciones: Muestra extraída (cemento asfáltico virgen) de tanque de almacenamiento instalado en la planta industrial de asfalto.
 Ligante modificado con 18% de GCM (Granos de caucho modificador) en peso.

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelo

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelo

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PENETRACION DE LOS MATERIALES ASFALTICOS

MTG E304 - ASTM D 5

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE
LUGAR : CHICLAYO PERU
MATERIAL : LIGANTE MODIFICADO CAUCHO ASFALTO - TESIS DE TITULACION
MUESTRA : M-3, M-4
PROCEDENCIA : REFINERIA DE TALARA (CEMENTO ASFALTICO VIRGEN)

CERTIFICADO
TESISTA : S.Q.E.
ING° RESP. : S.F.S.
FECHA : 10-nov-05

1.- Muestra : M-3
Temperatura de ensayo : 25 °C (77 °F)
Carga móvil (incluye la aguja) : 100 ± 0.1 gr.
Tiempo de ensayo : 5 seg.

Penetración	1	2	3
Lectura (1/10 mm)	34	33	33

Penetración Promedio 33 1/10 mm

2.- Muestra : M-4
Temperatura de ensayo : 25 °C (77 °F)
Carga móvil (incluye la aguja) : 100 ± 0.1 gr.
Tiempo de ensayo : 5 seg.

Penetración	1	2	3
Lectura (1/10 mm)	33	33	34

Penetración Promedio 33 1/10 mm

Penetración = 33 1/10 mm

Observaciones: Muestra extraída (cimento asfáltico virgen) de tanque de almacenamiento instalado en la planta industrial de asfalto.
Ligante modificado con 18% de GCM (Granos de caucho modificador) en peso.


SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

A.3 Mezcla Asfáltica Modificada

MAC-02-AR-01

A.3.1 Ensayo de Gravedad Específica en la Mezcla de Arenas y Mezcla de Gravas

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI
 株式会社ニッポンコエー

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS
 (NORMA AASHTO T-84, T-85)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	ING. RESP.	: S.F.S
MATERIAL	: MEZCLA DE ARENAS PARA ASFALTO	FECHA	: NDY-2005
CANTERA	: TRES TOMAS B	TESIS DE TITULACION	CERTIFICADO

DATOS DE LA MUESTRA

AGREGADO FINO					
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire) (gr)	250.0	250.0		
B	Peso Frasco + agua	685.0	659.0		
C	Peso Frasco + agua + A (gr)	935.0	909.0		
D	Peso del Mat. + agua en el frasco (gr)	842.0	816.0		
E	Vol de masa + vol de vacio = C-D (gr)	93.0	93		
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C) (gr)	247.3	247.0		
G	Vol de masa = E - (A - F) (gr)	90.3	90.0	PROMEDIO	
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.659	2.658	2.658	
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.688	2.688	2.688	
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.739	2.744	2.742	
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	1.09	1.21	1.15%	

Observaciones:

- * Arena Chancado = 42%
- * Arena Natural = 13%

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS
(NORMA AASHTO T-84, T-85)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	ING. RESP.	: S.F.S
MATERIAL	: GRAVA CHANCADA PARA ASFALTO	FECHA	: NOV - 2005
CANTERA	: TRES TOMA B	TESIS DE TITULACION	CERTIFICADO :

DATOS DE LA MUESTRA

AGREGADO GRUESO				
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	2037	2158	
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	1284	1359	
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B (gr)	753.0	799	
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	2024	2141	
E	Vol. de masa = C - (A - D) (gr)	740.0	782.0	PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.688	2.680	2.684
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.705	2.701	2.703
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.735	2.738	2.736
	% de absorción = $((A - D) / D * 100)$	0.642	0.794	0.72%

Observaciones:

- * Gravilla 3/8" = 25%
- * Grava 3/4" = 18%

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.3.2 Diseño de Mezcla Marshall

MAC-02-AR-01



NIPPON KOEI
 株式会社ニッポン工務株式会社
 東京都中央区新富町一丁目1番1号

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVINCIA NACIONAL

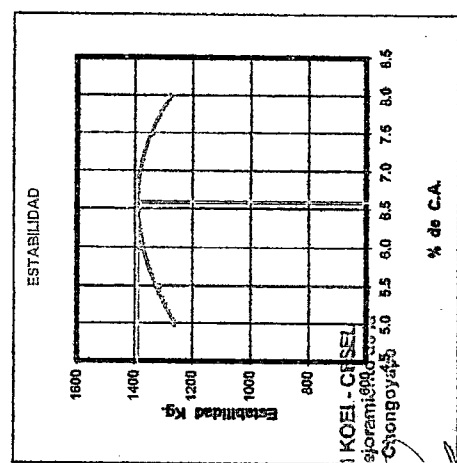
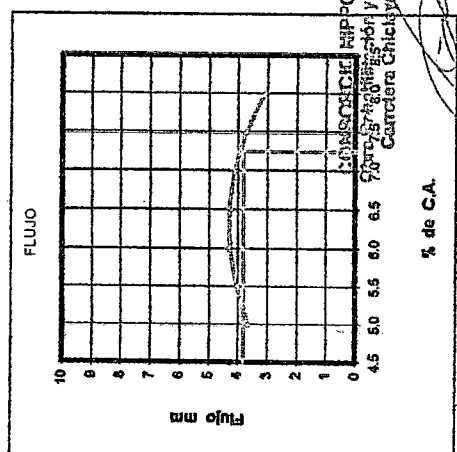
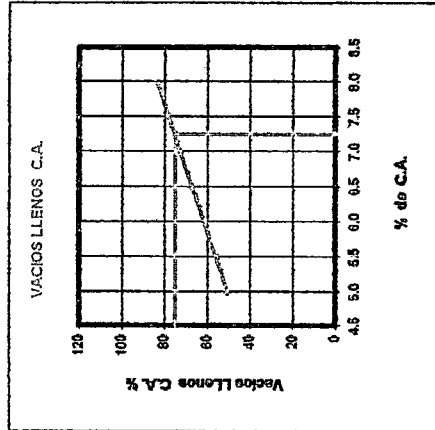
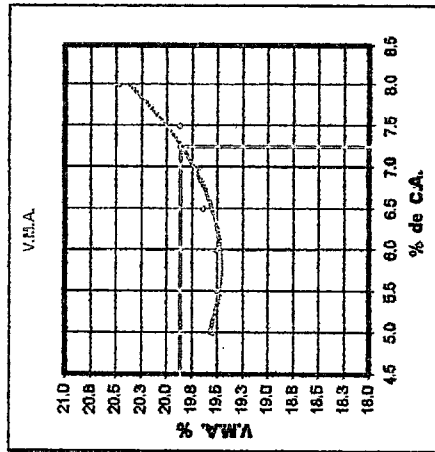
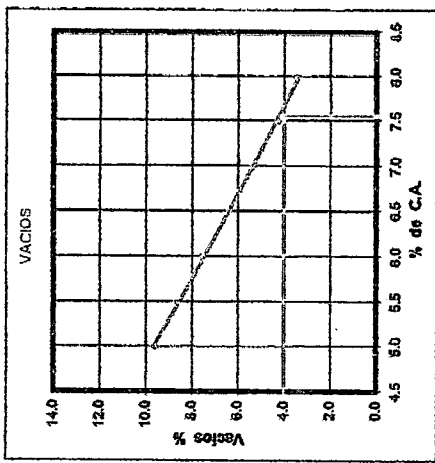
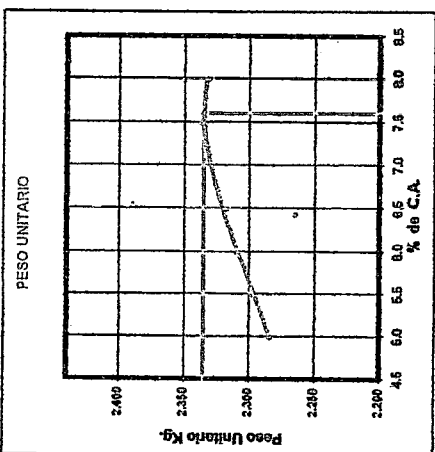


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGUYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGUYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA - TESIS DE TITULACION
CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
ING RESP. : S.F.S.
FECHA : 24-Nov-05
CERTIFICADO :



RESUMEN DE RESULTADOS

	-0.3%	OPTIMO % C.A.	+0.3%	ESPECIFICACION
GOLPES POR LABDO	75	75	75	75
CEMENTO ASFALTICO	6.95	7.25	7.55	(41-0.3%)
PESO UNITARIO	2335	2335		
VACIOS	4.0	4.0		3 - 5
V.M.A.	19.9	19.9		Min 14
VACIOS LLENOS CON C.A.	75.0	75.0		
FLUJO	3.8	3.8		2 - 4
ESTABILIDAD	1390	1390		Min. 689
ESTABILIDAD/ FLUIDO	3658	3658		1700 - 3500
INDICE DE COMPACTIBILIDAD				Min. 5
ESTABILIDAD RETENIDA				Min. 75

DOSIFICACION

Grava Triturada 3/4" Cantera "Tres Tomas B" 18%
 Gravello 3/8" Cantera "Tres Tomas B" 25%
 Arena Zarrandeada 3/8" Cantera "Tres Tomas B" 55%
 Arena Zarrandeada 3/16" Cantera "Tres Tomas B" 0.1%
 Relleno mineral FILLER (Cal hidratada) Carretera Chiclayo Chonguyo 2.0%
 Aditivo mejorador de adherencia Chonguyo 0.5%
 Cemento Asfaltico PEN 60-70 0.5%

Observaciones:
 * Urtimo Asfalto Usado con caudo GOM en 18% en peso.
 * Tiempo de reaccion: 60 minutos
 * Temperatura de reaccion: 170°C

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

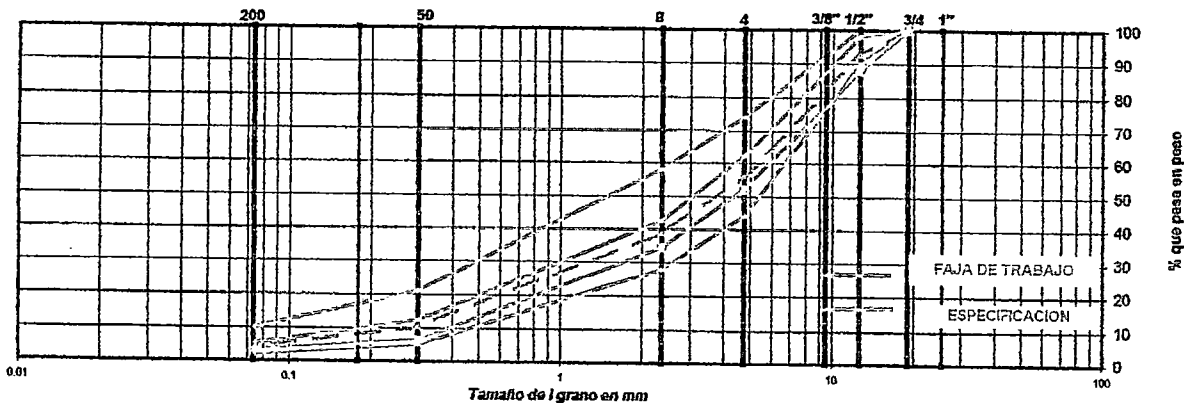
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
ING RESP. : S.F.S.
FECHA : 24-11-05
CERTIFICADO :

Diseño C.A. 5.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Layer	gr.	
ABERTURA EN mm	gr.	18,050	12,700	9,525	4,760	2,000	0,425	0,18	0,074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO			1158.4	1499.8	4248.6	239.2	393.2	54.6	27.4	58.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.8	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	16.9	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	92.6	83.1	58.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10		Peso de Filtro	gr.	
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%	772.4
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr.	15702.7

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.0	5.0	5.0	5.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	41.79	41.79	41.79		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	51.31	51.31	51.31		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.90	1.90	1.90		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1244.4	1231.3	1238.0		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1253.0	1238.0	1242.9		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	708.5	699.1	700.5		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	544.5	538.9	542.4		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	544.5	538.9	542.4		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.285	2.285	2.282	2.284	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.527	2.527	2.527		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	9.6	9.6	9.7	9.6	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(2/8)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100/(2+3+4)/(16/19)	%	19.5	19.5	19.6	19.5	Mín. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100/(20-18)/20	%	51.0	50.9	50.7	50.9	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/17)-(1/5))		2.736	2.736	2.736		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100/3*(22-19))/(22*19)	%	0.58	0.55	0.55		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-23*(2+3+4)/100	%	4.48	4.48	4.48		
25 FLUJO	mm	3.5	3.5	4.0	3.7	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1325	1251	1500		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.93	0.93	0.93		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1232	1163	1395	1234	Mín. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3521	3324	3483	3223	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

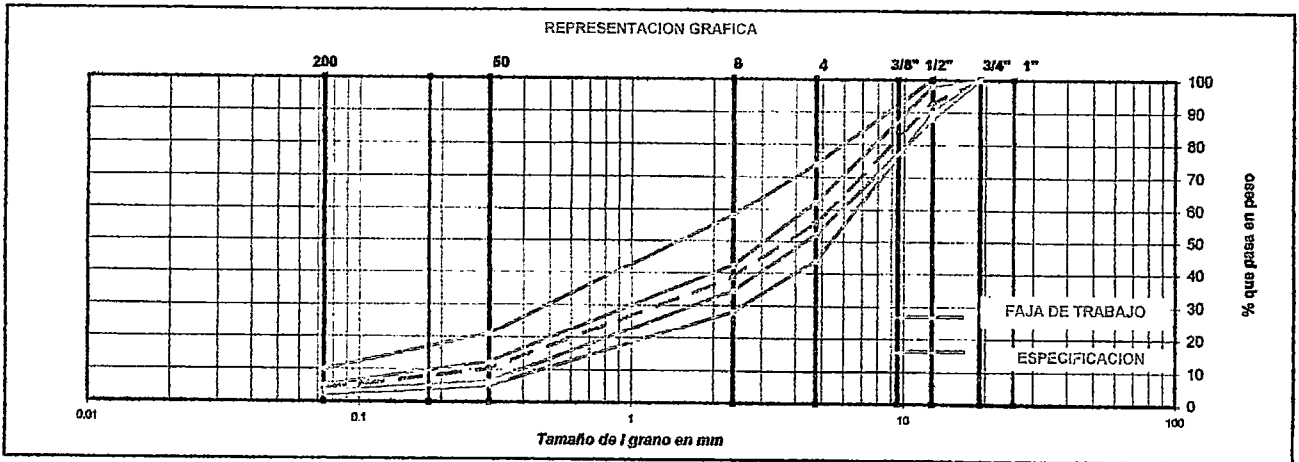
DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
 CANTERA : TRES TOMA B

TESISTA : S.Q.E.
 ING RESP. : S.F.S.
 FECHA : 24-11-05
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 5.5 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		1159.4	1499.8	4248.6	229.2	393.2	54.6	27.4	58.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.6	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	16.9	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	92.6	83.1	58.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	6 - 21		2 - 10		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%	772.4
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr.	15702.7



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	41.57	41.57	41.57		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	51.04	51.04	51.04		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.89	1.89	1.89		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1237.5	1241.6	1238.8		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1240.6	1244.0	1241.1		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	702.2	703.1	702.4		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	538.4	540.9	538.7		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	538.4	540.9	538.7		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.298	2.295	2.300	2.293	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.515	2.515	2.515		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	8.6	8.7	8.6	8.6	3 - 8
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/18)	%	19.5	19.6	19.4	19.5	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	55.8	55.5	56.0	55.0	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.745	2.745	2.745		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.66	0.66	0.66		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	4.87	4.87	4.87		
25 FLUJO	mm	4.0	4.0	4.0	4.0	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1426	1420	1403		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.93	0.93	0.93		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1326	1321	1305	1317	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3315	3302	3263	3273	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

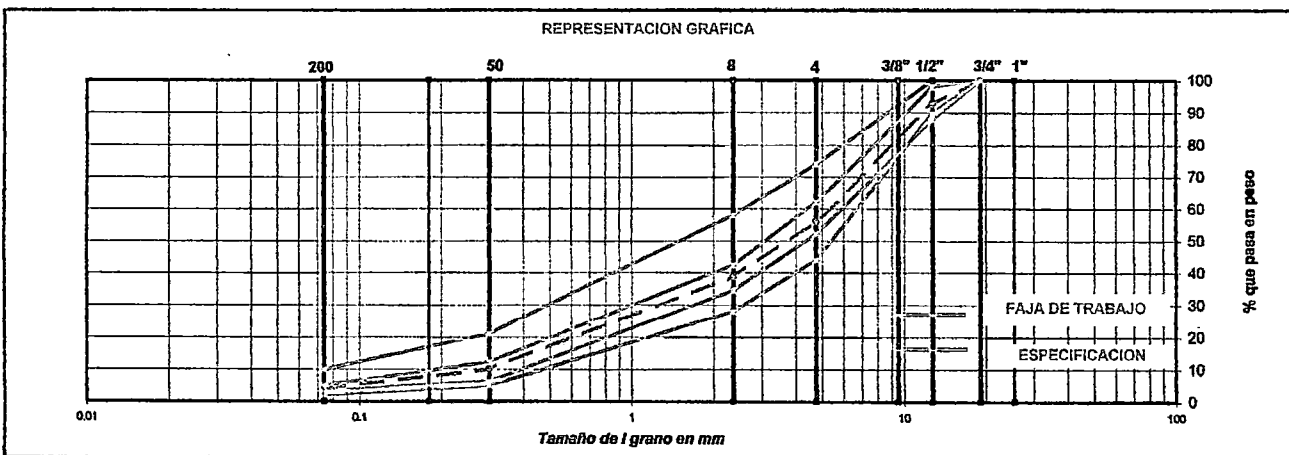
DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
ING RESP. : S.F.S.
FECHA : 24-11-05
CERTIFICADO :

Diseño C.A. 6.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO											LAVADO ASFALTICO	
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.625	4.750	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.
PESO RETENIDO	gr.		1158.4	1499.8	4248.6	239.2	393.2	54.6	27.4	58.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.8	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	18.9	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	92.6	83.1	56.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10		Peso de Filter	gr.
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%
TRAMO ASFALTADO												772.4
											PESO TOTAL	gr.
												15702.7



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0	6.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	41.35	41.35	41.35		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	50.77	50.77	50.77		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.88	1.88	1.88		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	1232.6	1230.5	1232.6		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr.	1238.6	1235.5	1237.6		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	705.2	703.2	703.0		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	533.4	532.3	534.6		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	533.4	532.3	534.6		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.311	2.312	2.306	2.309	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.499	2.499	2.499		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	7.5	7.5	7.7	7.6	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/5)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/19)	%	19.5	19.4	19.6	19.5	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	61.3	61.4	60.6	61.1	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.749	2.749	2.749		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.73	0.73	0.73		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	5.32	5.32	5.32		
25 FLUJO	mm	4.3	4.3	4.5	4.3	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1531	1514	1416		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.93	0.93	0.93		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1424	1408	1317	1383	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3350	3313	2926	3063	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

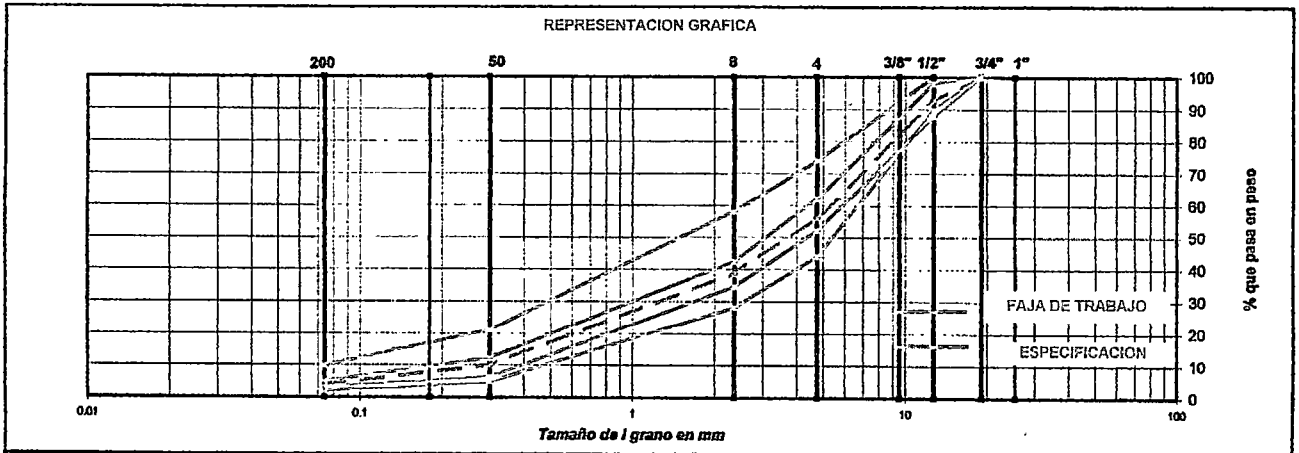
DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
 CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
 ING RESP. : S.F.S.
 FECHA : 24-11-05
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 0.5 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.625	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.	1158.4	1499.8	4248.8	239.2	393.2	54.6	27.4	58.0		Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.6	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	18.9	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	92.6	83.1	56.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	6 - 21		2 - 10		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%	772.4
TRAMO ASFALTADO											Metros Lineales:		
											PESO TOTAL	gr.	15702.7



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.5	6.5	6.5	6.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	41.13	41.13	41.13		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	50.50	50.50	50.50		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.87	1.87	1.87		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1232.3	1222.7	1227.5		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1237.0	1226.9	1232.0		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	704.7	699.2	703.5		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	532.3	527.7	528.5		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	532.3	527.7	528.5		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.315	2.317	2.323	2.318	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.476	2.476	2.476		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	6.5	6.4	6.2	6.4	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100*(2+3+4)/(16/19)	%	19.7	19.7	19.5	19.6	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	67.0	67.3	68.1	67.5	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.744	2.744	2.744		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-18))/((22*19)	%	0.60	0.69	0.66		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	5.89	5.89	5.89		
25 FLUJO	mm	4.5	4.0	4.3	4.3	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1538	1416	1490		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.93	0.93	0.93		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1458	1317	1388	1397	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3241	3292	3260	3263	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

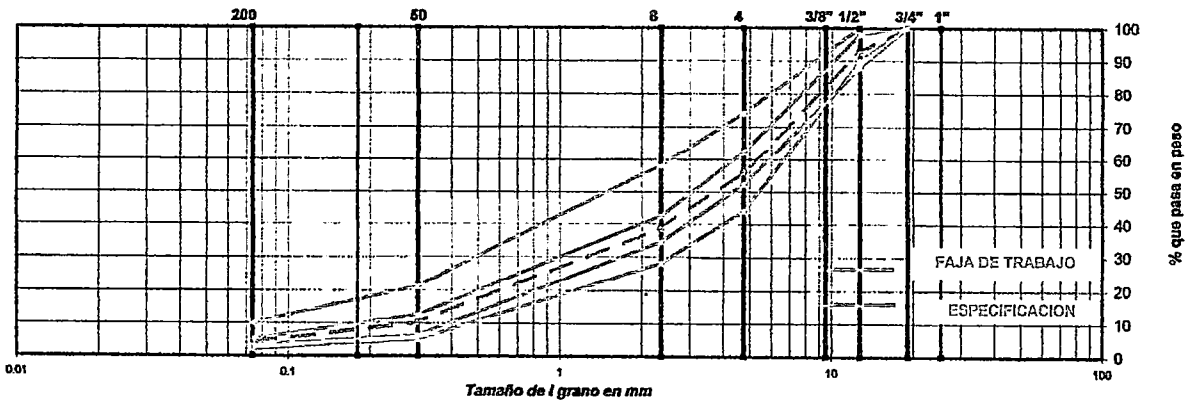
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
ING RESP. : S.F.S.
FECHA : 24-11-95
CERTIFICADO :

Diseño C.A. 7.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 6	Nº 60	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.625	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		1156.4	1499.8	4248.5	239.2	393.2	54.6	27.4	58.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.8	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	16.9	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	92.6	83.1	56.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		45 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%	772.4
TRAMO ASFALTADO											Metros Lineales:		
											PESO TOTAL	gr.	15702.7

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	7.0	7.0	7.0	7.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	40.91	40.91	40.91		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	50.23	50.23	50.23		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.86	1.88	1.86		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1244.2	1247.5	1245.5		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1248.7	1249.5	1248.7		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	712.4	714.1	713.8		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	534.3	535.4	534.9		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	534.3	535.4	534.9		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.329	2.330	2.330	2.330	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.461	2.461	2.461		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	5.4	5.3	5.3	5.4	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/5)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/19)	%	19.7	19.7	19.6	19.7	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	72.6	72.8	72.9	72.8	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.740	2.740	2.740		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*(22-19))/(22*19)	%	0.72	0.72	0.72		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	0.33	0.33	0.33		
25 FLUJO	mm	4.0	4.3	4.0	4.1	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1453	1447	1457		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.95	0.93	0.95		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1401	1349	1399	1381	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3511	3166	3497	3391	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

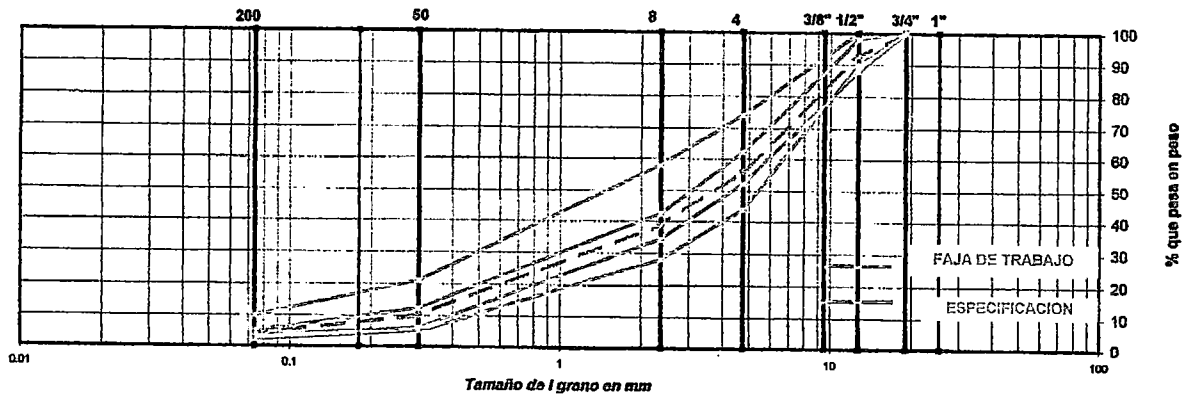
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
 CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
 ING RESP. : S.F.S.
 FECHA : 24-11-08
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 7.5 %

ENSAYO GRANULOMETRICO											LAVADO ASFALTICO		
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 60	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.625	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		1158.4	1459.6	4248.6	239.2	393.2	54.6	27.4	58.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.6	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	16.8	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	92.6	83.1	56.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%	772.4
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr.	16702.7

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	7.5	7.5	7.5	7.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	40.69	40.69	40.69		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	49.96	49.96	49.96		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.85	1.85	1.85		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1232.4	1233.3	1232.9		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1234.0	1235.0	1234.5		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	705.8	707.9	705.9		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	528.2	527.1	527.6		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pa parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	528.2	527.1	527.6		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.333	2.340	2.337	2.337	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.440	2.440	2.440		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	4.4	4.1	4.2	4.2	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)*(18/19)	%	20.0	19.8	19.9	19.9	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	78.1	79.2	78.7	78.6	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.745	2.745	2.745		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/((22*19)	%	0.66	0.66	0.66		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	6.89	6.89	6.89		
25 FLUJO	mm	3.5	4.0	3.8	3.8	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1359	1440	1399		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.96	0.95	0.95		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1205	1392	1343	1343	Min. 660
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	3728	3456	3581	3581	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA
CANTERA : TRES TOMAS B

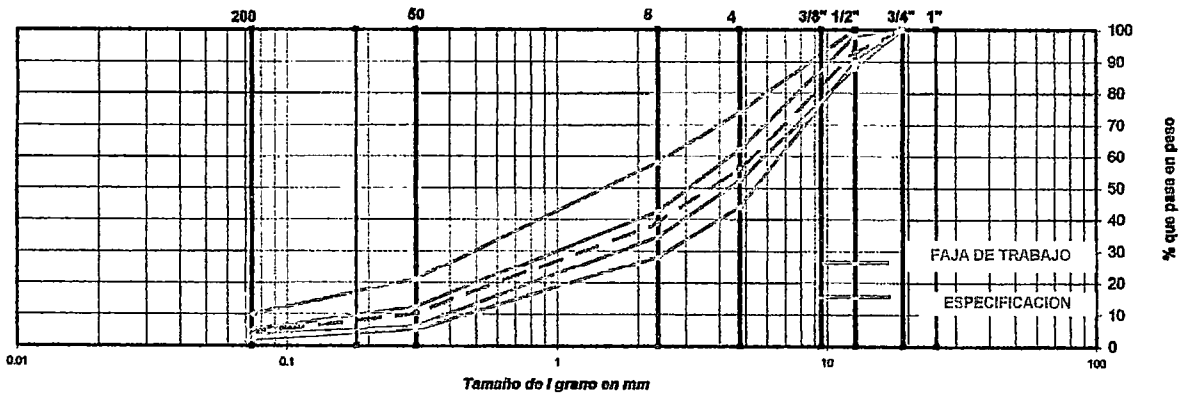
TESISTA : S.Q.E.
ING RESP. : S.F.S.
FECHA : 24-11-05
CERTIFICADO :

Diseño C.A. 8.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.18	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		1159.4	1499.8	4246.6	239.2	393.2	54.6	27.4	58.0	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		7.4	9.8	27.1	17.3	28.5	4.0	2.0	4.2	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		7.4	16.9	44.0	61.3	89.8	93.8	95.8	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	92.6	83.1	58.0	38.7	10.2	6.2	4.2		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO											FRACCION	%	772.4
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr.	15702.7

Metros Lineales:

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	3.0	8.0	8.0	8.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	40.47	40.47	40.47		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	49.69	49.69	49.69		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.84	1.84	1.84		
5 PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.710	2.710	2.710		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.700	2.700	2.700		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1243.6	1245.1	1239.9		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1244.2	1246.0	1241.0		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	710.1	712.0	710.0		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	534.1	534.0	531.0		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	534.1	534.0	531.0		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.328	2.332	2.335	2.332	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.416	2.416	2.416		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	3.6	3.5	3.3	3.6	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.697	2.697	2.697		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)*(16/19)	%	20.6	20.6	20.4	20.6	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	82.4	83.0	83.6	83.0	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.730	2.730	2.730		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.54	0.54	0.54		
24 LIGANTE ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	7.90	7.50	7.50		
25 FLUJO	mm	3.0	3.3	3.0	3.1	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1251	1416	1325		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.95	0.95	0.95		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1201	1359	1272	1277	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	4003	4183	4240	4142	1709 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE

MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFIC. :
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA : 20/11/05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION	ING° RESP. : S.F.S.
CANTERA	: TRES TOMAS B	

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

ENSAYO	N°	1	2	3	4	5	6	7
LIGANTE ASFALTICO	%	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
PESO DEL MATERIAL	gr	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00
PESO DEL AGUA + FRASCO RICE	gr	5156.60	5155.80	5155.40	5155.00	5155.80	5155.80	5155.40
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en aire)	gr	6656.60	6655.80	6655.40	6655.00	6655.80	6655.80	6655.40
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en agua)	gr	6063.00	6059.30	6055.20	6049.30	6048.40	6041.10	6034.50
VOLUMEN DEL MATERIAL	cc	593.60	596.50	600.20	605.70	609.40	614.70	620.90
PESO ESPECIFICO MAXIMO	gr/cc	2.527	2.515	2.499	2.476	2.461	2.440	2.416
TEMPERATURA DE ENSAYO	°C	25	25	25	25	25	25	25
GRAVA 3/4"	%	18	18	18	18	18	18	18
GRAVILLA 3/8"	%	25	25	25	25	25	25	25
ARENA TRITURADA 1/4"	%	42	42	42	42	42	42	42
ARENA NATURAL 1/4"	%	13	13	13	13	13	13	13
FILLER	%	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
TIEMPO DE ENSAYO	Min.	20'	20'	20'	20'	20'	20'	20'
FACTOR DE CORRECCION								

Observaciones : _____

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



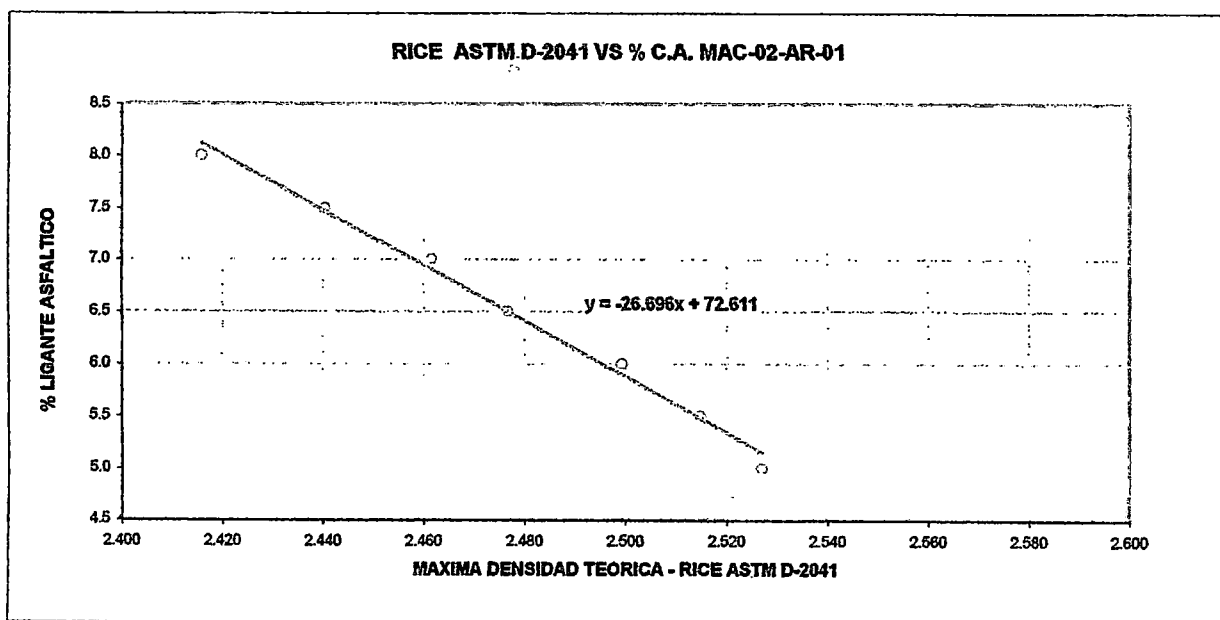
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE - GRAFICO

MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFIC. :
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA : 20/11/05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION	ING° RESP.: S.F.S.
CANTERA	: TRES TOMAS B	

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION



Observaciones : _____

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
ESTABLECIMIENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE - CONTENIDO OPTIMO DE LIGANTE ASFALTICO

MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFIC.	:
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA	: 20/11/05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA - TESIS DE TITULACION	ING° RESP.	: S.F.S.
CANTERA	: TRES TOMAS B		

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION

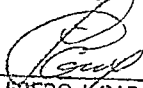
ENSAYO	N°	1	2	3	4	5	6	7
LIGANTE ASFALTICO	%	7.25						
PESO DEL MATERIAL	gr	1500.00						
PESO DEL AGUA + FRASCO RICE	gr	5155.80						
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en aire)	gr	6655.80						
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en agua)	gr	6043.00						
VOLUMEN DEL MATERIAL	cc	612.80						
PESO ESPECIFICO MAXIMO	gr/cc	2.448						
TEMPERATURA DE ENSAYO	°C	25						
GRAVA 3/4"	%	18						
GRAVILLA 3/8"	%	25						
ARENA TRITURADA 1/4"	%	42						
ARENA NATURAL 1/4"	%	13						
FILLER	%	2.0						
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	%	0.5						
TIEMPO DE ENSAYO	Min.	20'						
FACTOR DE CORRECCION								

Observaciones : Ensayo de Máxima Densidad Teórica - RICE, con Optimo Contenido de Ligante Asfáltico.



 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.3.3 Efecto de la Humedad sobre
Mezclas Asfálticas - MAC-02-AR-01

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - DISEÑO MAC-02-AR-01 - TESIS DE TITULACION
CANTERA : TRES TOMAS B

CERT. N°
TESISTA : S.Q.E.
ING° RESP. : S.F.S.
FECHA : 28/11/05

EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS

ASTM D-4867

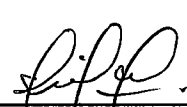
METODO DE COMPACTACION	ASTM D-1559		ADITIVO: QUIMIBOND 3000			DOSAJE %	0.50	
ENSAYO		N°	1	2	3			
DIAMETRO	D	cm	10.12	10.14	10.16			
ESPESOR	t	cm	6.95	7.00	6.88			
PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	A	Gr.	1242.9	1244.1	1241.2			
SSD DE LA MUESTRA	B	Gr.	1246.5	1251.8	1245			
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	C	Gr.	696.9	696.0	696.8			
VOLUMEN (B - C)	E	c.c.	549.6	555.8	548.2			
P.e. BULK DE LA MUESTRA (A / E)	F	Gr/c.c.	2.261	2.238	2.264			
ASTM D-2041	G	Gr/c.c.	2.448	2.448	2.448			
VACIOS (100 (G - F) / G)	H	%	7.6	8.6	7.5			
VOLUMEN DE VACIOS (HE / 100)	I	c.c.	41.9	47.6	41.2			
CARGA	P	Kg.	763	582	729			
Saturación: 60.00 min. MUESTRA SATURADA EN VACIO "Hg: 27.5"								
SSD DE LA MUESTRA	B'	Gr.	1270.3	1278.2	1270.3			
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C'	Gr.	717.6	717.8	718.6			
VOLUMEN DE LA MUESTRA (B' - C')	E'	c.c.	552.7	560.4	551.7			
VOL. AGUA DE ABSORCION (B' - A)	J'	c.c.	27.4	34.1	29.1			
SATURACION (100J' / I)		%	65.4	71.7	70.7			
HINCHAMIENTO (100 (E' - E) / E)		%	0.56	0.83	0.64			
CONDICION DE SATURACION por 24 Hrs. a 60 °C en agua								
ESPESOR	t''	cm	7.02	7.07	6.93			
SSD DE LA MUESTRA	B''	Gr.	1274.3	1280.7	1272.3			
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C''	Gr.	719.5	719.1	717.6			
VOLUMEN (B'' - C'')	E''	c.c.	554.8	561.8	554.7			
VOL. AGUA DE ABSORCION (B'' - A)	J''	c.c.	31.4	36.6	31.1			
SATURACION (100J'' / I)		%	75.0	76.9	75.5			
HINCHAMIENTO 100(E'' - E) / E		%	0.95	1.04	1.19			
CARGA	P''	Kg	623	535	603			
RESISTENCIA SECA 2P' / tDPI	S _t	Kg/cm ²	6.9	5.2	6.6			
RESISTENCIA HUMEDA 2P'' / t' D PI	S _{tm}	Kg/cm ²	5.6	4.8	5.5			
TSR 100 S _m / S _{td}	TSR	%	80.8	91.0	82.1		TSR PROMEDIO %=	84.7
DAÑOS EN LA MEZCLA							El valor mínimo para la relación de	
ROTURA DE AGREGADOS							resistencia de tracción es de 80 %	

OBSERVACIONES:

No presenta desprendimiento de bitumen. Mantiene su coloración característica bituminosa.
 Los restos del bitumen todavía mantienen su principal característica de ligante.

SEGÚN SUPERPAVE EL VALOR MINIMO PARA LA RESISTENCIA DE TRACCION ES 80 %

La mezcla asfáltica con adición de 0.50% de aditivo cumple satisfactoriamente con lo requerido.


 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

A.4 Mezcla Asfáltica Convencional

A.4.1 Control de Agregados de faja para Mezcla Asfáltica Convencional

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSULTORIA INGENIERIA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

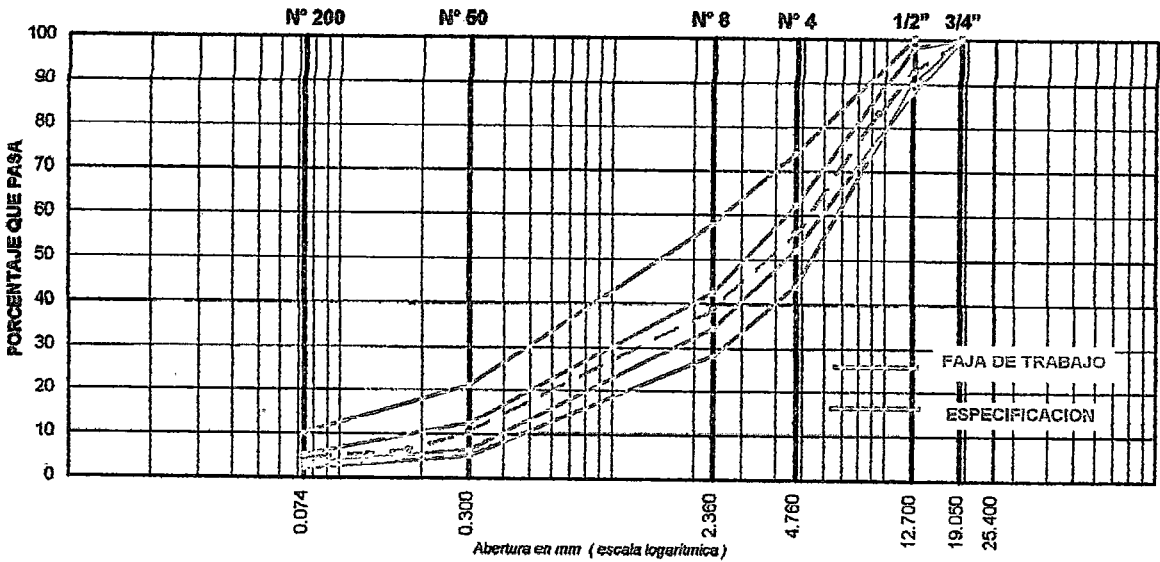
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E-204 - ASTM C-136-93

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	ING. RESP. : S.F.S.
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	FECHA : 16-11-05
MATERIAL : FAJA TRANSPORTADORA	UBICACIÓN : PATAPO
N. REGIST :	TESIS DE TITULACION

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0	100	PESO INICIAL:	15702.7
1/2"	12.700	1158.4	7.4	7.4	92.6	90 - 100	Peso de fracción:	772.4
3/8"	9.525	1499.8	9.6	16.9	83.1		DISEÑO	
N°4	4.760	4248.6	27.1	44.0	56.0	44 - 74	Grava triturada 3/4"	Tres Tomas B % 18.0
N° 8	2.360	239.2	17.3	61.3	38.7	28 - 58	Gravilla triturada 3/8"	Tres Tomas B % 25.0
N° 50	0.300	393.2	28.5	89.8	10.2	5 - 21	Arena triturada 1/4"	Tres Tomas B % 42.0
N° 100	0.180	54.6	4.0	93.8	6.2		Arena natural 1/4"	Tres Tomas B % 13.0
N° 200	0.074	27.4	2.0	95.8	4.2	2 - 10	Relleno mineral Filler (Cal Hidratada)	% 2.0
< 200	-	58.0	4.2	100.0				

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES: Material muestreado de la faja transportadora.

[Signature]
SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

[Signature]
Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

[Signature]
ING. SEBASTIAN DE SIQUEIRA

A.4.2 Ensayo Marshall de la Mezcla
Asfáltica Convencional MAC-02

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

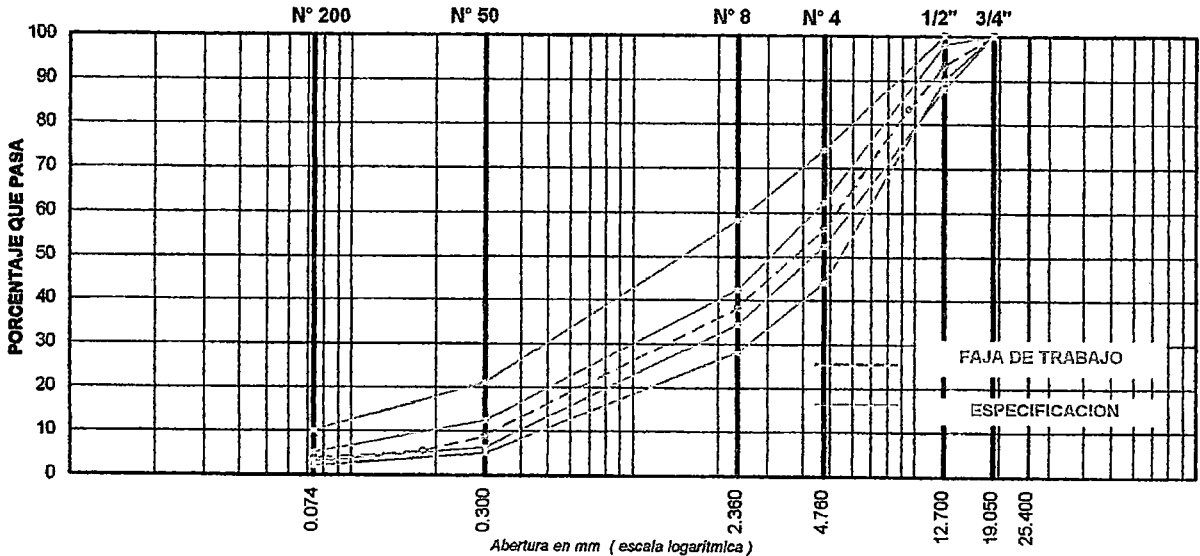
EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

MTC E-502 - ASTM D-2172 - AASHTO T-164
MTC E-503 - ASTM D-546 - AASHTO T-30

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERT. : L - 145
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR : J.G.R.
LUGAR : CHICLAYO PERU	FECHA : 24-11-05
MATERIAL : FAJA TRANSPORTADORA	UBICACIÓN : PATAPO
N. REGIST : 1397	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/4"
3"	76.200						AVANCE KM : 50+000	50+615 L. Izq.
2 1/2"	63.500						M Lineales: 615	Superficie
2"	50.800						AVANCE KM :	
1 1/2"	38.100						M Lineales:	
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0	100	PESO INICIAL:	16180.0
1/2"	12.700	1134.7	7.0	7.0	93.0	90 - 100	Peso de fracción:	751.6
3/8"	9.525	1591.4	9.8	16.8	83.2		DISEÑO	
N°4	4.760	4374.5	27.0	43.9	56.1	44 - 74	Grava triturada 3/4"	18.00 %
N° 8	2.360	239.8	17.9	61.8	38.2	28 - 58	Gravilla triturada 3/8"	25.00 %
N° 50	0.300	392.3	29.3	91.1	8.9	5 - 21	Arena triturada 1/4"	42.00 %
N° 100	0.180	47.8	3.6	94.6	5.4		Arena natural 1/4"	13.00 %
N° 200	0.074	22.0	1.6	96.3	3.7	2 - 10	Relleno mineral Filler (Cal Hidratada)	2.00 %
< 200	-	49.7	3.7	100.0			Aditivo mejorador de adherencia	0.50 %

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES:

Material muestreado de la faja transportadora para la producción del día.

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO Y GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

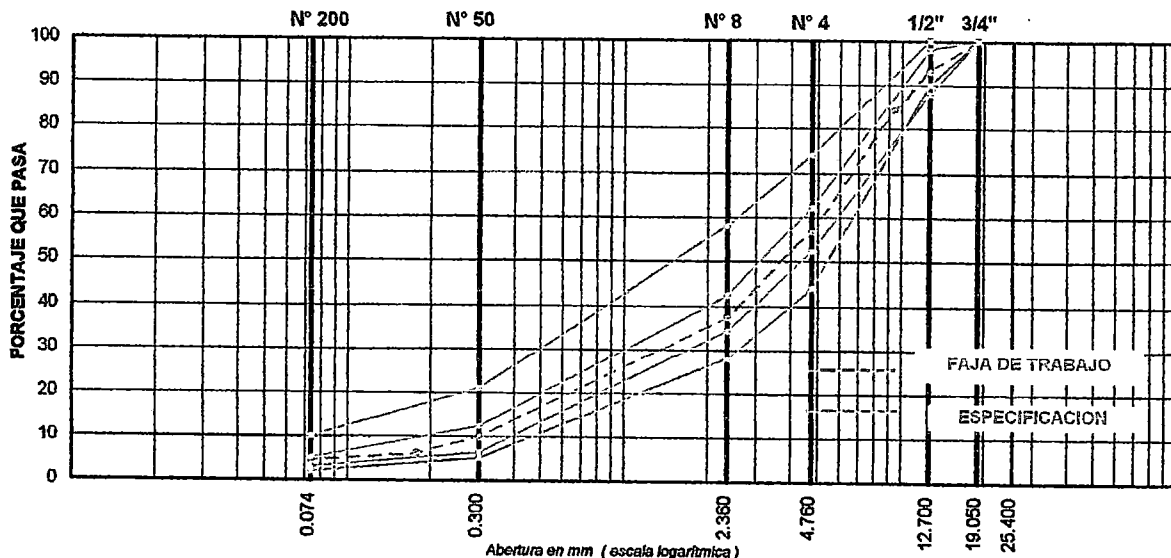
EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

MTC E-502 - ASTM D-2172 - AASHTO T-164
MTC E-503 - ASTM D-546 - AASHTO T-30

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO : L - 145
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR : J.G.R.
LUGAR : CHICLAYO PERU	FECHA : 24-11-05
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA	UBICACIÓN : PATAPO
N. REGIST : 1308	LAVADO N° : 1

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/4"
3"	76.200						AVANCE KM : 50+000	50+615 L. Izq.
2 1/2"	63.500						M Lineales: 615	Superficie
2"	50.800						AVANCE KM :	
1 1/2"	38.100						M Lineales:	
1"	25.400				100.0	100	Peso de Material sin lavar	804.7 gr
3/4"	19.050						Peso del material lavado	755.8 gr
1/2"	12.700	52.8	7.0	7.0	93.0	90 - 100	Peso mat.lav.+filtro	757.5 gr
3/8"	9.525	67.3	8.9	15.9	84.1		Peso del asfalto	47.2 gr
N°4	4.760	208.0	27.5	43.3	56.7	44 - 74	Peso inicial del filtro	40.70 gr
N° 8	2.360	145.5	19.2	62.5	37.5	28 - 58	Peso final del filtro	42.40 gr
N° 50	0.300	210.0	27.7	90.2	9.8	5 - 21	Peso del filler en filtro	1.7 gr
N° 100	0.180	27.0	3.6	93.8	6.2			%
N° 200	0.074	13.2	1.7	95.6	4.4	2 - 10	ASFALTO	5.87 %
< 200	-	33.7	4.4	100.0			PESO TOTAL AGREGADOS	757.5 gr

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES: LAVADO ASFALTICO DE PLANTA VIAJE N° 01 (PLACA N° XO-6123)

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFONSO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO MARSHALL

MTC E-504 ASTM D-1559

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO : L - 145
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR : J.G.R.
LUGAR : CHICLAYO PERU	FECHA : 24/11/05
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA	ING° RESP. : S.F.S.
N. REGIST : 1308	Marshall - 01

TRAMO ASFALTADO : 50+000 AL 50+815	METROS LINEALES : 815	CARRIL Izq.	Superficie
TRAMO ASFALTADO :	METROS LINEALES :	CARRIL	
TRAMO ASFALTADO :	METROS LINEALES :		

BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	PROMEDIO	ESPECIF.
1 Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.87	5.87	5.87		5.87	
2 Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	40.77	40.77	40.77			
3 Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	51.48	51.48	51.48			
4 Filler en peso de la mezcla	%	1.88	1.88	1.88			
5 Peso específico del cemento asfáltico aparente		1.018	1.018	1.018			
6 Peso específico del agregado grueso - Bulk		2.710	2.710	2.710			
7 Peso específico del agregado fino - Bulk		2.700	2.700	2.700			
8 Peso específico del filler - aparente		2.383	2.383	2.383			
9 Peso de la briqueta al aire	gr	1243.5	1243.7	1243.8			
10 Peso de la briqueta al aire(saturado)	gr	1243.7	1244.7	1244.7			
11 Peso de la briqueta en agua	gr	722.0	722.4	722.0			
12 Volumen de la briqueta por desplazamiento	c.c.	521.7	522.3	522.7			
13 Peso específico Bulk de la briqueta		2.384	2.381	2.380		2.381	
14 Peso específico máximo ASTM D-2041		2.476	2.476	2.476			
15 Vacíos	%	3.75	3.85	3.91		3.84	3 - 5
16 Peso específico Bulk del agregado total		2.697	2.697	2.697			
17 V.M.A.	%	16.81	16.89	16.95		16.88	Min. 14
18 Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	77.68	77.23	76.91		77.27	
19 Peso específico del agregado total		2.719	2.719	2.719			
20 Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.31	0.31	0.31			
21 Cemento asfáltico efectivo	%	5.58	5.58	5.58			
22 Flujo	mm	3.50	3.50	3.50		3.50	2 - 4
23 Estabilidad sin corregir	kg	1004	1014	970			
24 Factor de estabilidad		1.00	1.00	0.96			
25 Estabilidad corregida	kg	1004	1014	931		983	Min. 680
26 Estabilidad - Flujo	kg/cm	2869	2897	2661		2809	1700 - 3000

OBSERVACIONES:

Grava triturada 3/4"	18.00 %
Gravilla triturada 3/8"	25.00 %
Arena triturada 1/4"	42.00 %
Arena natural 1/4"	13.00 %
Relleno mineral Filler (Cal Hidratada)	2.00 %
Aditivo mejorador de adherencia	0.50 %

DOESIFICACION:

LAVADO ASFALTICO DE PLANTA VIAJE N° 01 (PLACA N° XO-6123)

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra de Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra de Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

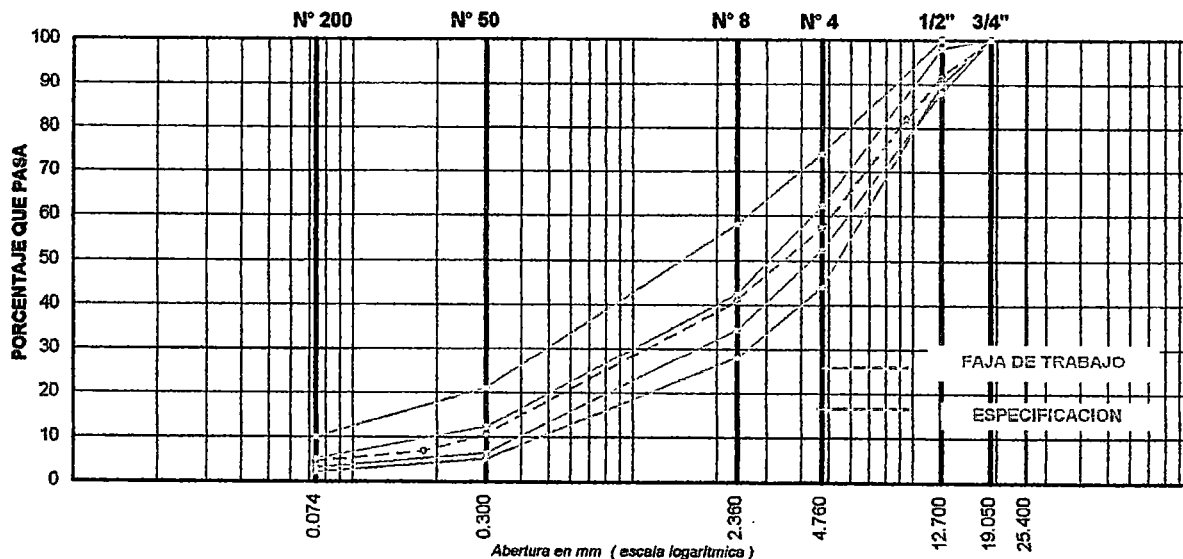
EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

MTC E-602 - ASTM D-2172 - AASHTO T-164
MTC E-603 - ASTM D-546 - AASHTO T-30

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	: L - 145
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR	: J.G.R.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA	: 24-11-05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA	UBICACIÓN	: PATAPO
N. REGIST	: 1309	LAVADO N°	2

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/4"		
3"	76.200						AVANCE KM :	50+000	50+615	L. Izq.
2 1/2"	63.500						M L.	615	Superficie	
2"	50.800						AVANCE KM :			
1 1/2"	38.100						M L.			
1"	25.400						Peso de Material sin lavar			
3/4"	19.050				100.0	100	706.0 gr			
1/2"	12.700	55.7	8.4	8.4	91.6	90 - 100	Peso del material lavado		660.5 gr	
3/8"	9.525	64.8	9.8	18.1	81.9		Peso mat.lav.+filtro		664.6 gr	
N°4	4.760	163.7	24.6	42.8	57.2	44 - 74	Peso del asfalto		41.4 gr	
N° 8	2.380	108.7	16.4	59.1	40.9	28 - 58	Peso inicial del filtro		41.50 gr	
N° 50	0.300	201.5	30.3	89.4	10.6	5 - 21	Peso final del filtro		45.60 gr	
N° 100	0.180	25.0	3.8	93.2	6.8		Peso del filler en filtro		4.1 gr	
N° 200	0.074	15.0	2.3	95.5	4.5	2 - 10	ASFALTO		5.86 %	
< 200	-	30.2	4.5	100.0			PESO TOTAL AGREGADOS		664.6 gr	

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES: LAVADO ASFALTICO DE PLANTA VIAJE N° 10 (PLACA N° XO-6111)

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y

ENSAYO MARSHALL

MTC E-504 ASTM D-1559

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	: L - 145
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR	: J.G.R.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA	: 24/11/05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA	REVISADO	: S.F.S.
N. REGIST	: 1309		

Marshall - 02

TRAMO ASFALTADO :	50+000	AL	50+615	METROS LINEALES :	615	CARRIL	Izq.	Superficie
TRAMO ASFALTADO :				METROS LINEALES :		CARRIL		
TRAMO ASFALTADO :								

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	4	PROMEDIO	ESPECIF.
1 Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.86	5.86	5.66		5.86	
2 Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	40.25	40.25	40.25			
3 Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	52.00	52.00	52.00			
4 Filler en peso de la mezcla	%	1.88	1.88	1.88			
5 Peso específico del cemento asfáltico aparente		1.018	1.018	1.018			
6 Peso específico del agregado grueso - Bulk		2.710	2.710	2.710			
7 Peso específico del agregado fino - Bulk		2.700	2.700	2.700			
8 Peso específico del filler - aparente		2.383	2.383	2.383			
9 Peso de la briqueta al aire	gr	1250.0	1243.6	1245.6			
10 Peso de la briqueta al aire(saturado)	gr	1250.8	1244.1	1245.8			
11 Peso de la briqueta en agua	gr	726.0	722.5	724.0			
12 Volumen de la briqueta por desplazamiento	c.c.	524.8	521.6	521.8			
13 Peso específico Bulk de la briqueta		2.382	2.384	2.387		2.384	
14 Peso específico máximo ASTM D-2041		2.476	2.476	2.476			
15 Vacíos	%	3.82	3.73	3.61		3.72	3 - 5
16 Peso específico Bulk del agregado total		2.697	2.697	2.697			
17 V.M.A.	%	16.87	16.78	16.68		16.78	Min. 14
18 Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	77.35	77.80	78.37		77.84	
19 Peso específico del agregado total		2.719	2.719	2.719			
20 Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.31	0.31	0.31			
21 Cemento asfáltico efectivo	%	5.58	5.58	5.58			
22 Flujo	mm	3.25	3.50	3.25		3.33	2 - 4
23 Estabilidad sin corregir	kg	1105	1119	1072			
24 Factor de estabilidad		0.96	1.00	1.00			
25 Estabilidad corregida	kg	1061	1119	1072		1084	Min. 680
26 Estabilidad - Flujo	kg/cm	3264	3197	3298		3253	1700 - 3000

OBSERVACIONES:

DOSIFICACION:

Grava triturada 3/4"	18.00 %
Gravilla triturada 3/8"	25.00 %
Arena triturada 1/4"	42.00 %
Arena natural 1/4"	13.00 %
Relleno mineral Filler (Cal Hidratada)	2.00 %
Aditivo mejorador de adherencia	0.50 %

LAVADO ASFALTICO DE PLANTA VIAJE Nº 10 (PLACA Nº XO-6111)

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)

**NIPPON KOEI**
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL**CESEL INGENIEROS****LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS****DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE**

MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209


OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE CERT. : L - 145
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE HECHO POR : J.G.R.
 LUGAR : CHICLAYO PERU FECHA : 24/11/05
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA ING° RESP. : S.F.S.
 N. REGIST : 1308

MEZCLA ASFALTICA

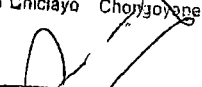
ENSAYO	N°	1	2	3		
CEMENTO ASFALTICO	%	5.87				
PESO DEL MATERIAL	gr	1500.00				
PESO DEL AGUA + FRASCO RICE	gr	5152.00				
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en aire)	gr	6652.00				
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en agua)	gr	6046.30				
VOLUMEN DEL MATERIAL	cc	605.70				
PESO ESPECIFICO MAXIMO	gr/cc	2.476				
TEMPERATURA DE ENSAYO	°C	25				
GRAVA 3/4"	%	18				
GRAVILLA 3/8"	%	25				
ARENA TRITURADA 1/4"	%	42				
ARENA NATURAL 1/4"	%	13				
FILLER	%	2.0				
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	%	0.5				
TIEMPO DE ENSAYO	Min.	20'				
FACTOR DE CORRECCION						

OBSERVACIONES:

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ESTABILIDAD RETENIDA e INDICE DE COMPACTIBILIDAD EN MEZCLAS DE ASFALTO

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERT. :	L - 145
TRAMOII	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	HECHO POR :	J.G.R.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA :	24/11/05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA	ING° RESP. :	S.F.S.
N. REGIST	: 1308		

ESTABILIDAD RETENIDA

BRIQUETA	Nº	1	2	3	PROMEDIO	1a	2a	3a	PROMEDIO
Golpes	Nº	75	75			75	75		
Cemento asfáltico	%	5.87	5.87			5.87	5.87		
Peso de la briqueta al aire	gr	1243.5	1243.7			1240.5	1241.3		
Peso de la briqueta al aire (saturado)	gr	1243.7	1244.7			1241.3	1242.0		
Peso de briqueta en agua	gr	722	722.4			720.0	721.0		
Volumen de la briqueta	cc	0.0	0.0			0.0	0.0		
Peso de la parafina	gr	0.0	0.0			0.0	0.0		
Volumen de la parafina	cc	0.0	0.0			0.0	0.0		
Volumen de la briqueta	cc	521.7	522.3			521.3	521.0		
Peso específico Bulk de la briqueta		2.384	2.381			2.380	2.383		
Flujo	mm								
Estabilidad sin corregir	kg	1004	1014			911	900		
Factor de corrección		1.00	1.00			1.00	1.00		
Estabilidad corregida	kg	1004	1014		1009	911	900		906
ESTABILIDAD CORREGIDA	%	89.7							

INDICE DE COMPACTIBILIDAD

BRIQUETA	Nº	1	2	3	PROMEDIO	1a	2a	3a	PROMEDIO
Golpes	Nº	50	50			5	5		
Cemento asfáltico	%	5.87	5.87			5.87	5.87		
Peso de la briqueta al aire	%	1239.5	1240.3			1241.3	1240.5		
Peso de la briqueta + parafina al aire	gr	1255.9	1255.0			1266.5	1265.9		
Peso de la briqueta + parafina al agua	gr	709.0	708.8			674.2	674.9		
Volumen de la briqueta + parafina	gr	546.9	546.2			592.3	591.0		
Peso de la parafina	cc	16.4	14.7			25.2	25.4		
Volumen de la parafina	gr	18.2	16.3			28.0	28.2		
Volumen de la briqueta	cc	528.7	529.9			564.3	562.8		
Peso específico Bulk de la briqueta	cc	2.345	2.341		2.343	2.200	2.204		2.202
INDICE DE COMPACTIBILIDAD	%	7.11							

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.4.3 Efecto de la Humedad sobre Mezclas Asfálticas - MAC-02

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - DISEÑO MÁC-02 - TESIS DE TITULACION
CANTERA : TRES TOMAS B

CERT. N°
TESISTA : S.Q.E.
ING° RESP. : S.F.S.
FECHA : 10/11/05

EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS

ASTM D-4867

METODO DE COMPACTACION	ASTM D-1559		ADITIVO: QUIMIBOND 3000			DOSAJE	%	0.50
ENSAYO		N°	1	2	3			
DIAMETRO	D	cm	10.16	10.16	10.15			
ESPEJOR	t	cm	6.84	6.85	6.87			
PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	A	Gr.	1245.7	1243.6	1243.7			
SSD DE LA MUESTRA	B	Gr.	1246.0	1245.8	1246.5			
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	C	Gr.	706.0	705.3	706.4			
VOLUMEN (B - C)	E	c.c.	540.0	540.5	540.1			
P.e. BULK DE LA MUESTRA (A / E)	F	Gr/c.c.	2.307	2.301	2.303			
ASTM D-2041	G	Gr/c.c.	2.484	2.484	2.484			
VACIOS (100 (G - F) / G)	H	%	7.1	7.4	7.3			
VOLUMEN DE VACIOS (HE / 100)	I	c.c.	38.5	39.9	39.4			
CARGA	P	Kg.	578	579	572			
Saturación: 60.00 min. MUESTRA SATURADA EN VACIO "Hg: 27.5"								
SSD DE LA MUESTRA	B'	Gr.	1267.1	1268.3	1269.8			
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C'	Gr.	726.9	727.0	720.9			
VOLUMEN DE LA MUESTRA (B' - C')	E'	c.c.	540.2	541.3	548.9			
VOL. AGUA DE ABSORCION (B' - A)	J'	c.c.	21.4	24.7	26.1			
SATURACION (100J' / I)		%	55.6	62.0	66.2			
HINCHAMIENTO (100 (E' - E) / E)		%	0.04	0.15	1.63			
CONDICION DE SATURACION por 24 Hrs. a 60 °C en agua								
ESPEJOR	t'	cm	6.87	6.86	6.87			
SSD DE LA MUESTRA	B''	Gr.	1267.8	1269.3	1268.7			
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C''	Gr.	723.7	724.8	724.5			
VOLUMEN (B'' - C'')	E''	c.c.	544.1	544.5	544.2			
VOL. AGUA DE ABSORCION (B'' - A)	J''	c.c.	22.1	25.7	25.0			
SATURACION (100J'' / I)		%	57.4	64.5	63.4			
HINCHAMIENTO 100(E'' - E) / E		%	0.76	0.74	0.76			
CARGA	P''	Kg	545	538	507			
RESISTENCIA SECA 2P / tDPI	S _t	Kg/cm ²	5.3	5.3	5.2			
RESISTENCIA HUMEDA 2P'' / t' D Pi	S _{1m}	Kg/cm ²	5.0	4.9	4.6			
TSR 100 S _{1m} / S _t	TSR	%	93.7	92.8	88.6			TSR PROMEDIO % = 91.7
DAÑOS EN LA MEZCLA								El valor mínimo para la relación de
ROTURA DE AGREGADOS								resistencia de tracción es de 80 %

OBSERVACIONES:

No presenta desprendimiento de bitumen. Mantiene su coloración característica bituminosa.
 Los restos del bitumen todavía mantienen su principal característica de ligante.

SEGUN SUPERPAVE EL VALOR MINIMO PARA LA RESISTENCIA DE TRACCION ES 80 %

La mezcla asfáltica con adición de 0.50% de aditivo cumple satisfactoriamente con lo requerido.

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

A.5 Mezcla Asfáltica Modificada
MAC-GG-AR

A.5.1 Análisis Granulométrico de los Agregados Componentes

A.5.1.1 Arena Natural Zarandeada 1/4"

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

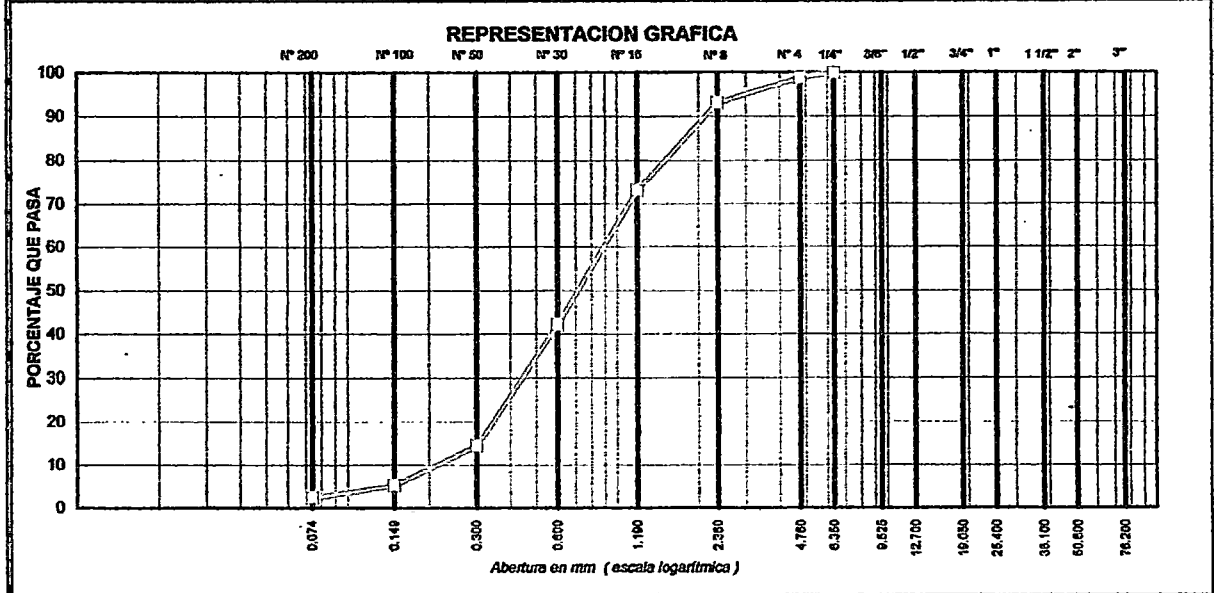
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.O.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA ZARANDEADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 24-oct-05
MUESTRA	: M-1		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050						PESO TOTAL	698.1 gr
1/2"	12.700							
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100.0			
N° 4	4.760	8.3	1.2	1.2	98.8			
N° 8	2.360	40.0	5.7	6.9	93.1		MOD.FINEZA TOTAL	2.73
N° 10	2.000						TAMIZ # 200 (ASTM C-117)	2.48 %
N° 16	1.190	139.3	20.0	26.9	73.1			
N° 30	0.600	216.1	31.0	57.8	42.2			
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300	193.8	27.8	85.6	14.4			
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	63.3	9.1	94.7	5.3			
N°200	0.074	20.0	2.9	97.5	2.5			
< 200	-	17.3	2.5	100.0	-			



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Ing. Sebastião de Siqueira
 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

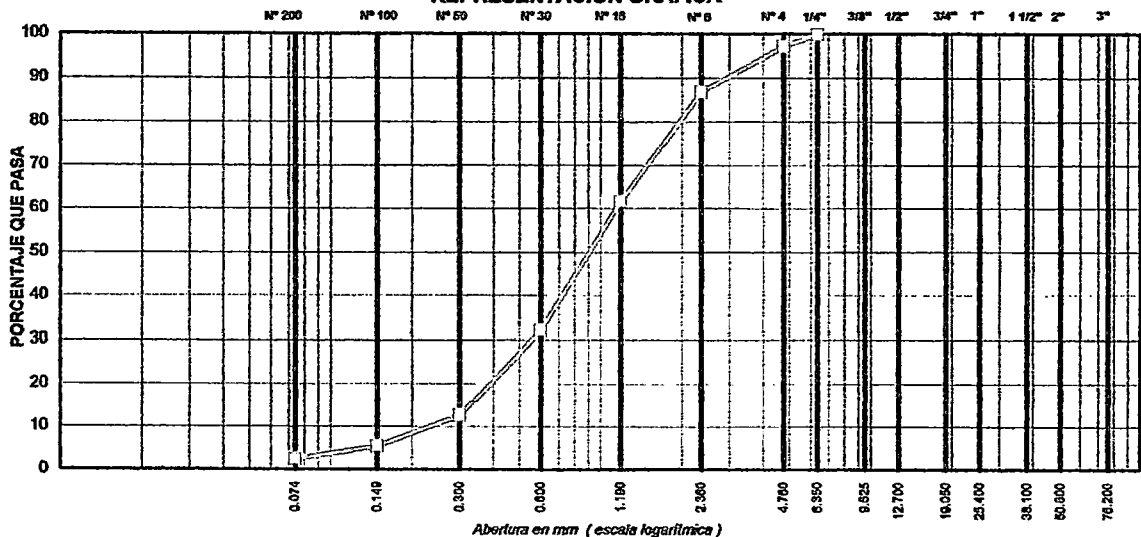
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA ZARANDEADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 25-oct-05
MUESTRA	: M-2		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050						PESO TOTAL	863.0 gr
1/2"	12.700							
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100.0			
N° 4	4.760	24.1	2.8	2.8	97.2		MOD.FINEZA TOTAL	3.04
N° 8	2.360	89.8	10.4	13.2	86.8		TAMIZ # 200 (ASTM C-117)	2.55 %
N° 10	2.000							
N° 16	1.190	216.6	25.1	38.3	61.7			
N° 30	0.600	254.9	29.5	67.8	32.2			
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300	168.6	19.5	87.4	12.6			
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	61.3	7.1	94.5	5.5			
N°200	0.074	25.7	3.0	97.5	2.5			
< 200	-	22.0	2.5	100.0	-			

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo J. Garay Ramos
 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

Sebastião de Siqueira
 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

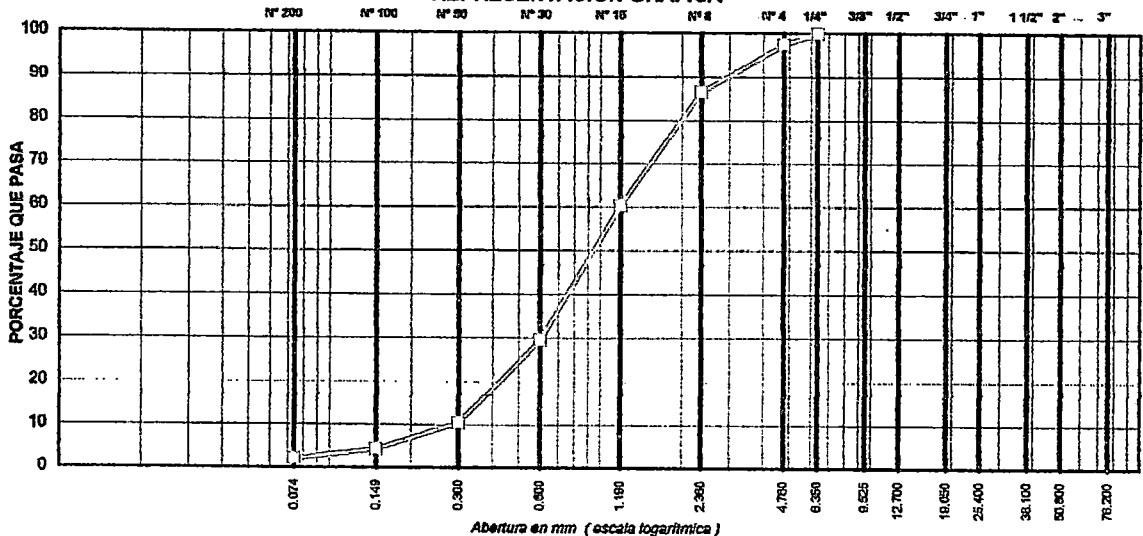
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA ZARANDEADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 25-oct-05
MUESTRA	: M-3		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO 1/4"
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	8.350				100.0		
N° 4	4.760	22.4	2.6	2.6	97.4		
N° 8	2.360	94.3	10.9	13.5	86.5		
N° 10	2.000						MOD.FINEZA TOTAL 3.11
N° 16	1.190	226.8	26.2	39.7	60.3		TAMIZ # 200 (ASTM C-117) 2.23 %
N° 30	0.600	266.8	30.8	70.5	29.5		
N° 40	0.425						OBSERVACION:
N° 50	0.300	164.4	19.0	89.5	10.5		
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA
N°100	0.149	52.2	6.0	95.5	4.5		
N°200	0.074	19.5	2.3	97.8	2.2		
< 200	-	19.3	2.2	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Ing. Sebastiao de Siqueira
ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

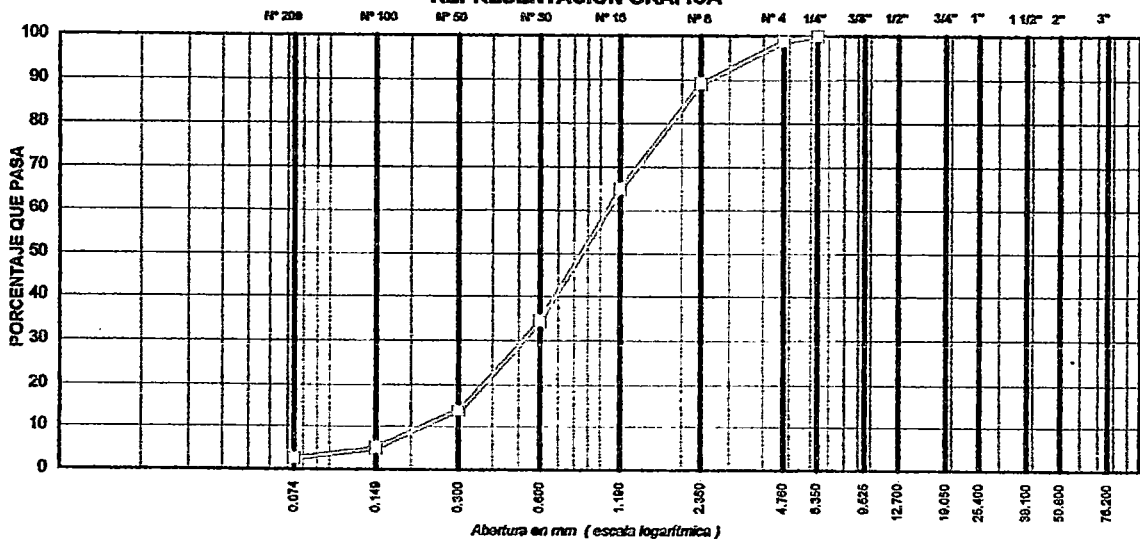
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO B	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA ZARANDEADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	25-oct-05
MUESTRA	: M-4		
PROCEDECENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050							
1/2"	12.700						PESO TOTAL	845.1 gr
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100.0			
N° 4	4.760	10.8	1.3	1.3	98.7			
N° 8	2.360	81.7	8.7	10.9	89.1		MOD.FINEZA TOTAL	2.94
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117)	2.59 %
N° 16	1.190	203.9	24.1	35.1	64.9			
N° 30	0.600	259.1	30.7	65.7	34.3			
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300	172.9	20.5	86.2	13.8			
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	74.4	8.8	95.0	5.0			
N°200	0.074	20.4	2.4	97.4	2.6			
< 200	-	21.9	2.6	100.0	-			

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sebastião de Siqueira
ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA
 Laboratorio de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

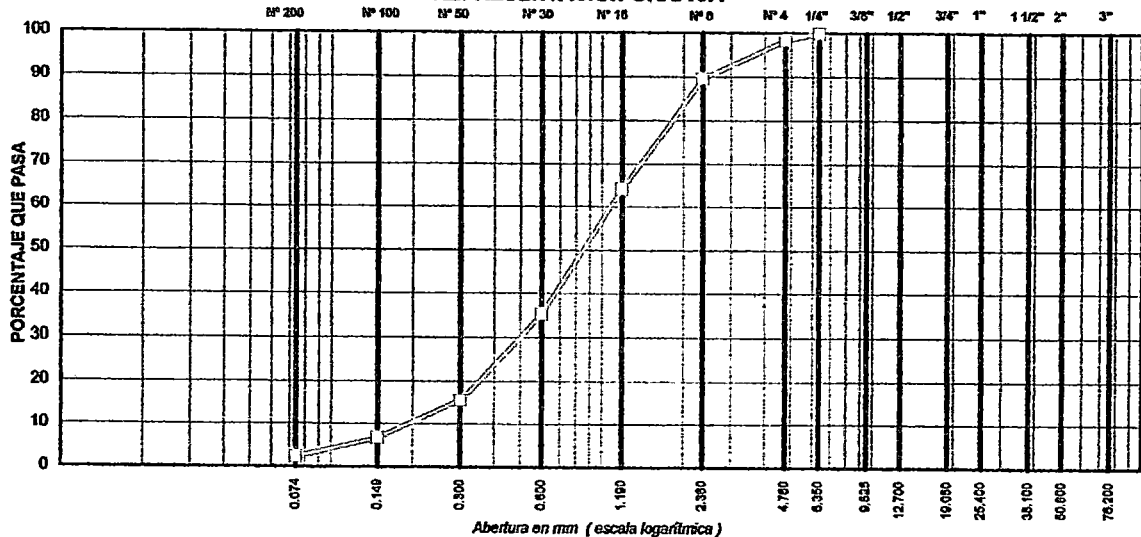
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA ZARANDEADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	25-oct-05
MUESTRA	: M-5		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE		ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado, que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050					PESO TOTAL	675.5 gr
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350			100.0			
N° 4	4.760	10.7	1.6	1.6	98.4		
N° 8	2.360	59.6	8.8	10.4	89.6	MOD.FINEZA TOTAL	2.90
N° 10	2.000					TAMIZ # 200(ASTM C-117)	2.40 %
N° 16	1.190	171.7	25.4	35.8	64.2		
N° 30	0.600	195.5	28.9	64.8	35.2		
N° 40	0.425					OBSERVACION:	
N° 50	0.300	132.9	19.7	84.4	15.6		
N° 80	0.180					MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	59.2	8.8	93.2	6.8		
N°200	0.074	29.7	4.4	97.6	2.4		
< 200	-	16.2	2.4	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUIEROS

A.5.1.2 Arena Triturada 1/4"



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVAS NACIONALES

CESEL INGENIEROS

OBRA

: Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chorgoyapa

ITRAMO

: Chiclayo - Chorgoyapa

PROCEDECIA

: Cantera Tres Tomas B

ESTUDIO

: Tests de Trituración

TESISTA : Sergio Quispe E.
ING° RESP. : Sebastián De Siqueira

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

RESUMEN PROPIEDADES FISICO - MECANICAS DE LA ARENA CHANCADA PARA ASFALTO

MUESTRA	FECHA	PROGRAMA	UBICACIÓN DEL MUESTREO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORCENTUALES CUMULATIVOS PARA TAMAÑO										PESO UNITARIO SUELO	PESO UNITARIO COMPACTADO	HUM. NATURAL	PESO ESPECÍFICO	EQUIV. AREIA (%)	MÓDULO DE FINEZA	SALLES SOLUBLES
				20"	4.75	75	150	300	600	1.18	2.5	5.0	75							
1	24-08-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	100.0	97.0	80.5	30.5	16.1	6.7	5.2	3.6								3.82	
2	25-08-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	100.0	97.1	86.6	35.1	20.5	10.8	6.2	4.0								3.72	
3	25-08-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	100.0	97.2	91.4	38.2	21.2	11.4	6.5	4.3								3.86	
4	25-08-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	-	-	-	-	-	-	-	-								-	
5	25-08-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	100.0	97.6	62.5	37.6	22.7	12.1	6.2	3.5								3.81	

RESUMEN ESTADÍSTICO	CANTIDAD	VALORES LÍMITES ESTADÍSTICOS										VALORES LÍMITES ESPECIFICADOS	
		PROMEDIO	DEVIACIÓN STD	MAX	MIN	MAX	MIN						
	4	97.2	64.8	28.2	16.7	6.0	3.8	4	4	4	4	4	4
	100.0	97.2	64.8	28.2	16.7	6.0	3.8	4	4	4	4	4	4
	0.0	0.5	1.6	3.1	2.8	1.5	0.8	0.4					
	100.0	97.6	62.5	37.6	22.7	12.1	6.5	4.3					
	100.0	97.0	58.8	32.5	16.1	6.7	5.2	3.5					

Sergio Quispe

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chorgoyapa

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra de Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chorgoyapa

Sr. ALFREDO J. GARY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

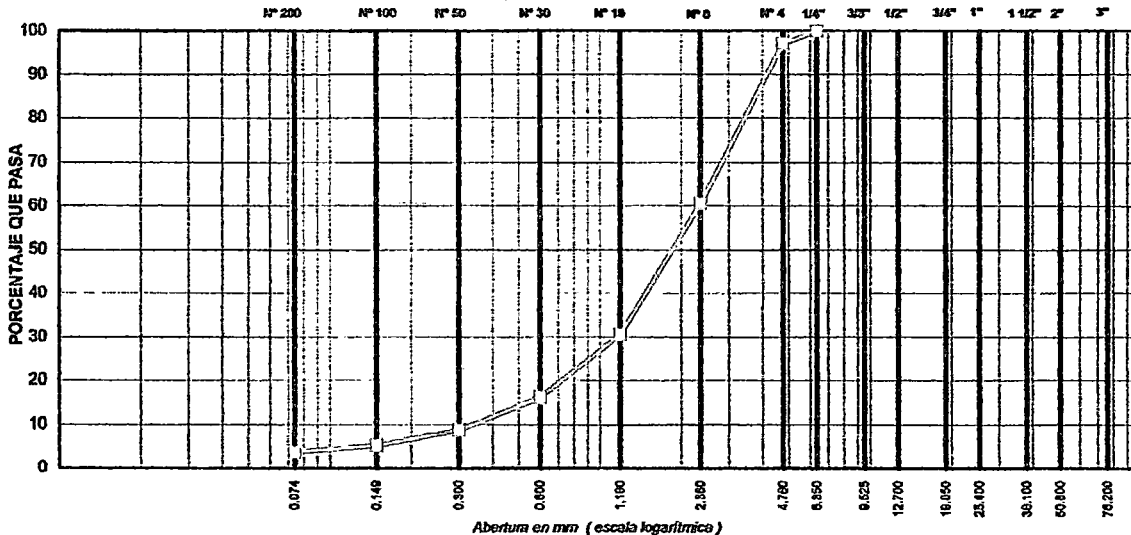
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA CHANCADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 24-oct-05
MUESTRA	: M-1		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO 1/4"
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050					PESO TOTAL	1065.5 gr
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350				100.0		
N° 4	4.760	31.9	3.0	3.0	97.0		
N° 8	2.360	388.7	36.5	39.5	60.5	MOD.FINEZA TOTAL	3.82
N° 10	2.000					TAMIZ # 200(ASTM C-117)	3.57 %
N° 16	1.190	319.9	30.0	69.5	30.5		
N° 30	0.600	153.1	14.4	83.9	16.1		
N° 40	0.425					OBSERVACION:	
N° 50	0.300	79.7	7.5	91.3	8.7		
N° 80	0.180					MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	37.2	3.5	94.8	5.2		
N°200	0.074	17.0	1.6	96.4	3.6		
< 200	-	38.0	3.6	100.0	-		

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo J. Garay Ramos

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Ing. Sebastião de Siqueira

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

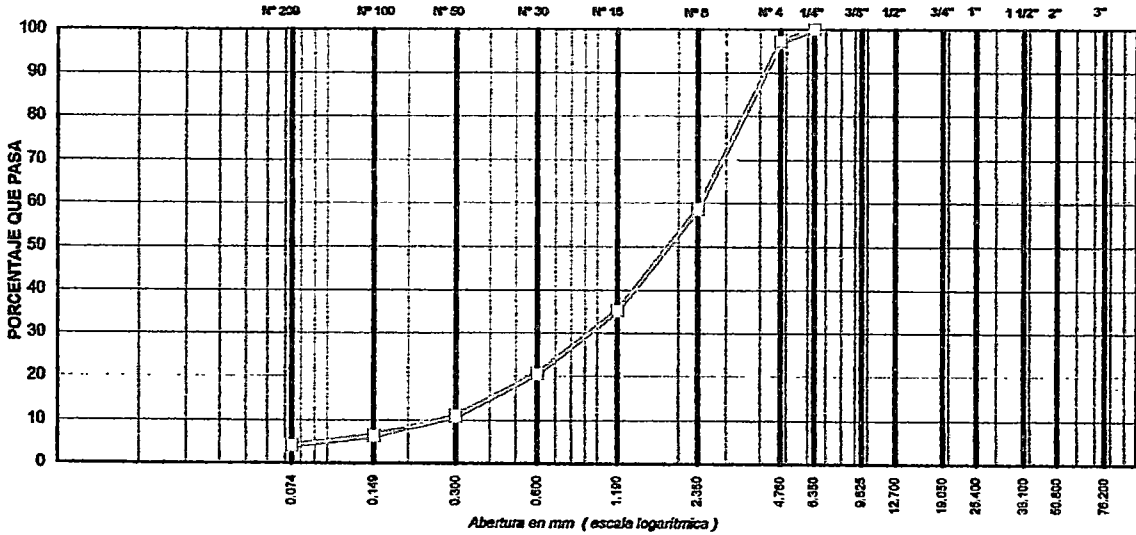
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA CHANCADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 25-oct-05
MUESTRA	: M-2		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050						PESO TOTAL	993.8 gr
1/2"	12.700							
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100.0			
N° 4	4.760	28.8	2.9	2.9	97.1		MOD.FINEZA TOTAL	3.72
N° 8	2.360	382.4	38.5	41.4	58.6		TAMIZ # 200(ASTM C-117)	4.04 %
N° 10	2.000							
N° 16	1.180	233.7	23.5	64.9	35.1			
N° 30	0.600	144.7	14.6	79.5	20.5			
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300	96.8	9.7	89.2	10.8			
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	45.8	4.6	93.8	6.2			
N°200	0.074	21.5	2.2	96.0	4.0			
< 200	-	40.1	4.0	100.0	-			

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo J. Garay Ramos
Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sebastião de Siqueira
ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

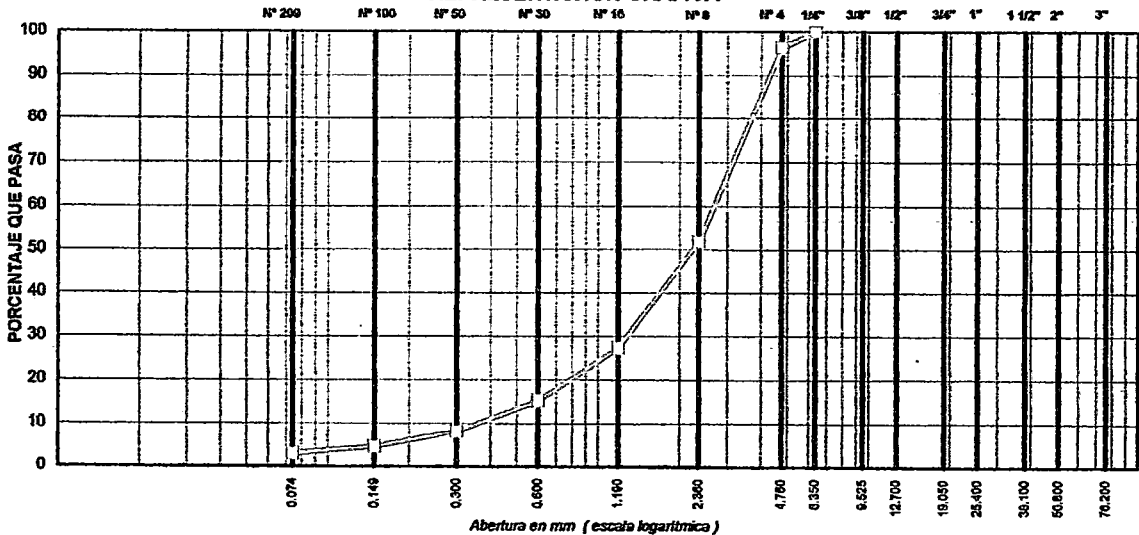
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-83

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	ING° RESP. : S.F.S.
MATERIAL : ARENA CHANCADA - TESIS DE TITULACION	FECHA : 25-oct-05
MUESTRA : M-4	
PROCEDENCIA : CANTERA TRES TOMAS B	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050						PESO TOTAL	928.1 gr
1/2"	12.700							
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100.0			
N° 4	4.760	34.9	3.8	3.8	96.2			
N° 8	2.360	412.8	44.5	48.2	51.8		MOD.FINEZA TOTAL	3.97
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117)	2.94 %
N° 16	1.190	228.1	24.6	72.8	27.2			
N° 30	0.600	112.2	12.1	84.9	15.1			
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300	65.1	7.0	91.9	8.1			
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	32.8	3.5	95.5	4.5			
N°200	0.074	14.9	1.6	97.1	2.9			
< 200	-	27.3	2.9	100.0	-			

REPRESENTACION GRAFICA



SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos



NIPPON KOEI
 INGENIEROS

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

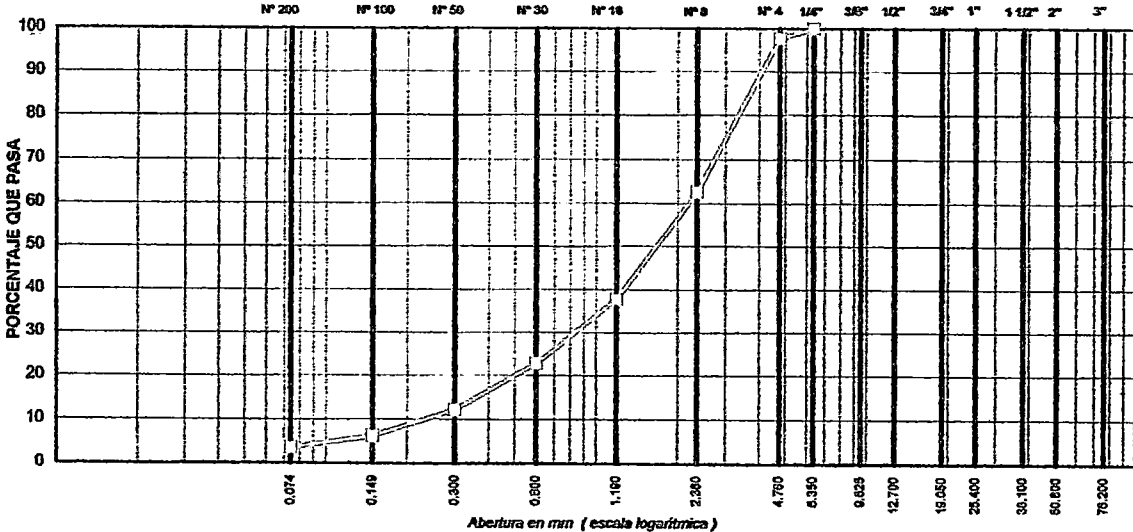
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: ARENA CHANCADA - TESIS DE TITULACION	FECHA	25-oct-05
MUESTRA	: M-5		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	1/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050							
1/2"	12.700							
3/8"	9.525							
1/4"	6.350				100.0			
N° 4	4.760	19.8	2.4	2.4	97.6		PESO TOTAL	819.5 gr
N° 8	2.360	287.2	35.0	37.5	62.5		MOD.FINEZA TOTAL	3.61
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117)	3.50 %
N° 16	1.190	204.6	25.0	62.4	37.6			
N° 30	0.600	121.5	14.8	77.3	22.7			
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300	87.3	10.7	87.9	12.1			
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149	48.6	5.9	93.8	6.2			
N°200	0.074	21.8	2.7	96.5	3.5			
< 200	-	28.7	3.5	100.0	-			

REPRESENTACION GRAFICA



[Signature]
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

A.5.1.3 Gravilla Triturada 3/8"



NIPPON KOEI
INGENIEROS

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL

CESEL
INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

TESISTA : Sergio Quispe E.
ING° RESP. : Sebastiao De Siqueira

OBRA : Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

TRAMO II : Chiclayo - Chongoyape

PROCEDENCIA : Cantera tres Tomas B

ESTUDIO : Teste de Titulación

RESUMEN PROPIEDADES FISICO - MECANICAS DE GRAVILLA CHANCADA 3/8" PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION

INDIC	MUESTRA	FECHA	PROGRESIVA	UBICACION DEL MUESTREO	ANALISIS GRANULOMETRICO PORCENTAJES QUE PASAN TAMIZ				MODULO DE FINESZA	CON 1 CARR. MAS CERRAS FRAC.		CON 2 O MAS CERRAS FRAC.		PESO UNITARIO kg/m3	CHATAS Y ALARGADAS %
					3/8"	1/4"	#4	#8		%	%	%	%		
1	M-1	24-10-05	KM1 CANTERA TRES TOMAS B	KM1 ACOPIO PLANTA ASFALTO	100	48.0	8.3	0.3	5.91						
2	M-2	25-10-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	100	53.8	13.5	0.8	6.89						
3	M-3	25-10-05	CANTERA TRES TOMAS B	ACOPIO PLANTA ASFALTO	100	51.4	12.0	0.5	6.87						
RESUMEN ESTADISTICO															
CANTIDAD															
PROMEDIO															
DEVIACION STD															
VALORES LIMITES ESTADISTICOS															
MAX															
MIN															
VALORES LIMITES ESPECIFICADOS															
MAX															
MIN															

Sergio Quispe
SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sebastiao De Siqueira
Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

Sebastiao De Siqueira
ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

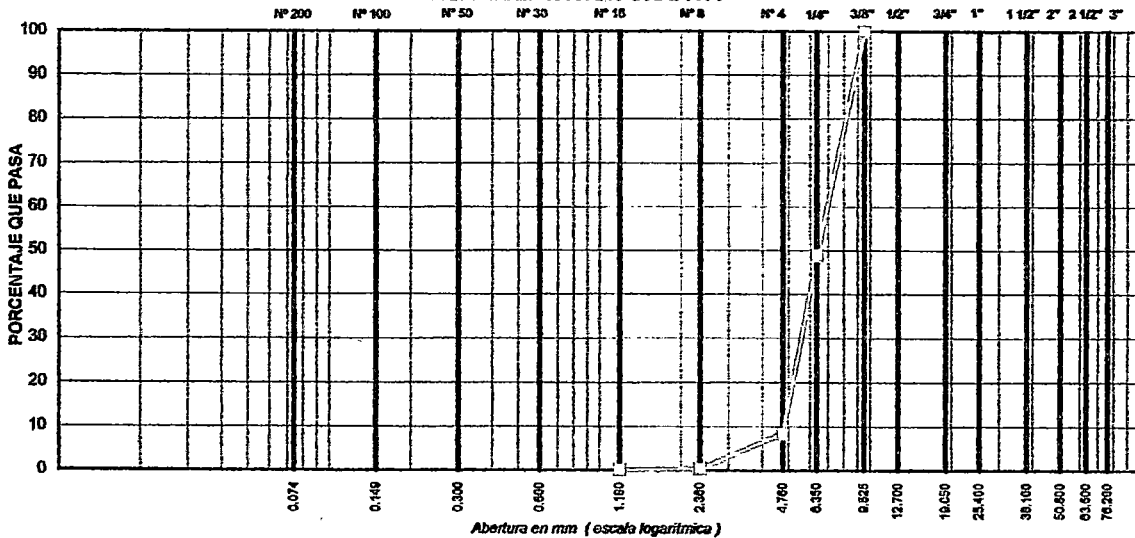
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRAVILLA CHANCADA PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA	24-oct-05
MUESTRA	: M-1		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/8"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050						PESO TOTAL	1903.6 gr
1/2"	12.700							
3/8"	9.525				100.0			
1/4"	6.350	974.6	51.2	51.2	48.8			
N° 4	4.760	770.6	40.5	91.7	8.3			
N° 8	2.360	153.2	8.0	99.7	0.3		MOD.FINEZA TOTAL	5.91
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117)	%
N° 16	1.190	5.2	0.3	100.0	0.0			
N° 30	0.600							
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300							
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149							
N°200	0.074							
< 200	-							

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo Garayza
 Sr. ALFREDO GARAYZA

Sebastião de Siqueira
 ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

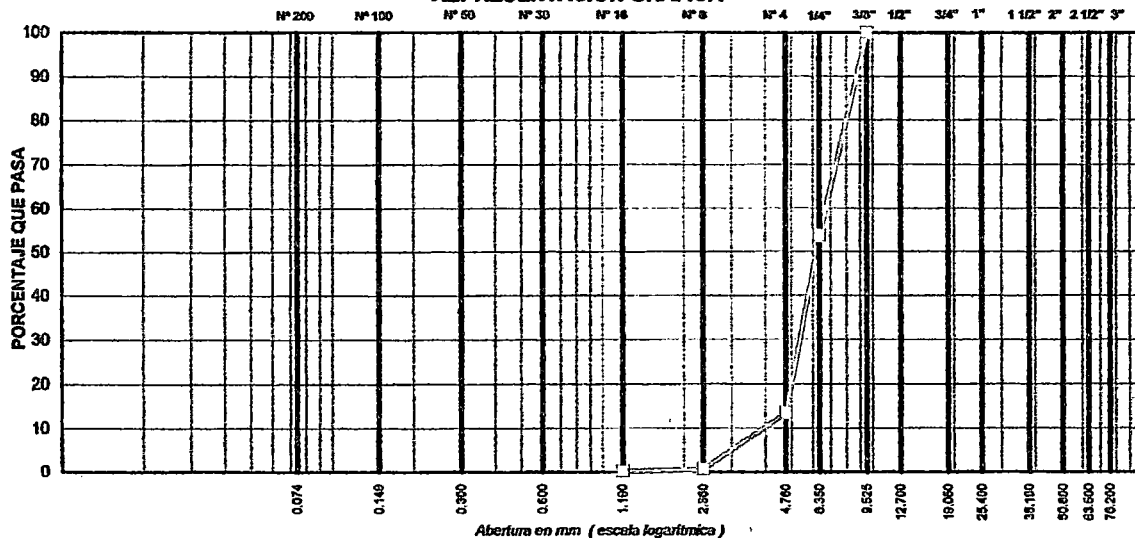
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	ING° RESP. : S.F.S.
MATERIAL : GRAVILLA CHANCADA PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA : 25-oct-05
MUESTRA : M-2	
PROCEDENCIA : CANTERA TRES TOMAS B	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/8"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050						PESO TOTAL	2431.1 gr
1/2"	12.700							
3/8"	9.525				100.0			
1/4"	6.350	1124.1	46.2	46.2	53.8			
N° 4	4.760	979.7	40.3	86.5	13.5			
N° 8	2.380	313.0	12.9	99.4	0.6		MOD.FINEZA TOTAL	5.86
N° 10	2.000						TAMIZ # 200 (ASTM C-117)	%
N° 16	1.190	14.3	0.6	100.0	0.0			
N° 30	0.600							
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300							
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA	
N°100	0.149							
N°200	0.074							
< 200	-							

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo J. Garay Ramos
 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Ing. Sebastián de Siqueira
 ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

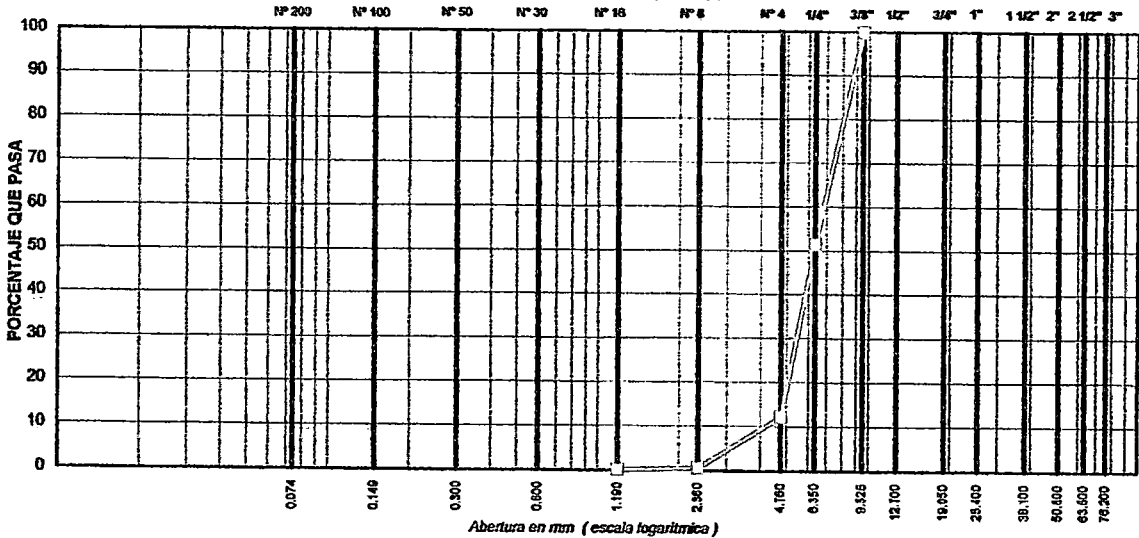
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRAVILLA CHANCADA PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 25-oct-05
MUESTRA	: M-3		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO 3/8"
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						PESO TOTAL 3352.1 gr
3/8"	9.525				100.0		
1/4"	6.350	1628.1	48.6	48.6	51.4		
N° 4	4.760	1320.9	39.4	88.0	12.0		
N° 8	2.360	386.8	11.5	99.5	0.5		MOD.FINEZA TOTAL 5.87
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117) %
N° 16	1.190	16.3	0.5	100.0	0.0		
N° 30	0.600						
N° 40	0.425						OBSERVACION:
N° 50	0.300						
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA
N°100	0.149						
N°200	0.074						
< 200	-						

REPRESENTACION GRAFICA



SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.5.1.4 Grava Triturada 3/4"



NIPPON KOEI
REGIONAL ADMINISTRACION GENERAL DE CHICLAYO

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL

CESEL INGENIEROS

OBRA : Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape
TRAMO II : Chiclayo - Chongoyape
PROCEDENCIA : Cantona Uca Toma B
ESTUDIO : Tesis de Titulación

TESISTA : Sergio Quispe E.
ING* RESP. : Sebastian De Siquiera

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

RESUMEN PROPIEDADES FISICO - MECANICAS DE LA PIEDRA CHANCADA 3/4" PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION

MUESTRA	FECHA	PROGRESIVA	UBICACION DEL MUESTREO	ANALISIS GRANULOMETRICO PORCENTUALES QUE PASAN TAMIZ					MODULO DE FRICSA	CON 1 CERA FRAC. %	CON 2 CERAS FRAC. %	PESO UNITARIO kg/m ³		CHATAS Y ALICORNADAS %
				3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 6				SUELTO	COMPACTADO	
1	M-1	24-10-05	100	100	71.1	25.9	0.5	0.2	0.73					
2	M-2	25-10-05	100	100	68.4	30.5	2.4	2.3	6.65					
3	M-3	25-10-05	100	100	66.4	24.4	0.1	0.1	6.75					
RESUMEN														
CANTIDAD														
PROMEDIO														
DESVIACION STD														
VALORES LIMITES ESTADISTICO														
MAX														
MIN														
VALORES LIMITES ESPECIFICADOS														
MAX														
MIN														

S. Quispe

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo A. Garay Ramos
Sr. ALFREDO A. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

Sebastian De Siquiera
ING. SEBASTIAO DE SIQUIERA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

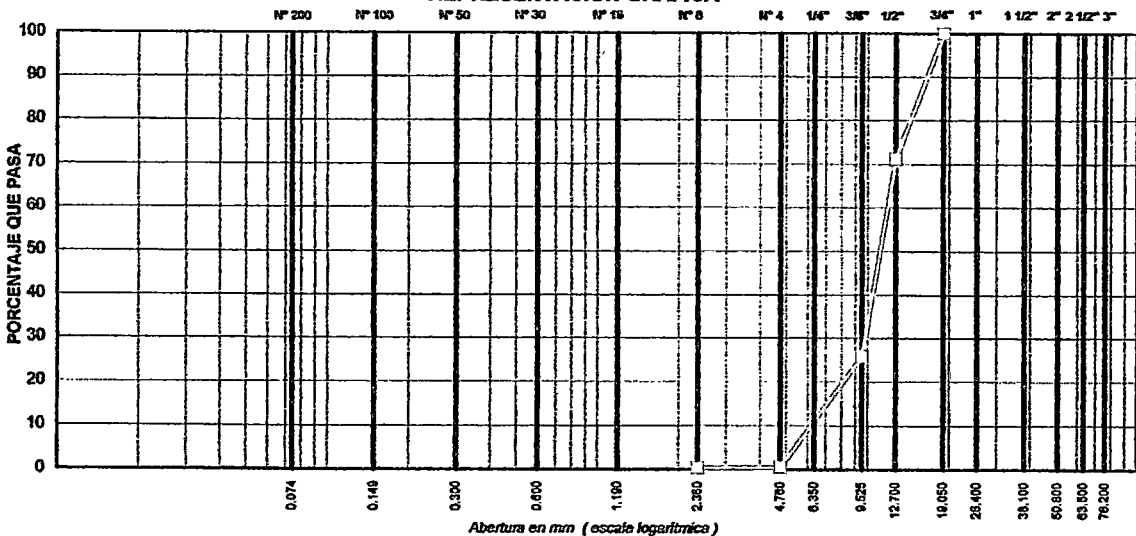
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRAVA CHANCADA PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA	24-oct-05
MUESTRA	: M-1		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0			
1/2"	12.700	1032.1	28.9	28.9	71.1		PESO TOTAL	3565.3 gr
3/8"	9.525	1611.5	45.2	74.1	25.9			
1/4"	6.350							
N° 4	4.760	905.0	25.4	99.5	0.5			
N° 8	2.360	9.8	0.3	99.8	0.2		MOD.FINEZA TOTAL	6.73
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117)	%
N° 16	1.190	6.9	0.2	100.0	0.0			
N° 30	0.600							
N° 40	0.425						OBSERVACION:	
N° 50	0.300							
N° 80	0.180							
N°100	0.149							
N°200	0.074							
< 200	-							

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo Garay Ramos
 Sr. ALFREDO GARAY RAMOS

Sebastião de Siqueira
 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
ENGINEERING CONSULTANTS

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

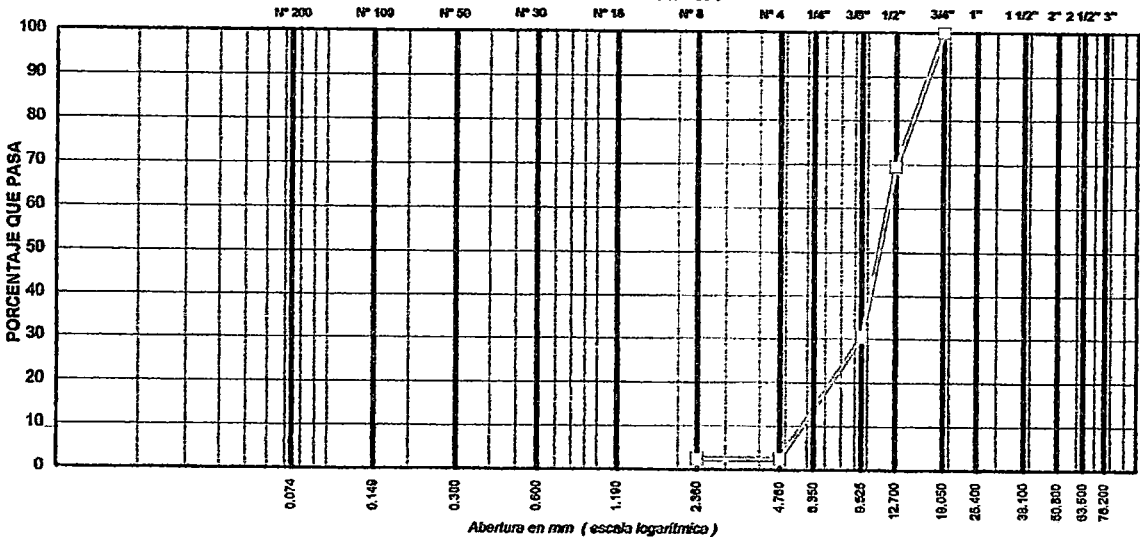
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO	
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.O.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	ING° RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRAVA CHANCADA PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 25-oct-05
MUESTRA	: M-2		
PROCEDENCIA	: CANTERA TRES TOMAS B		

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO 3/4"
			retenido	acumulado	que pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050				100.0		PESO TOTAL 3369.2 gr
1/2"	12.700	1029.8	30.6	30.6	69.4		
3/8"	9.525	1313.3	39.0	69.5	30.5		
1/4"	6.350						
N° 4	4.760	945.8	28.1	97.6	2.4		
N° 8	2.360	2.2	0.1	97.7	2.3		MOD.FINEZA TOTAL 6.65
N° 10	2.000						TAMIZ # 200(ASTM C-117) %
N° 16	1.190	78.1	2.3	100.0	0.0		
N° 30	0.600						
N° 40	0.425						OBSERVACION:
N° 50	0.300						
N° 80	0.180						MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA
N°100	0.149						
N°200	0.074						
< 200	-						

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sebastiao de Siqueira
 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

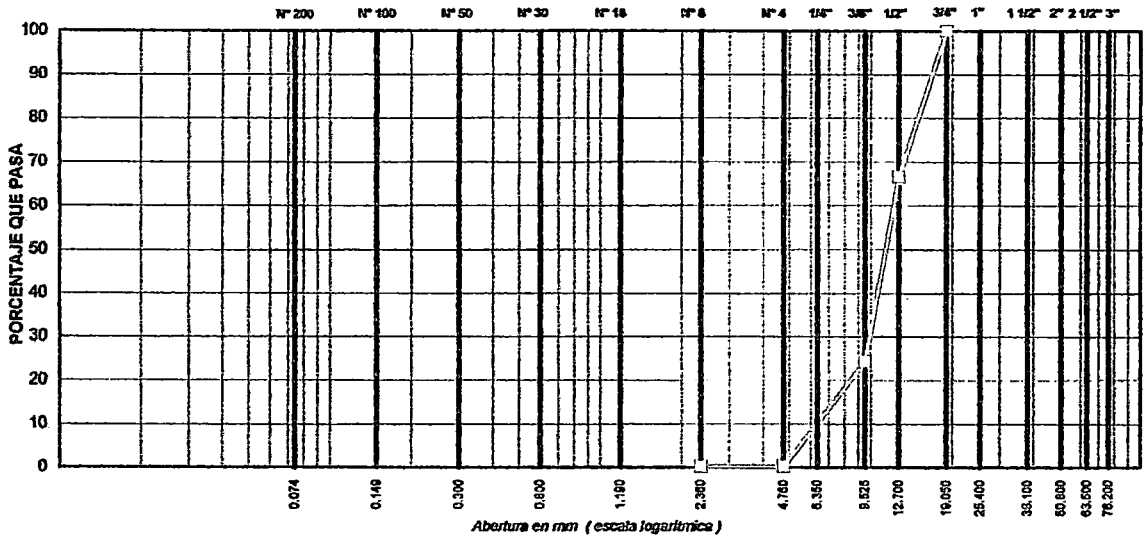
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

MTC E204 - ASTM C 136-93

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO
TRAMO II : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR : CHICLAYO PERU	ING° RESP. : S.F.S.
MATERIAL : GRAVA CHANCADA PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	FECHA : 25-oct-05
MUESTRA : M-3	
PROCEDENCIA : CANTERA TRES TOMAS B	

TAMIZ ASTM	Abertura mm	PESO retenido	PORCENTAJE			ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			retenido	acumulado	que pasa		TAMAÑO MAXIMO	3/4"
3"	76.200							
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.050				100.0			
1/2"	12.700	995.3	33.6	33.6	66.4	PESO TOTAL	2965.3	gr
3/8"	9.525	1247.3	42.1	75.6	24.4			
1/4"	6.350							
N° 4	4.760	719.0	24.2	99.9	0.1			
N° 8	2.360	1.3	0.0	99.9	0.1	MOD.FINEZA TOTAL	6.75	
N° 10	2.000					TAMIZ # 200(ASTM C-117)	%	
N° 16	1.190	2.4	0.1	100.0	0.0			
N° 30	0.600							
N° 40	0.425					OBSERVACION:		
N° 50	0.300							
N° 80	0.180					MUESTRA TOMADA EN ACOPIO DE PLANTA CHANCADORA		
N°100	0.149							
N°200	0.074							
< 200	-							

REPRESENTACION GRAFICA



Sergio Quispe Espinoza
SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Alfredo Garay Ramiro
Sr. ALFREDO GARAY RAMIRO

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Ing. Sebastián de Siqueira
ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.5.2 Ensayos de Verificación de la Calidad de los Agregados

A.5.2.1 Mezcla de Arenas

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI
CONSULTORIA EN INGENIERIA Y ARQUITECTURA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS
 (NORMA AASHTO T-84, T-85)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
TRAMO II	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	ING. RESP.	: S.F.S
MATERIAL	: MEZCLA DE ARENAS PARA ASFALTO	FECHA	: OCT-2005
CANTERA	: TRES TOMA B	TESIS DE TITULACION	CERTIFICADO

DATOS DE LA MUESTRA

AGREGADO FINO

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire) (gr)	477.7	497.4		
B	Peso Frasco + agua	660.0	688.5		
C	Peso Frasco + agua + A (gr)	1137.7	1185.9		
D	Peso del Mat. + agua en el frasco (gr)	959.0	1000.0		
E	Vol de masa + vol de vacio = C-D (gr)	178.7	185.9		
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C) (gr)	468.7	488.2		
G	Vol de masa = E - (A - F) (gr)	189.7	178.7	PROMEDIO	
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.623	2.626	2.624	
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.673	2.676	2.674	
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.762	2.763	2.762	
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	1.92	1.88	1.90%	

Observaciones:

- * Arena Chancada = 28%
- * Arena Natural = 0%

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

EQUIVALENTE DE ARENA
 AASSTO T - 196

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA DE ARENAS PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION
 CANTERA : TRES TOMAS B
 Nro REGIST. :

N° CERTIF:
 TESISTA : S.Q.E.
 ING. RESP. : S.F.S.
 FECHA : 26/10/2005


DESCRIPCION	1	2	3	4
	PASA LA MALLA #4	PASA LA MALLA #4	PASA LA MALLA #4	PASA LA MALLA #4
MUESTRA N°	1	2	3	
HORA DE ENTRADA	10:10	10:13	10:16	
HORA DE SALIDA	10:20	10:23	10:26	
HORA DE ENTRADA	10:22	10:25	10:28	
HORA DE SALIDA	10:42	10:45	10:48	
ALTURA MAXIMA DE MAT. FINO (cm)	5.50	5.60	5.40	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3.40	3.60	3.50	
EQUIVALENTE DE ARENA	62	64	65	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO		63.6		
EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO		45%		
CUMPLE		SI		

OBSERVACIONES:

Mezcla de arenas: ACH=28% AN=0%


 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG
 AASHTO T-89 Y T-90

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : ARENA PARA ASFALTO
 CANTERA : TRES TOMAS B
 Nro REGIST. :

N° CERTIF:
 TESISTA : S.Q.E.
 ING. RESP. : S.F.S.
 FECHA : 27/10/2005

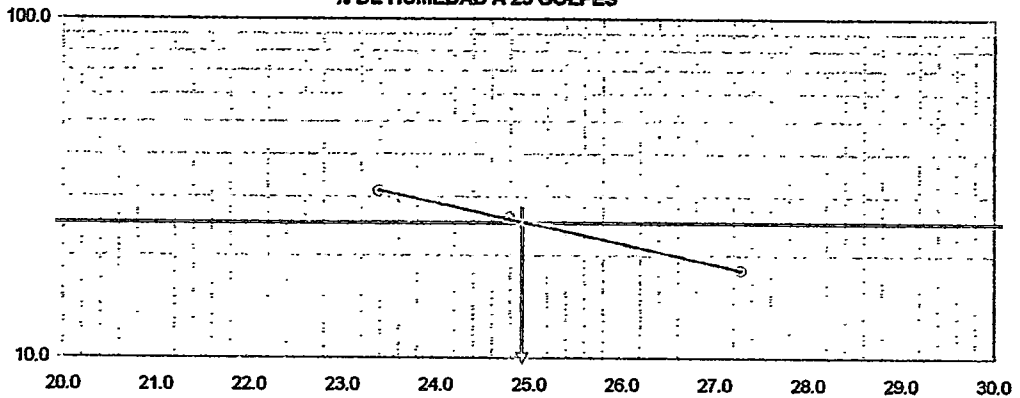
LÍMITE LIQUIDO (MATERIAL < 200)

N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HUMEDO	28.19	30.05	29.77
TARRO + SUELO SECO	24.98	26.20	25.91
AGUA	3.21	3.85	3.86
PESO DEL TARRO	13.21	10.67	9.40
PESO DEL SUELO SECO	11.77	15.53	16.51
% DE HUMEDAD	27.27	24.79	23.38
N° DE GOLPES	18	26	31

LÍMITE PLASTICO

N° TARRO	4	5
TARRO + SUELO HUMEDO	16.55	17.51
TARRO + SUELO SECO	15.62	16.76
AGUA	0.93	0.75
PESO DEL TARRO	11.33	13.40
PESO DEL SUELO SECO	4.29	3.36
% DE HUMEDAD	21.68	22.32

% DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LIQUIDO	24.90
LÍMITE PLASTICO	22.00
INDICE DE PLASTICIDAD	2.90

Observaciones:

Mezcla de arena * Arena Chancada = 28%
 * Arena Natural = 0%

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de S.

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIÁN DE LA ROSA



NIPPON KOEI
INCORPORATED

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PESO UNITARIO
 AASHTO T-19

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	Nº CERTIF:	
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA :	S.O.E.
MATERIAL	: MEZCLA DE ARENAS PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	ING. RESP. :	S.F.S.
CANTERA	: TRES TOMAS B	FECHA :	27/10/2005
No REGIST.	:		

PESO UNITARIO SUELTO

DESCRIPCION	Und.	IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Peso del recipiente + muestra	(Kg)	7572	7680	7675	
Peso del recipiente	(Kg)	2844	2844	2844	
Peso de la muestra	(Kg)	4728	4836	4831	
Volumen	(m ³)	2818	2818	2818	
Peso unitario suelto	(Kg/m ³)	1678	1715	1714	1703

PESO UNITARIO VARILLADO


DESCRIPCION	Und.	IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Peso del recipiente + muestra	(Kg)	8080	6001	8100	
Peso del recipiente	(Kg)	2844	2844	2844	
Peso de la muestra	(Kg)	5236	5157	5258	
Volumen	(m ³)	2818	2818	2818	
Peso unitario compactado	(Kg/m ³)	1858	1830	1865	1851

Observaciones :

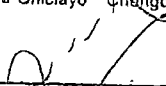
- * Arena Chancada = 28%
- * Arena Natural = 0%


 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr. ALVARO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

A.5.2.2 Mezcla de Gravas

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI
CONSULTORIA EN INGENIERIA Y ARQUITECTURA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

(NORMA AASHTO T-84, T-85)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	ING. RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: GRAVA CHANCADA PARA ASFALTO	FECHA	: 28 - OCT - 2005
CANTERA	: TRES TOMA B	TESIS DE TITULACION	CERTIFICADO :

DATOS DE LA MUESTRA

AGREGADO GRUESO					
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	2037	2158		
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	1295	1370		
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B (gr)	742.0	768		
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	2024	2141		
E	Vol. de masa = C - (A - D) (gr)	729.0	771.0	PROMEDIO	
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.728	2.717	2.722	
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.745	2.739	2.742	
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.776	2.777	2.777	
	% de absorción = ((A - D) / D * 100)	0.642	0.794	0.72%	

Observaciones:

- * Gravilla 3/8" = 50%
- * Grava 3/4" = 20%

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

AASHTO T-96

OBRA :	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO :	
TRAMO :	CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA :	S.Q.E.
MATERIAL :	MEZCLA DE GRAVAS PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	ING° RESP. :	S.F.S.
CANTERA :	TRES TOMAS B	FECHA :	14/11/2005
Nro REGIST. :			

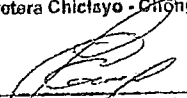
TAMIZ	GRADACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"		2500.50		
3/8"		2501.00		
N° 4				
PESO TOTAL		5,001.5		
Retenido en la malla N° 12		4,402.2		
Que pasa en la malla N° 12		599.3		
N° de Esferas		11		
Peso de las Esferas				
% Desgaste		12.0%		

OBSERVACIONES :

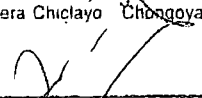
Mezcla de Gravas:	Grava Triturada 3/4" = 20%
	Gravilla Triturada 3/8" = 50%
Material muestreado de acopio de planta industrial	


 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIÁN DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI
INGENIERIA Y CONSULTORIA

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

ASTM - D 693

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE

N° REGISTRO :

TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE

TESISTA : S.Q.E.

MATERIAL : MEZCLA DE GRAVAS PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION

ING. RESP. : S.F.S.

CANTERA : TRES TOMAS B

FECHA : 14/11/2005

Nro REGIST. :

PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS

TAMIZ	PESO RET. (gr.)	PESO (gr.)	%
2 1/2" - 2"			
1" - 3/4"			
3/4" - 1/2"	1200	43.0	3.6
1/2" - 3/8"	300	66.0	22.0
Peso Total (gr.)	1500	109.0	7.3

Observaciones:

Mezcla de gravas. Grava Triturada 3/4" = 20%

Gravilla Triturada 3/8" = 50%

Material muestreado de ejemplo de planta industrial.

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO
 (NORMA ASSHTO T-19)

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFICADO :
TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
MATERIAL : MEZCLA DE GRAVAS PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION	ING° RESP. : S.F.S.
CANTERA : TRES TOMAS B	FECHA : 14/11/2005
Nro REGST. : :	

PESO UNITARIO SUELTO						
DESCRIPCION	Und.	IDENTIFICACION				Promedio
		1	2	3		
Peso del recipiente + muestra	(Kg)	21100	21700	21300		
Peso del recipiente	(Kg)	7115	7115	7115		
Peso de la muestra	(Kg)	13985	14585	14185		
Volamen	(m ³)	9469	9469	9469		
Peso unitario suelto	(Kg/m ³)	1477	1540	1498		1555

PESO UNITARIO VARILLADO						
DESCRIPCION	Und.	IDENTIFICACION				Promedio
		1	2	3		
Peso del recipiente + muestra	(Kg)	22440	21660	22900		
Peso del recipiente	(Kg)	7115	7115	7115		
Peso de la muestra	(Kg)	15325	14845	15985		
Volamen	(m ³)	9469	9469	9469		
Peso unitario compactado	(Kg/m ³)	1618	1568	1675		1621


Observaciones :

Mazda de gravas: Grava Titurada 3/4" = 20%
 Grava Titurada 3/8" = 50%

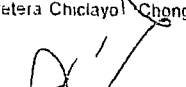
Material muestreado de acople de planta Industrial.


 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIÃO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES NACIONAL - PROVIAS NACIONAL



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**ENSAYO DE PARTICULAS CON CARAS FRACTURADAS
 ASTM - D 5821**

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA DE GRAVAS PARA ASFALTO - TESIS DE TITULACION
 CANTERA : TRES TOMAS B
 Nro REGIST:

N° REGISTRO :
 TESISTA : S.Q.E.
 ING. RESP. : S.F.S.
 FECHA : 14/11/2005

a.- CON UNA CARA FRACTURADA

TAMANO DEL AGREGADO		PEBO POR MALLAS (A)	1 CARA FRACTURADA (B)	PORCENTAJE POR MALLAS (C) (%)	PORCENTAJE POR MALLAS (D) (%)	(E) = (C) * D (%)	(E)/D
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ						
		(gramos)	(gramos)	$C = ((B/A) * 100)$			
3/4"	1/2"	1200	1121	93.4	13.6	1270.5	
1/2"	3/8"	300	270.0	90.0	19.2	1728.0	
TOTAL		1500	1391		32.8	2598.5	91.4

b.- CON DOS CARAS FRACTURADAS

TAMANO DEL AGREGADO		PEBO POR MALLAS (A)	2 CARAS FRACTURADAS (B)	PORCENTAJE POR MALLAS (C) (%)	PORCENTAJE POR MALLAS (D) (%)	(E) = (C) * D (%)	(E)/D
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ						
		(gramos)	(gramos)	$((B/A) * 100)$			
3/4"	1/2"	1200	631	52.6	13.6	716.1	
1/2"	3/8"	300	225	75.0	19.2	1440.0	
TOTAL		1500	856		32.8	2156.1	65.7

Observaciones:

Mezcla de gravas: Grava Triturada 3/4" = 20%
 Grava Triturada 3/8" = 50%
 Material muestreado de acopio de planta industrial.

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO Y GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

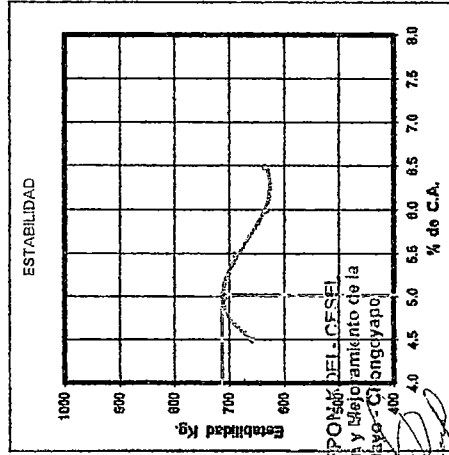
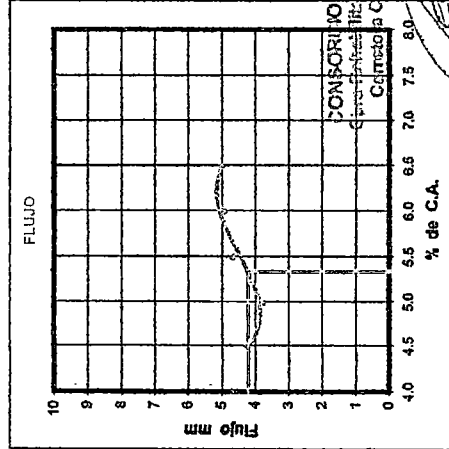
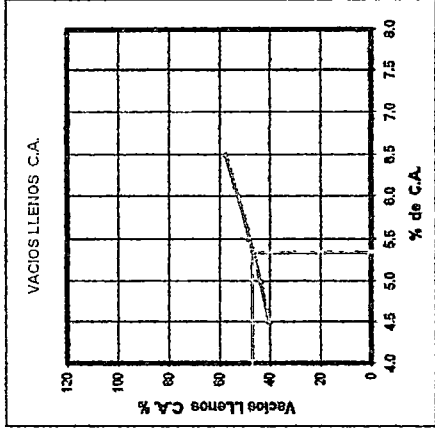
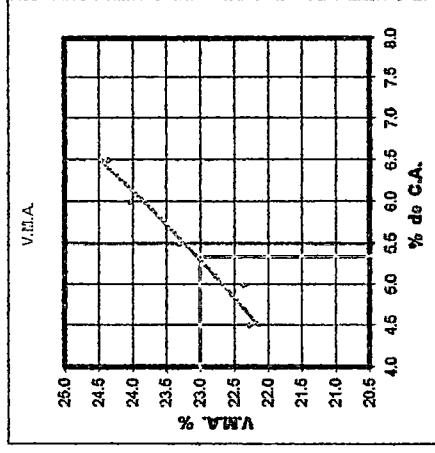
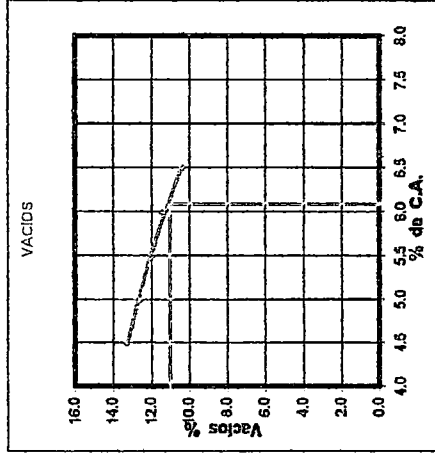
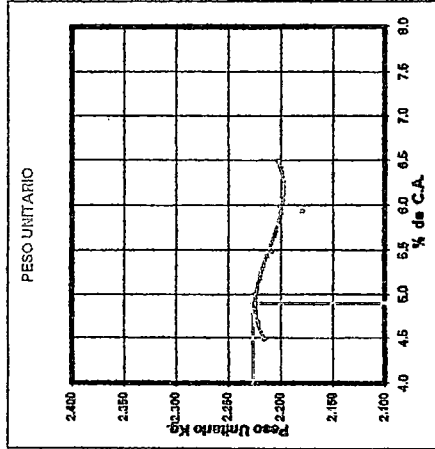
A.5.3 Diseño de Mezcla Marshall

MAC-GG-AR

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHIGLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO : CHIGLAYO - CHONGOYAPE
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION
CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
ING. RESP. : S.F.S.
FECHA : 14/11/05
CERTIFICADO :



RESUMEN DE RESULTADOS

	-0.3%	ÓPTIMO %C.A.	+0.3%	ESPECIFICACION
GOLPES POR LAO	76	76	76	75
CEMENTO ASFALTICO	6.04	6.34	6.64	(+/- 0.3%)
PESO UNITARIO	2228	2328	2328	
VACIOS	11.0	23.0	23.0	3 - 5
V.M.A.	23.0	23.0	23.0	Mín 14
VACIOS LLENOS CON C.A.	47.0	47.0	47.0	
FLUJO	4.2	4.2	4.2	2 - 4
ESTABILIDAD	713	713	713	Mín. 580
INDICE DE COMPACTIBILIDAD	1698	1698	1698	1700 - 3500
ESTABILIDAD RETENIDA				Mín. 5
DOSEIFICACION				Mín. 75

Observaciones:
 * Ligante Asfáltico Usado con caucho GCH en 18% en peso.
 * Tiempo de reacción: 60 minutos
 * Temperatura de reacción: 100-100°C

Grava Triturada 3/4" Cantera "Tres Tomas B"
 Gravel 3/8" Cantera "Tres Tomas B"
 Arena Zarandeada 3/8" Cantera "Tres Tomas B"
 Arena Zarandeada 3/16" Cantera "Tres Tomas B"
 Relleno mineral FILLER (Cal Hidratada)
 Aditivo mejorador de adherencia
 Cemento Asfáltico

20%
 50%
 20%
 28%
 2%
 1%
 1%

CONSORCIO NIPPON KOEI
 S.A. S. C.
 CHIGLAYO - CHONGOYAPE

CESEL
 S. R. L.
 CHIGLAYO - CHONGOYAPE

PEN 60-70

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

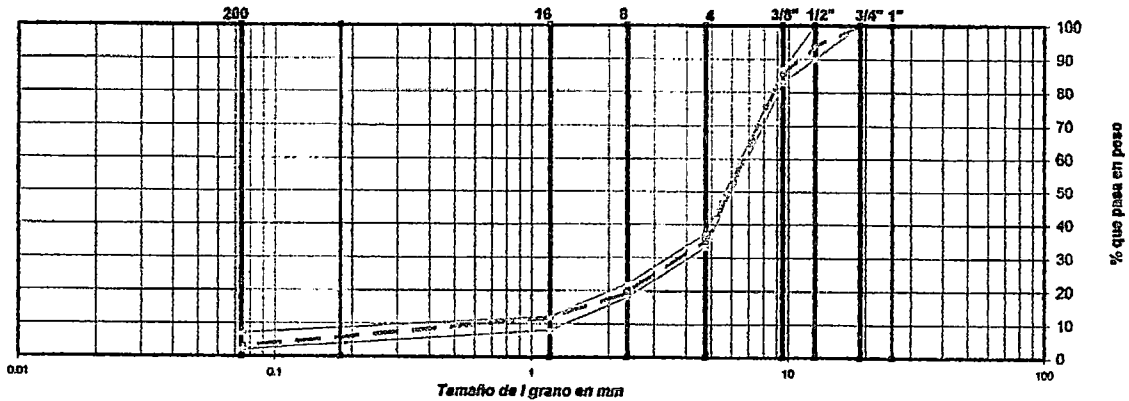
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION
 CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
 ING. RESP. : S.F.S.
 FECHA : 14-11-05
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 4.5 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO	
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.750	2.000	0.425	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.
PESO RETENIDO	gr.		631.1	851.2	5090.5	358.8	172.3	199.7	70.3	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.
RETENIDO PARCIAL	%		8.2	8.4	50.3	15.7	7.6	8.7	3.1	Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%		6.2	14.6	64.9	80.6	88.2	96.9	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	93.8	85.4	35.1	19.4	11.8	3.1		Peso final de Filtro	gr.
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100	83 - 87	33 - 37	18 - 22	8 - 12	2 - 7		Peso de Filler	gr.
ASFALTO LIQUIDO										FRACCION	%
TRAMO ASFALTADO											1000.1
										PESO TOTAL	gr.
											10125.5

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	4.5	4.5	4.5	4.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	61.99	61.99	61.99		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	31.60	31.60	31.60		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.91	1.91	1.91		
5 PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.750	2.750	2.750		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.693	2.693	2.693		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1218.0	1222.6	1216.5		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1244.5	1250.5	1248.3		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	702.0	696.9	691.6		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	542.6	553.7	554.5		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	542.6	553.7	554.5		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/13)	gr/c.c.	2.243	2.208	2.194	2.216	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.555	2.555	2.555		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	12.2	13.6	14.1	13.3	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.723	2.723	2.723		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(18/19)	%	21.3	22.5	23.0	22.3	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	42.8	39.7	38.6	40.4	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.747	2.747	2.747		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.34	0.34	0.34		
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	4.18	4.18	4.18		
25 FLUJO	mm	4.5	4.3	4.0	4.3	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	617.3	681.2	681.2		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.93	0.89	0.89		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	700	000	000	650	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	1600	1427	1010	1044	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

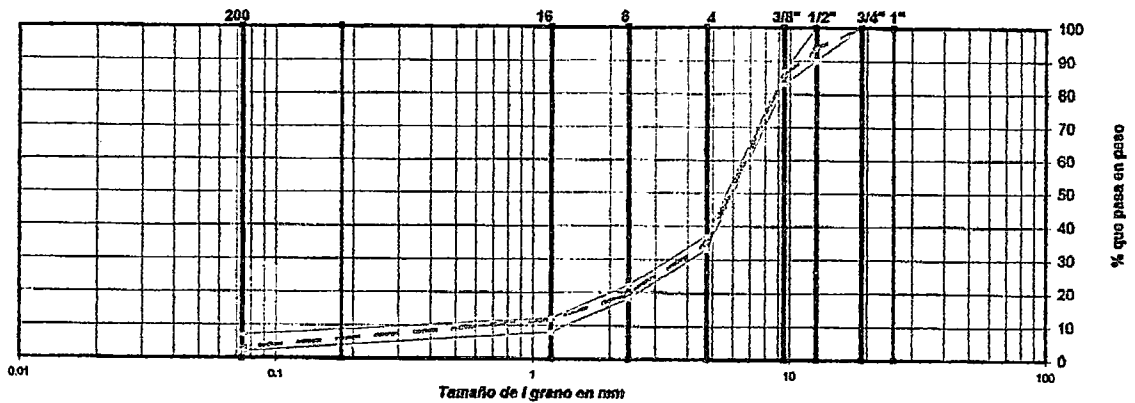
DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

OBRA	: REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA	: S.Q.E.
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	ING. RESP.	: S.F.S.
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION	FECHA	: 14-11-05
CANTERA	: TRES TOMAS B	CERTIFICADO	:

Diseño C.A. 5.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO									LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 6	Nº 18	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.625	4.760	2.000	0.425	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		631.1	851.2	5090.5	359.8	172.3	198.7	70.3	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		8.2	8.4	50.3	15.7	7.6	8.7	3.1	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		6.2	14.6	64.9	80.6	88.2	96.9	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	93.8	85.4	35.1	19.4	11.6	3.1		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100	83 - 87	33 - 37	15 - 22	8 - 12	2 - 7		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO										FRACCION	%	300.1
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	gr.	10126.5

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.0	5.0	5.0	5.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	61.67	61.67	61.67		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	31.43	31.43	31.43		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.90	1.90	1.90		
5 PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.750	2.750	2.750		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.693	2.693	2.693		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1211.5	1215.6	1203.1		
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1238.6	1242.6	1230.8		
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	694.1	696.5	690.0		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	544.5	546.1	540.8		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	544.5	546.1	540.8		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.225	2.226	2.225	2.225	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.546	2.546	2.546		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	12.6	12.6	12.6	12.6	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.723	2.723	2.723		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(18/19)	%	22.4	22.3	22.4	22.4	Mín. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	43.6	43.7	43.6	43.7	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.760	2.760	2.760		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*18)	%	0.51	0.51	0.51		
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	4.52	4.52	4.52		
25 FLUJO	mm	3.5	3.8	4.0	3.5	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	762.9	851.3	701.7		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.93	0.89	0.93		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	709	768	663	707	Mín. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	2027	2020	1931	1993	1700 - 3900

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



CESEL INGENIEROS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

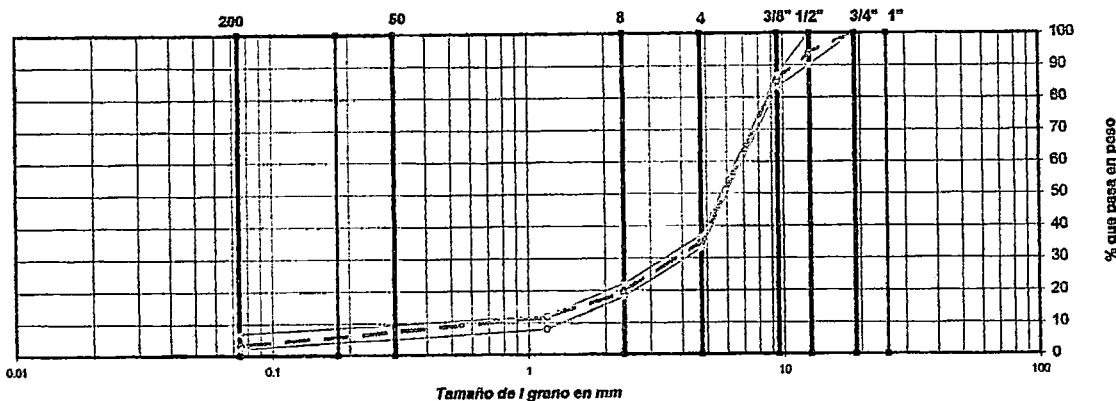
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION
 CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
 ING. RESP. : S.F.S.
 FECHA : 14-11-05
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 5.5 %

ENSAYO GRANULOMETRICO									LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 60	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. S/Lavar	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		631.1	851.2	5090.5	358.8	172.3	198.7	70.3	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		8.2	8.4	50.3	15.7	7.8	8.7	3.1	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		6.2	14.6	64.9	80.6	88.2	96.9	100.0	Peso inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	93.8	85.4	35.1	19.4	11.8	3.1		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100	83 - 87	33 - 37	18 - 22	8 - 12	2 - 7		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO										FRACCION	%	800.11
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	gr.	10126.6

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	61.34	61.34	61.34		
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	31.27	31.27	31.27		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.89	1.89	1.89		
5 PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.750	2.750	2.750		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.693	2.693	2.693		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1226.9	1226.0	1207.6		
10 PESO DE BRIQUETA+PARAFINA AL AIRE	gr	1253.7	1253.3	1237.9		
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN AGUA	gr	698.8	700.8	688.4		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA+PARAFINA (10-11)	c.c.	554.9	552.5	549.5		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-8)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	554.9	552.5	549.5		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.211	2.219	2.198	2.209	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.510	2.510	2.510		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	11.9	11.6	12.5	12.0	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.723	2.723	2.723		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(16/19)	%	23.3	23.0	23.7	23.3	Mín. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	48.7	49.5	47.5	48.6	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.740	2.740	2.740		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.24	0.24	0.24		
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	5.28	5.28	5.28		
25 FLUJO	mm	5.0	4.5	4.5	4.7	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	885.3	745.9	698.2		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.89	0.89	0.69		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	780	664	621	691	Mín. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	1576	1475	1381	1477	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

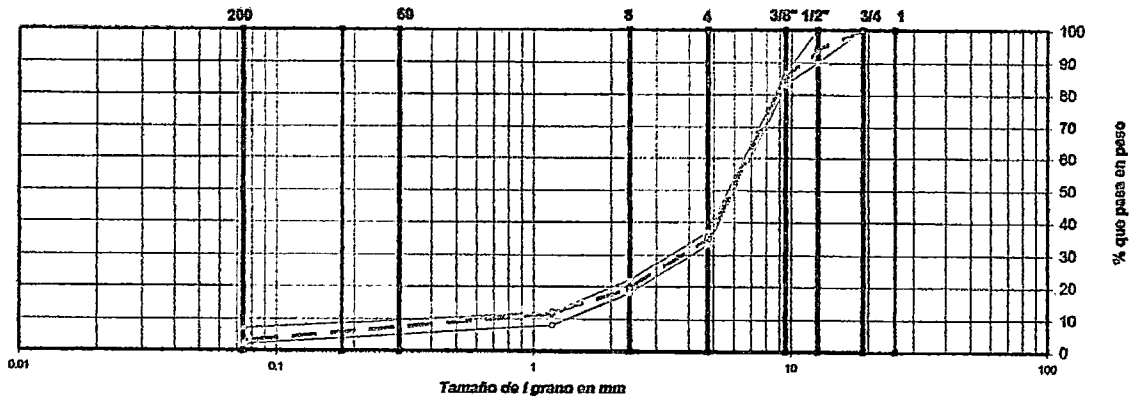
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION
 CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
 ING. RESP. : S.F.S.
 FECHA : 14-11-05
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 6.0 %

ENSAYO GRANULOMETRICO									LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 80	Nº 200	<Nº 200	Peso Mat. S/Laver	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.760	2.000	0.425	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		631.1	851.2	5090.5	359.8	172.3	192.7	70.3	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		6.2	8.4	50.3	15.7	7.8	8.7	3.1	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		6.2	14.8	64.9	80.6	88.2	96.9	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	93.8	85.4	35.1	18.4	11.8	3.1		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100	83 - 87	33 - 37	18 - 22	8 - 12	2 - 7		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO										FRACCION	%	680.1
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	gr.	10125.5

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.0	6.0	6.0	6.0	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	61.02	61.02	61.02	6.0	
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	31.10	31.10	31.10		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.88	1.89	1.88		
5 PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.750	2.750	2.750		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.693	2.693	2.693		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PEGO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1227.5	1221.7	1224.6		
10 PESO DE BRIQUETA+PARAFINA AL AIRE	gr	1255.8	1249.4	1252.6		
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN AGUA	gr	697.5	694.7	695.9		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA+PARAFINA (10-11)	c.c.	558.3	554.7	556.7		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/9e parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	558.3	554.7	556.7		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.189	2.202	2.200	2.200	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.485	2.485	2.485		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	11.5	11.4	11.5	11.4	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.723	2.723	2.723		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(16/19)	%	24.1	24.0	24.1	24.0	Mín. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	52.2	52.6	52.3	52.4	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.731	2.731	2.731		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*5*(22-19))/(22*18)	%	0.12	0.12	0.12		
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)		5.89	5.89	5.89		
25 FLUJO	mm	5.0	4.8	5.0	4.9	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	769.3	701.7	735.7		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.86	0.86	0.86		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	659	603	633	632	Mín. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	1310	1270	1265	1285	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

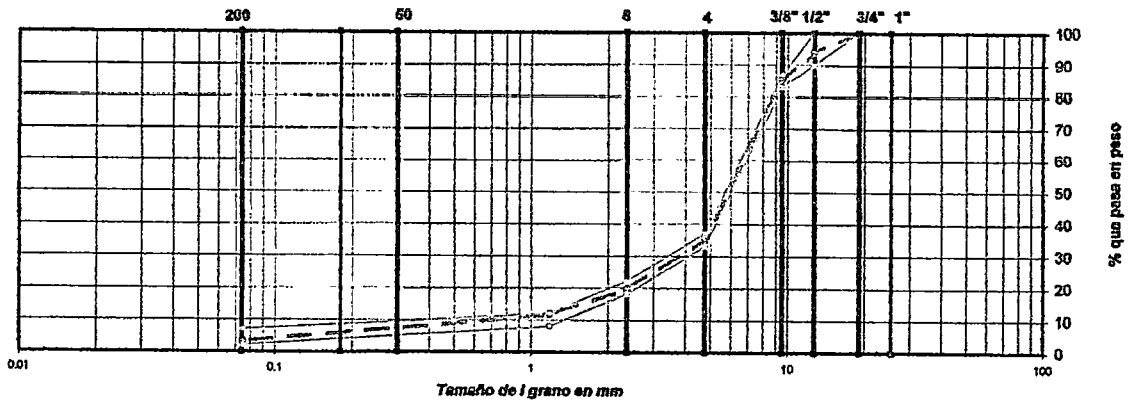
OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION
 CANTERA : TRES TOMAS B

TESISTA : S.Q.E.
 ING. RES. : S.E.S.
 FECHA : 14-11-05
 CERTIFICADO :

Diseño C.A. 6.5 %

ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO		
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200	<Nº 200	Peso Mat. S/Laver	gr.	
ABERTURA EN mm		19.050	12.700	9.525	4.750	2.500	0.425	0.074		Peso Mat. Lavado	gr.	
PESO RETENIDO	gr.		631.1	851.2	5090.5	358.8	172.3	198.7	70.3	Peso Mat. Lav.+Filtro	gr.	
RETENIDO PARCIAL	%		8.2	8.4	50.3	15.7	7.6	8.7	3.1	Peso de Asfalto	gr.	
RETENIDO ACUMULADO	%		9.2	14.6	64.9	80.6	88.2	96.9	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.	
PASA	%	100.0	93.8	85.4	35.1	19.4	11.8	3.1		Peso final de Filtro	gr.	
ESPECIFICACION	%	100	60 - 100	63 - 67	33 - 37	16 - 22	8 - 12	2 - 7		Peso de Filler	gr.	
ASFALTO LIQUIDO										FRACCION	%	600.1
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	gr.	10125.5

REPRESENTACION GRAFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	ESPECIFICACION
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.5	6.5	6.5	6.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	60.69	60.69	60.69	6.5	
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	30.94	30.94	30.94		
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.87	1.87	1.87		
5 PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03		
6 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.750	2.750	2.750		
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.693	2.693	2.693		
8 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		2.383	2.383	2.383		
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1215.2	1213.9	1215.7		
10 PESO DE BRIQUETA+PARAFINA AL AIRE	gr	1234.0	1223.2	1238.6		
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN AGUA	gr	680.7	681.6	679.2		
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA+PARAFINA (10-11)	c.c.	554.2	541.6	559.4		
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.	0.0	0.0	0.0		
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pe parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0		
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO (12-14)	c.c.	554.2	541.6	559.4		
16 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/c.c.	2.193	2.241	2.173	2.202	
17 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041		2.457	2.457	2.457		
18 VACIOS (17-16)*100/17	%	10.8	8.8	11.5	10.4	3 - 5
19 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((2/6)+(3/7)+(4/8))		2.723	2.723	2.723		
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(18/19)	%	24.7	23.0	25.4	24.4	Min. 14
21 VACIOS LLENOS CON C.A. 100*(20-18)/20	%	66.4	61.3	64.5	57.6	
22 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/((100/17)-(1/5))		2.710	2.710	2.710		
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100*S*(22-18))/(22*19)	%	-0.05	-0.05	-0.05		
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(23*(2+3+4)/100)	%	6.55	6.55	6.55		
25 FLUJO	mm	5.0	5.0	5.0	5.0	2 - 4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	765.3	650.8	708.5		
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.89	0.93	0.86		
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	692	615	609	635	Min. 680
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kg/cm	1364	1229	1210	1271	1700 - 3000

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)



NIPPON KOEI
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL

CESEL INGENIEROS

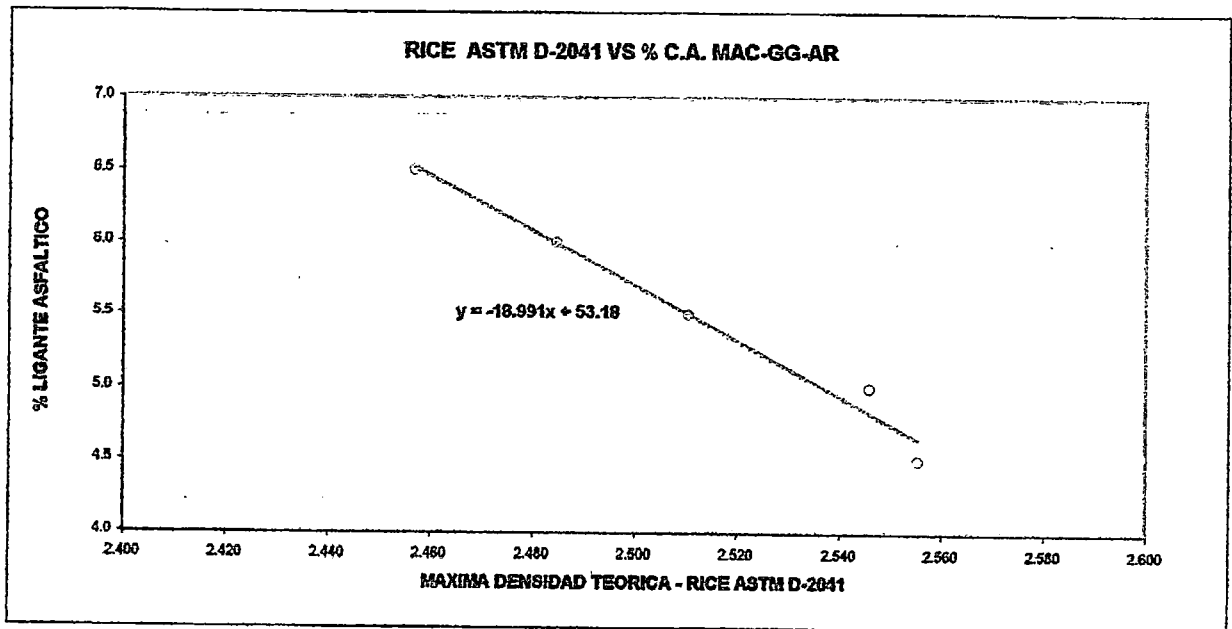
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE - GRAFICO

NTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA	: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE	CERTIFIC. :
TRAMO	: CHICLAYO - CHONGOYAPE	TESISTA : S.Q.E.
LUGAR	: CHICLAYO PERU	FECHA : 14/11/05
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION	ING° RESP.: S.F.S.
CANTERA	: TRES TOMAS B	

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION



Observaciones : _____

SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
Técnico de Suelos y Pavimentos

CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
Carretera Chiclayo - Chongoyape

ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
Ingeniero de Suelos y Pavimentos

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES

PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL (PROVIAS NACIONAL)

**NIPPON KOEI**
CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL**CESEL INGENIEROS****LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS****DENSIDAD MAXIMA TEORICA RICE**

NTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA : REHABILITACION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE CERT. :
 TRAMO : CHICLAYO - CHONGOYAPE TESISTA : S.Q.E.
 LUGAR : CHICLAYO PERU FECHA : 14-11-05
 MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - TESIS DE TITULACION ING° RESP. : S.F.S.
 CANTERA : TRES TOMAS B

DISEÑO DE MEZCLA CAUCHO ASFALTO - MAC-GG-AR - TESIS DE TITULACION

ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5
CEMENTO ASFALTICO	%	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
PESO DEL MATERIAL	gr	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00
PESO DEL AGUA + FRASCO RICE	gr	5153.80	5152.90	5152.50	5152.50	5151.00
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en aire)	gr	6653.80	6652.90	6652.50	6652.50	6651.00
PESO DEL MATERIAL + FRASCO + AGUA (en agua)	gr	6066.80	6063.70	6055.00	6048.80	6040.50
VOLUMEN DEL MATERIAL	cc	587.00	589.20	597.50	603.70	610.50
PESO ESPECIFICO MAXIMO	gr/cc	2.555	2.546	2.510	2.485	2.457
TEMPERATURA DE ENSAYO	°C	25	25	25	25	25
GRAVA 3/4"	%	20	20	20	20	20
GRAVILLA 3/8"	%	50	50	50	50	50
ARENA TRITURADA 1/4"	%	28	28	28	28	28
ARENA NATURAL 1/4"	%	0	0	0	0	0
FILLER	%	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
TIEMPO DE ENSAYO	Min.	20'	20'	20'	20'	20'
FACTOR DE CORRECCION						

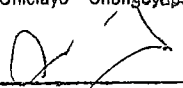
Observaciones :


 SERGIO QUISPE ESPINOZA - TESISTA

 CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 Sr. ALFREDO J. GARAY RAMOS
 Técnico de Suelos y Pavimentos

 CONSORCIO NIPPON KOEI - CESEL
 Obra Rehabilitación y Mejoramiento de la
 Carretera Chiclayo - Chongoyape


 ING. SEBASTIAO DE SIQUEIRA
 Ingeniero de Suelos y Pavimentos

ANEXO B
CERTIFICADOS DE EQUIPOS Y
MATERIALES UTILIZADOS

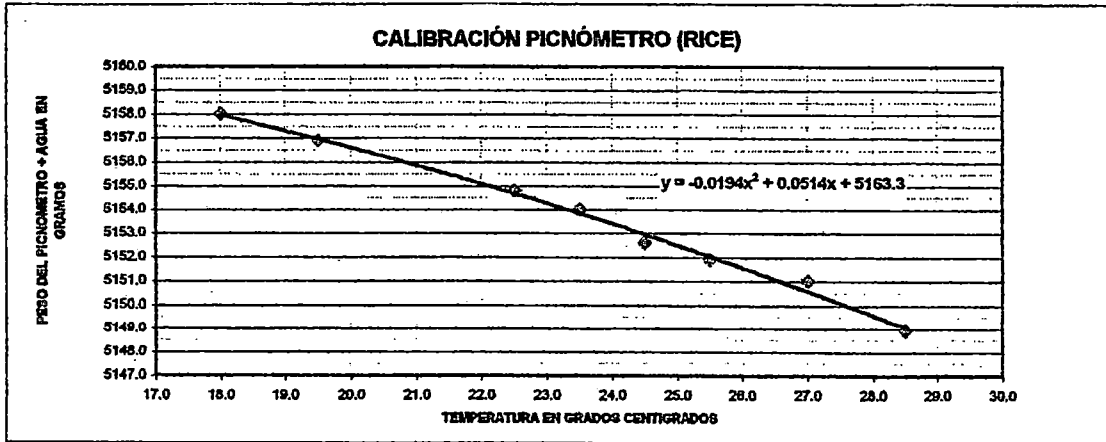
B.1 Certificado de Calibración de
Equipos de Laboratorio



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y

CALIBRACIÓN DEL PICNOMETRO (RICE)

T °C	Picnometro +Agua+Vidrio
18.0	5158.0
19.5	5156.9
22.5	5154.8
23.5	5154.0
24.5	5152.6
25.5	5151.9
27.0	5151.0
28.5	5148.9



T °C	Picnometro +Agua+Vidrio	T °C	Picnometro +Agua+Vidrio
18.0	5157.9	25.5	5152.0
18.5	5157.6	26.0	5151.5
19.0	5157.3	26.5	5151.0
19.5	5156.9	27.0	5150.5
20.0	5156.6	27.5	5150.0
20.5	5156.2	28.0	5149.5
21.0	5155.8	28.5	5149.0
21.5	5155.4	29.0	5148.5
22.0	5155.0	29.5	5147.9
22.5	5154.6	30.0	5147.4
23.0	5154.2	30.5	5146.8
23.5	5153.8	31.0	5146.3
24.0	5153.4	31.5	5145.7
24.5	5152.9	32.0	5145.1
25.0	5152.5	32.5	5144.5

INFORME : 001 - 06

SOLICITANTE: CONSRUCTORA ANDRADE GUTIERREZ

ATENCION : CONSRUCTORA ANDRADE GUTIERREZ

TITULO : Verificación de Anillo de Carga

Marca : SOILTEST

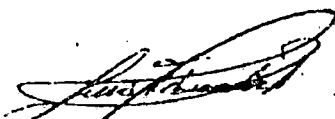
Capacidad : 10000 lbs

N/S : 23917

DIAL : BATY

Sensibilidad : 0.0001"

FECHA : Surquillo, 23 Enero de del 2,006



Ing°. Luis Taboada Palacios
Jefe de Laboratorio
CIP 56551

VERIFICACION

1.- GENERALIDADES

A solicitud de CONSRUCTORA ANDRADE GUTIERREZ S.A., se procedió a verificar el comportamiento de un anillo de carga con Dial indicador de lectura. La verificación se efectuó en nuestro laboratorio.

2.- DEL SISTEMA A VERIFICAR

Anillo de Carga

Marca : SOILTEST
Capacidad : 10,000 lbs
N/S : 23917
Dial:
Marca : BATY.
Sensibilidad : 0.0001"

3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN

Dispositivo : Celda de Carga
Fabricante : AEP TRANSDUCER
Tipo : S
Serie N° : 104990
Modelo : C2.
Carga Nominal : 5 TN
Modalidad : Compresión
Indicador : Amplificador SAFIR MCC,

Calibrado el 10 de Agosto del 2,004 en el Laboratorio de Calibración de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica.

4.- PROCEDIMIENTO

Se aplicaron tres series de carga al Anillo mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

5.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran las tres series de carga y la serie promedio correspondiente.

En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.

En la Carta de Calibración se muestran en detalle los valores en libras por cada división del Dial de Carga.

TABLA N° 1

CALIBRACION DE ANILLO DE CARGA
 Marca SOILTEST (10,000 lbs) N/S 23917
 Dial Marca BATY, Sensibilidad 0.0001"

DIAL INDICADOR	SERIES DE VERIFICACION (Libras)			SERIE PROMEDIO Lbs
	SERIE (1) CORREGIDA	SERIE (2) CORREGIDA	SERIE (3) CORREGIDA	

50	509.89	510.02	507.71	509.21
100	1,005.91	1,006.63	1,004.77	1,005.77
150	1,486.22	1,489.10	1,485.85	1,487.06
200	1,983.61	1,984.81	1,981.98	1,983.47
250	2,479.65	2,480.61	2,478.95	2,479.74
300	2,973.53	2,973.72	2,970.10	2,972.45
350	3,460.43	3,460.23	3,461.02	3,460.56
400	3,960.63	3,959.39	3,958.76	3,959.59
450	4,454.27	4,453.33	4,452.90	4,453.50
500	4,951.92	4,950.96	4,950.03	4,950.97
550	5,448.64	5,451.30	5,448.16	5,449.36
600	5,941.60	5,942.04	5,935.84	5,939.83
650	6,428.52	6,427.32	6,424.18	6,426.67
700	6,917.34	6,916.01	6,915.25	6,916.20
750	7,409.15	7,406.94	7,401.71	7,405.93
800	7,893.56	7,892.51	7,889.72	7,891.93
850	8,370.36	8,375.77	8,372.74	8,372.95

coeficiente de correlación: $R^2 = 1.0000$

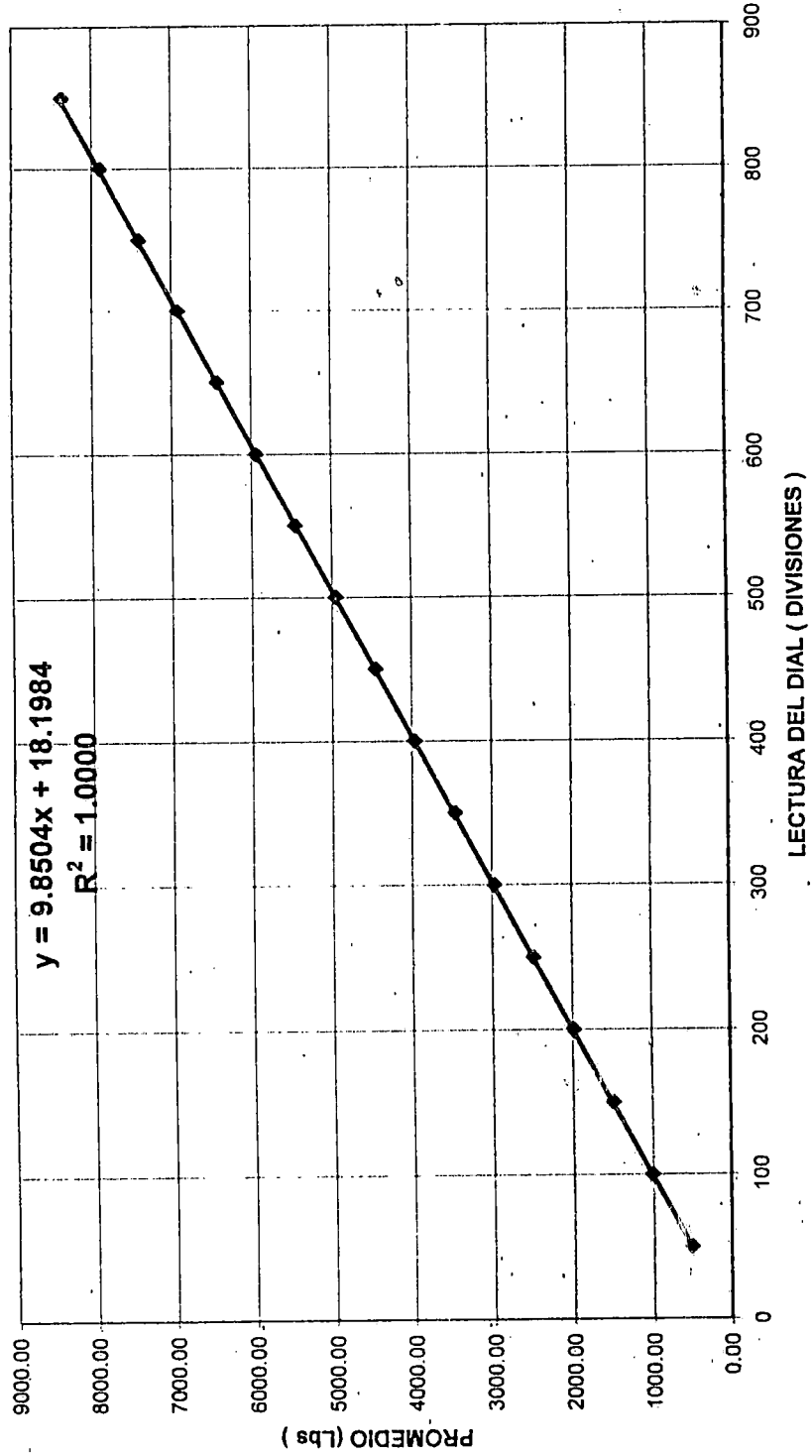
Recta de ajuste: $y = 9.8504x + 18.198$

Donde:

X : lectura del dial (divisiones)

Y : fuerza promedio (Lbs)

GRAFICO N° 1
CALIBRACION DE ANILLO DE CARGA
Marca SOILTEST (10,000 lbs) N/S 23917
Dial Marca BATY, Sensibilidad 0.0001"



CARTA DE CALIBRACIÓN

ANILLO DE CARGA SOILTEST N/S 23917
 CAPACIDAD 10000 LBS
 CON DIAL BATY
 SENC. 0.0001"
 FECHA DE CALIBRACIÓN 23 de Enero del 2006

$$y = 9.8504x + 18.198$$

Divis.	LIBRAS									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	1003	1013	1023	1033	1043	1052	1062	1072	1082	1092
110	1102	1112	1121	1131	1141	1151	1161	1171	1181	1190
120	1200	1210	1220	1230	1240	1249	1259	1269	1279	1289
130	1299	1309	1318	1328	1338	1348	1358	1368	1378	1387
140	1397	1407	1417	1427	1437	1447	1456	1466	1476	1486
150	1496	1506	1515	1525	1535	1545	1555	1565	1575	1584
160	1594	1604	1614	1624	1634	1644	1653	1663	1673	1683
170	1693	1703	1712	1722	1732	1742	1752	1762	1772	1781
180	1791	1801	1811	1821	1831	1841	1850	1860	1870	1880
190	1890	1900	1909	1919	1929	1939	1949	1959	1969	1978
200	1988	1998	2008	2018	2028	2038	2047	2057	2067	2077
210	2087	2097	2106	2116	2126	2136	2146	2156	2166	2175
220	2185	2195	2205	2215	2225	2235	2244	2254	2264	2274
230	2284	2294	2303	2313	2323	2333	2343	2353	2363	2372
240	2382	2392	2402	2412	2422	2432	2441	2451	2461	2471
250	2481	2491	2500	2510	2520	2530	2540	2550	2560	2569
260	2579	2589	2599	2609	2619	2629	2638	2648	2658	2668
270	2678	2688	2698	2707	2717	2727	2737	2747	2757	2766
280	2776	2786	2796	2806	2816	2826	2835	2845	2855	2865
290	2875	2885	2895	2904	2914	2924	2934	2944	2954	2963
300	2973	2983	2993	3003	3013	3023	3032	3042	3052	3062
310	3072	3082	3092	3101	3111	3121	3131	3141	3151	3160
320	3170	3180	3190	3200	3210	3220	3229	3239	3249	3259
330	3269	3279	3289	3298	3308	3318	3328	3338	3348	3357
340	3367	3377	3387	3397	3407	3417	3426	3436	3446	3456
350	3466	3476	3486	3495	3505	3515	3525	3535	3545	3554
360	3564	3574	3584	3594	3604	3614	3623	3633	3643	3653
370	3663	3673	3683	3692	3702	3712	3722	3732	3742	3751
380	3761	3771	3781	3791	3801	3811	3820	3830	3840	3850
390	3860	3870	3880	3889	3899	3909	3919	3929	3939	3949
400	3958	3968	3978	3988	3998	4008	4017	4027	4037	4047
410	4057	4067	4077	4086	4096	4106	4116	4126	4136	4146
420	4155	4165	4175	4185	4195	4205	4214	4224	4234	4244
430	4254	4264	4274	4283	4293	4303	4313	4323	4333	4343
440	4352	4362	4372	4382	4392	4402	4411	4421	4431	4441
450	4451	4461	4471	4480	4490	4500	4510	4520	4530	4540
460	4549	4559	4569	4579	4589	4599	4608	4618	4628	4638
470	4648	4658	4668	4677	4687	4697	4707	4717	4727	4737
480	4746	4756	4766	4776	4786	4796	4805	4815	4825	4835
490	4845	4855	4865	4874	4884	4894	4904	4914	4924	4934
500	4943	4953	4963	4973	4983	4993	5003	5012	5022	5032
510	5042	5052	5062	5071	5081	5091	5101	5111	5121	5131
520	5140	5150	5160	5170	5180	5190	5200	5209	5219	5229
530	5239	5249	5259	5268	5278	5288	5298	5308	5318	5328
540	5337	5347	5357	5367	5377	5387	5397	5406	5416	5426



SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

Ruc: 20504653065

Divis.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
550	5436	5446	5456	5465	5475	5485	5495	5505	5515	5525
560	5534	5544	5554	5564	5574	5584	5594	5603	5613	5623
570	5633	5643	5653	5662	5672	5682	5692	5702	5712	5722
580	5731	5741	5751	5761	5771	5781	5791	5800	5810	5820
590	5830	5840	5850	5859	5869	5879	5889	5899	5909	5919
600	5928	5938	5948	5958	5968	5978	5988	5997	6007	6017
610	6027	6037	6047	6056	6066	6076	6086	6096	6106	6116
620	6125	6135	6145	6155	6165	6175	6185	6194	6204	6214
630	6224	6234	6244	6254	6263	6273	6283	6293	6303	6313
640	6322	6332	6342	6352	6362	6372	6382	6391	6401	6411
650	6421	6431	6441	6451	6460	6470	6480	6490	6500	6510
660	6519	6529	6539	6549	6559	6569	6579	6588	6598	6608
670	6618	6628	6638	6648	6657	6667	6677	6687	6697	6707
680	6716	6726	6736	6746	6756	6766	6776	6785	6795	6805
690	6815	6825	6835	6845	6854	6864	6874	6884	6894	6904
700	6913	6923	6933	6943	6953	6963	6973	6982	6992	7002
710	7012	7022	7032	7042	7051	7061	7071	7081	7091	7101
720	7110	7120	7130	7140	7150	7160	7170	7179	7189	7199
730	7209	7219	7229	7239	7248	7258	7268	7278	7288	7298
740	7307	7317	7327	7337	7347	7357	7367	7376	7386	7396
750	7406	7416	7426	7436	7445	7455	7465	7475	7485	7495
760	7505	7514	7524	7534	7544	7554	7564	7573	7583	7593
770	7603	7613	7623	7633	7642	7652	7662	7672	7682	7692
780	7702	7711	7721	7731	7741	7751	7761	7770	7780	7790
790	7800	7810	7820	7830	7839	7849	7859	7869	7879	7889
800	7899	7908	7918	7928	7938	7948	7958	7967	7977	7987

B.2 Certificado de Calidad Cemento
 Asfáltico



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

01

INFORME DE ENSAYO N° 004 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE : CESEL S.A	MUESTRA : Cemento Asfáltico
DOMICILIO LEGAL : Av. José Gálvez Barrenechea N° 634 - Lima 27	IDENTIFICACIÓN : PEN 60/70*
PROYECTO : Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape; Tramo: Chiclayo - Chongoyape.	CANTIDAD : 1 Galón
REFERENCIA : LAB.000408.024.05	PRESENTACIÓN : Envase de metal
FECHA DE RECEPCIÓN : 02.12.05	FECHA DE ENSAYO : Del 03.01.06 al 06.01.06

ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO

ENSAYOS REALIZADOS A LA MUESTRA ORIGINAL	NORMA	RESULTADO
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, 135 °C (cSt)	MTC E-310**	364,5
VISCOSIDAD ABSOLUTA, 60 °C, 300 mm Hg (P)	MTC E-308**	2566,1
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	MTC E-304**	68
DUCTILIDAD, 25 °C, 5 cm/min (cm)	MTC E-306**	+ 100
PUNTO DE INFLAMACIÓN, Copa abierta Cleveland (°C)	MTC E-303**	291,3
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	MTC E-302**	99,88
ENSAYOS REALIZADOS DESPUÉS DE PELÍCULA FINA, 3,2 mm, 163 °C, 5h.		
PÉRDIDA (% masa)	MTC E-315**	0,10
PENETRACIÓN DEL RESIDUO (% de la original)	MTC E-304**	60,0
DUCTILIDAD DEL RESIDUO, 25 °C, 5 cm/min (cm)	MTC E-306**	+ 100

ÍNDICE DE PENETRACIÓN (SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA)	REFERENCIA FRANCESA	- 0,83
---	---------------------	--------

ENSAYO DE LA MANCHA		
Solvente Nafta Standard	MTC E-314**	Negativo
Solvente Nafta - Xileno (%)		Negativo
Solvente Heptano - Xileno (%)		Negativo

Observaciones:

- (*) Muestra proporcionada e identificada por el solicitante como "Cemento Asfáltico PEN 60-70"; "Proveedor: Petroperu Talara"; "Fecha de Remisión : 23/11/2005"; "Fecha de Muestreo :23/11/05"; "Local de Muestreo: Planta de Asfalto km:25+410 LIZQ. (Cisterna Transportadora Placa : YD-1407/ZD-3747)"; "Partida : Cemento Asfaltico 60/70"
- (**) Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM-2000), 2da edición aprobado con R.D. N° 028-2001-MTC/15.17 del 16/01/2001.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



[Handwritten Signature]
ING. JEFE DE UNIDAD

Lima, 09 de Enero del 2006

UMA (1/2)
lpab/lca/jms.
O.S. N°547



INFORME DE ENSAYO N° 004 - 2006 - MTC/14.01

SOLICITANTE:	<u>CESEL S.A.</u>	MUESTRA:	<u>Cemento Asfáltico</u>
DOMICILIO LEGAL:	<u>Av. José Gálvez Barrenechea N° 834 - Lima 27</u>	IDENTIFICACIÓN:	<u>PEN 60/70, Cisterna</u>
PROYECTO:	<u>Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape, Tramo : Chiclayo - Chongoyape</u>	Placa N° YD-1407/ZD-3747	
REFERENCIA:	<u>LAB 000408.024.05</u>	CANTIDAD:	<u>1 Galón</u>
FECHA DE RECEP:	<u>02.12.05</u>	PRESENTACIÓN:	<u>Envase de aluminio</u>
		FECHA DE ENSAYO:	<u>del 03.01.06 al 06.01.06</u>

TEMP. APLICACIÓN PARA MEZCLA

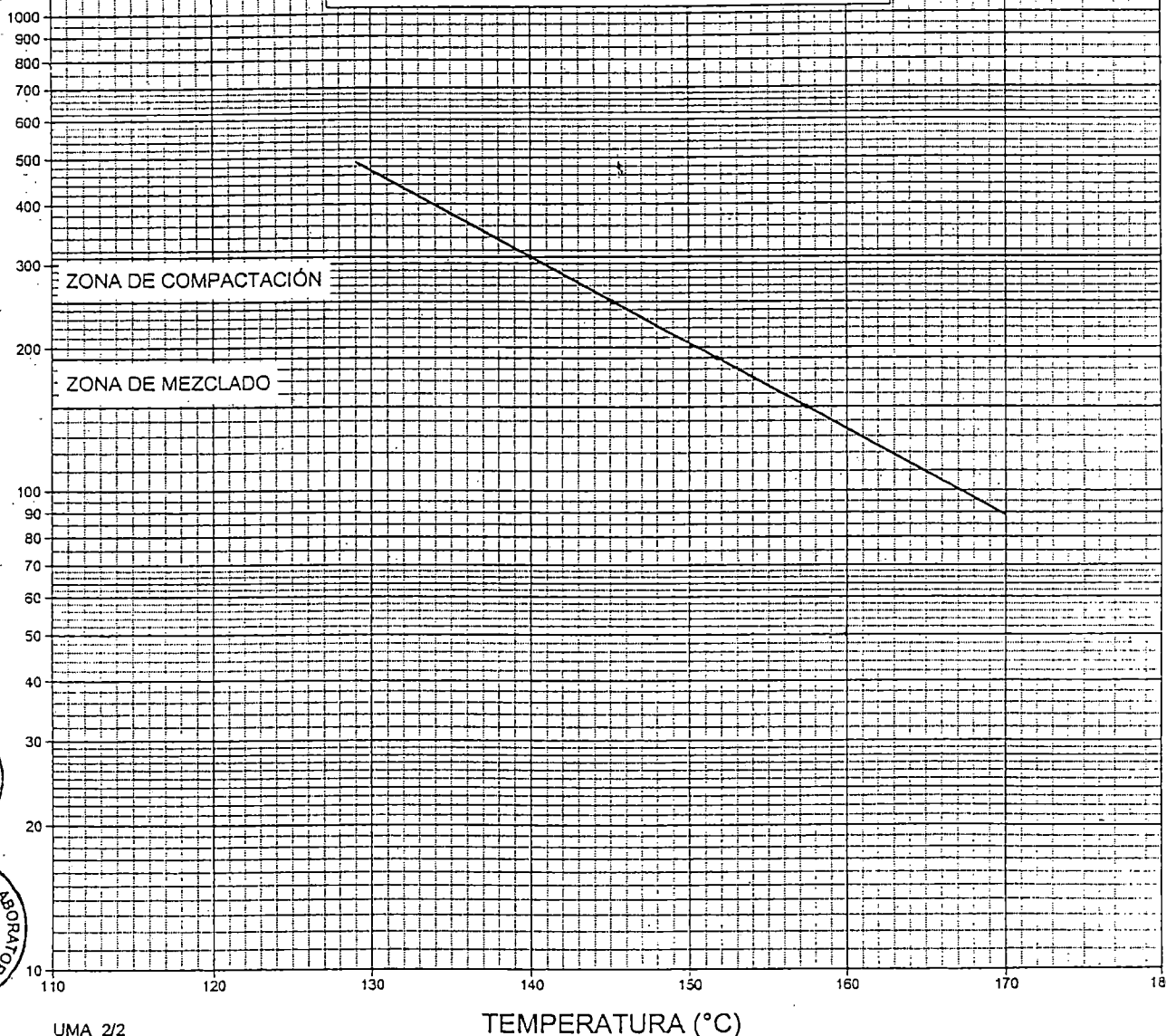
°C	°F	cSt
151,7	305,0	190,0
157,4	315,3	150,0

TEMP. APLICACIÓN PARA COMPACTACIÓN

°C	°F	cSt
139,9	283,9	310,0
145,1	293,2	250,0

CARTA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA

VISCOSIDAD CINEMATICA (cSt)

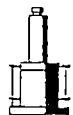


UMA 2/2
lpab/lca/eva
O.S. N° 547

TEMPERATURA (°C)



[Signature]
ING. JEFE DE UNIDAD
Lima, 09 de enero del 2006





DGCF

001

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO N° 541 - 2005 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: CESEL S.A.	MUESTRA	: Cemento Asfáltico
DOMICILIO LEGAL	: Av. José Gálvez Barrenechea N° 634 - Lima 27	IDENTIFICACIÓN	: PEN 60/70*
PROYECTO	: Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Chiclayo - Chongoyape.	CANTIDAD	: 1 Galón
REFERENCIA	: LAB.000408.023.05	PRESENTACIÓN	: Envase de metal
FECHA DE RECEPCIÓN	: 14.11.05	FECHA DE ENSAYO	: Del 29.11.05 al 29.11.05

ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO

ENSAYOS REALIZADOS A LA MUESTRA ORIGINAL	NORMA	RESULTADO
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5 / 97 **	70
DUCTILIDAD, 25 °C, 5 cm/min (cm)	ASTM D-113 / 99 **	+ 100
PUNTO DE INFLAMACIÓN, Copa abierta Cleveland (°C)	ASTM D-92 / 98a **	295,0
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	ASTM D-2042 / 97 **	99,85
ENSAYOS REALIZADOS DESPUÉS DE PELÍCULA FINA, 3,2 mm, 163 °C, 5h.		
PÉRDIDA (% masa)	ASTM D-1754 / 97 **	0,23
PENETRACIÓN DEL RESIDUO (% de la original)	ASTM D-5 / 97 **	72,0
DUCTILIDAD DEL RESIDUO, 25 °C, 5 cm/min (cm)	ASTM D-113 / 99 **	+ 100

(ÍNDICE DE PENETRACIÓN (SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA)	REFERENCIA FRANCESA	0,46
--	---------------------	------

ENSAYO DE LA MANCHA	AASTHO T-102***	Negativo
Solvente Nafta Standard		Negativo
Solvente Nafta - Xileno (%)		Negativo
Solvente Heptano - Xileno (%)		Negativo

Observaciones:

- (*) Muestra proporcionada e identificada por el solicitante como "Cemento Asfáltico PEN 60/70". Tramo: Chiclayo - Chongoyape. Proveedor: Petroperu Talara; Fecha de Remisión : 02.11.2005; Fecha de Muestreo : 27/10/05; Local de Muestreo : Planta de Asfalto Km :25+410 L.IZQ. (Cisterna Transportadora Placa : YD-2674/ZD-1510); Partida : Cemento Asfáltico 60/70
- (**) Publicado en Annual Book of ASTM Standards 2001.
- (***) Publicado en Standard Specifications for Transportation Materials and Sampling and Testing 1995.
- Solicitud de ensayo cancelada por el solicitante el 24/11/05.
- La interpretación de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-86-01-DECOPI-CAT del 07-01-98).



[Signature]
- ING. JEFE DE UNIDAD
Lima, 30 de Noviembre del 2005

lpab/npl.
O.S. N°490





INFORME DE ENSAYO N° 541 - 2005 - MTC/14.01

SOLICITANTE:	<u>CESEL S.A.</u>	MUESTRA:	<u>Cemento Asfáltico</u>
DOMICILIO LEGAL:	<u>Av. José Gálvez Barrenechea N° 634 - Lima 27</u>	IDENTIFICACIÓN:	<u>PEN 60/70, Sistema</u>
PROYECTO:	<u>Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Chiclayo - Chongoyape, Tramo : Chiclayo - Chongoyape</u>	CANTIDAD:	<u>1 Galon</u>
REFERENCIA:	<u>LAB 000408.023.05</u>	PRESENTACIÓN:	<u>Envase de aluminio</u>
FECHA DE RECEP.	<u>14.11.05</u>	FECHA DE ENSAYO:	<u>del 28.11.05 al 29.11.05</u>

TEMP. APLICACIÓN PARA MEZCLA

TEMP. APLICACIÓN PARA COMPACTACIÓN

° C	° F	cSt
145,9	294,6	190,0
149,9	301,8	150,0

° C	° F	cSt
137,5	279,5	310,0
141,2	286,1	250,0

CARTA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA

VISCOSIDAD CINEMATICA (cSt)

ZONA DE COMPACTACIÓN

ZONA DE MEZCLADO

TEMPERATURA (°C)

UMA 2/2
lpab/npl.
O.S. N° 490



ING. JEFE DE UNIDAD
30 de noviembre del 2005



B.3 Certificado de Calidad Cal
 Hidratada



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS - SECCION QUÍMICA
SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS INDUSTRIALES

INFORME DE ENSAYO N° 298/2005

Pág. 1/1

SOLICITANTE : MINERA MANCOS S.A.C.
 DOMICILIO LEGAL : Av. Del Parque Norte 724 - San Isidro
 PRODUCTO : Cal hidratada Tipo 1
 PRESENTACIÓN : Bolsa de plástico, sellado.
 MUESTRA RECIBIDA : 01 muestra x 5 000 g aprox.
 IDENTIFICACIÓN : Muestra para el Control de Calidad del
 Producto en las obras de Infraestructura Vial (*)
 FECHA DE RECEPCIÓN : 16.08.2005
 REFERENCIA DEL CLIENTE : Carta del 15.09.2005

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

DETERMINACIÓN	RESULTADO
Cal activa, $[Ca(OH)_2 + CaO]$, %	90,13
Cal no hidratada, (CaO), %	0,1
Agua libre, %	0,7
Gravedad específica	2,28

Métodos: AASHTO M-219 / 303-89

Gravedad específica: LAQ-ICA01-PUCP

Granulometría:

Retiene malla 30, %	0,01
Retiene malla 200, %	0,17
Pasa malla 200, %	99,82

Métodos: AASHTO M-219 / 303-89

- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Chiclayo - Chongoyape, efectuándose por Consorcio Chiclayo (Construcciones e Comercio Camargo COMCA).
- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Jaen - Tarma, efectuándose por ICCGSA (Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A.) y COSAPI Ingenieros y Construcción S.A.
- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Chacabamba - Jaén, efectuándose por Energoprojekt Nizkorgradnja S.A., Suc. Perú.
- Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Chacabamba - Mollatepe - Ollantaytambo, efectuándose por JONESA.

Lima, 29 de setiembre del 2005

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
Departamento de Ciencias Sección Química
Servicio de Análisis Químicos


ING. OLGA LOCK SING.
Coordinadora

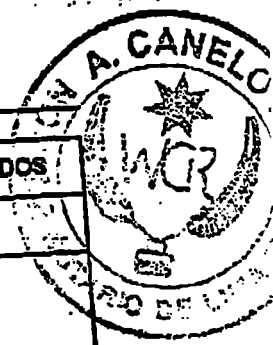
NOTA: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra proporcionada por el solicitante. Los datos del solicitante los relativos al producto y la identificación de la muestra también han sido proporcionados por el cliente.

**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 3 6 3 - 2005 - MTC/14.01

SOLICITANTE : MINERA MANCOS S.A.C.
DOMICILIO LEGAL : Av. Del Parque Norte N° 724 - San Isidro
PROYECTO : "Supervisión en Obras de Infraestructura Vial"
REFERENCIA : Carta S/N del 05.07.2005
FECHA DE RECEPCION : 07.07.2005

MUESTRA : Cal hidratada
IDENTIFICACIÓN : Cal Tipo I
CANTIDAD : 04 kg aprox.
PRESENTACIÓN : Bolsas plásticas
FECHA DE ENSAYO : 14.07.2005



ENSAYOS	NORMA	RESULTADOS
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE CAL HIDRATADA (g/cm ³)	ASTM C-110(2000), Sección 21(*)	2,347
FINEZA DE CAL (% Retenido)	AASHTO T - 215(1995)**	0,00
malla N° 6		0,00
malla N° 10		0,06
malla N° 30		1,73
malla N° 200		

Observaciones :

- (*) Referencia "Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime and Limestone".
- (**) Referencia "Testing Lime for Chemical Constituents and Particle Sizes".
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante, como muestra para el control de calidad del producto en las obras de infraestructura vial siguientes:
- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Chiclayo - Chongoyape, efectuándose por Consorcio Chiclayo (Construcciones e comercio Camargo Correa).
- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Jauja - Tarma, efectuándose por ICCGSA (Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A.) y COSAPI Ingeniería y Construcción S.A.
- La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 002-99/INDECOPI-CRT del 07.01.99).



[Signature]
ING. JEFE DE UNIDAD
Lima, 15 de Julio del 2005

USA (1/1)
ent/ adm
O.S. N° 324



**OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
 SUBDIRECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO**

INFORME DE ENSAYO N° 3 6 3 - 2005 - MTC/AT

SOLICITANTE	: MINERA MANCOS S.A.C.	MUESTRA	
DOMICILIO LEGAL	: Av. Del Parque Norte 724 - San Isidro.	IDENTIFICACIÓN	
PROYECTO	: "Supervisión en Obras de Infraestructura Vial"	CANTIDAD	
REFERENCIA	: Carta S/N del 06.07.2005	PRESENTACIÓN	
FECHA DE RECEPCIÓN	: 07.07.2005	FECHA ENSAYO	: 18.07.2005



AASHTO T - 219 (1 995)* DETERMINACIÓN QUÍMICA DE LOS COMPONENTES DE LA CAL Y TAMAÑO DE PARTÍCULAS

ENSAYOS	RESULTADOS
1. Contenido de cal activa Porcentaje en peso de Ca(OH) ₂ más CaO	90.3
2. Contenido de cal no hidratada Porcentaje en peso de CaO	4.6
3. Contenido de agua libre Porcentaje en peso de H ₂ O	0.0

Observaciones:



- (*) Referencia "Testing Lime for Chemical Constituents and Particle Sizes".
- Muestra proporcionada e identificada por los ingresados, como muestra para el control de calidad del producto en las obras de infraestructura vial siguientes:
- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Chiclayo - Chongoyape, efectuándose por Consorcio Chiclayo (Construcciones e Comercio Camargo Corras).
- Rehabilitación y mejoramiento de carretera Jajaja - Tarma, efectuándose por ICCGSA (Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A.) y Cosapi Ingeniería y Construcción S.A.
- La interpretación de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del solicitante.
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N°0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).

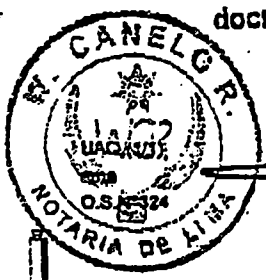


[Signature]
JEFE DE UNIDAD
 Lima, 15 de julio del 2005

CERTIFICO:

Que las fotocopias que anteceden, en número de 5 que las sello y firmo, son reproducción exacta de los documentos originales que tengo a la vista, de lo que doy fe.

Lima, **19 JUL 2005**



WILSON A. CANELO RAMIREZ
 Notario de Lima

B.4 Certificado de Calidad Aditivo
Mejorador de Adherencia



THE EUCLID CHEMICAL COMPANY
13218 REEDWOOD ROAD - CLEVELAND OH 44110
www.euclidchemical.com

QUIMIBOND 3000®



ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA PARA ASFA

QUIMIBOND 3000 es un aditivo líquido, base amina que mejora la adherencia entre el agregado-asfalto evitando la formación de bolsas de agua que impiden la adhesión del cemento asfáltico al agregado. Es un gran "anti-stripping" entre el asfalto y los agregados. Los ingredientes del **QUIMIBOND 3000** permiten una excelente cohesión del pavimento durante largo tiempo.

Es un aditivo que es fácil de dosificar al no tener que calentarse y evitar los gases tóxicos.

PROPIEDADES

Color: Café Oscuro

Apariencia: Líquida-viscosa

Densidad : 0.93 - 097 Kg./ Lt.

Dosificación : 0.3% - 0.8% del peso del cemento asfáltico.

PROPIEDADES FISICAS:

Determinación	Contenido
Contenido de aminas	400-600
Propiedades Físicas a 25 °C	Líquido
Punto de inflamación (°C)	165
Viscosidad a 25 °C	2000 – 6500 cs
Gravedad Específica	0.95 promedio
Solubilidades:	
Gasolina	Insoluble
Agua	Insoluble
Alcohol Isopropílico	Insoluble

APLICACIONES

- En asfalto en caliente para mejorar la adherencia entre el concreto asfáltico y los agregados.
- Como promotor de adherencia en mezclas frías.
- En riegos de impregnación, para mejorar la penetración del impregnante a la base.
- En riegos de liga para una buena unión base-carpeta.
- Se recomienda su uso bajo las siguientes situaciones críticas:
 - "Cuando se utilizan agregados difíciles.

- En ambientes con alta humedad ambiental.
- Cuando se empleen agregados con alto contenido de sílice.

DOSIFICACION

0.3 al 0.8 % del peso del cemento asfáltico. Se recomienda la dosificación del 0.8% cuando los agregados poseen excesiva carga de silicios, piedra caliza o humedad.

DIRECCIONES PARA SU USO

La dosificación del **QUIMIBOND 3000** es muy sencilla al no necesitarse calentarse o agitarse. Una vez determinada la dosificación que varía des acuerdo a los agregados entre el 0.3 al 0.8% del peso del cemento asfáltico. La dosificación se aplica por medios neumáticos al tanque de almacenaje o por inyección a la carga del asfalto.

CALCULO DE ADICION DEL ADITIVO:

Composición del ASFALTO típico:

Agregado 94%

Cemento Asfáltico 6%

Cálculos para 01 Tonelada Métrica (1,000 Kg.)

Agregado = $0.94 \times 1,000 = 940$ kg.

Cemento Asfáltico = $0.06 \times 1,000 = 60$ kg

Dosificación : 0.5%

QUIMIBOND 3000 = $0.005 \times 60 = 0.3$ Kg

PRESENTACION

Cilindro x 400 Lb (181.4 kg o 50.5 galones)

VENTAJAS:

- Fácil de dosificar al ser un aditivo líquido.
- Sin olor corrosivo que pueden afectar a los operarios.
- Larga duración del asfalto.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

QUIMIBOND 3000 debe almacenarse en su envase original herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil en almacenamiento: 1 año.



The Euclid Chemical Company is ISO 9001 Certified Cert.#109877

La mejor solución para Concretar sus Obras

An **APM** Company

© QUIMICA SUIZA S.A.
211-4085 211-4086

ANEXO C
NORMAS Y ESPECIFICACIONES



Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements¹

This standard is issued under the fixed designation D 8; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

BITUMINOUS MATERIALS

Relating in General to Bituminous Materials

anionic emulsion, *n*—a type of emulsion such that a particular emulsifying agent establishes a predominance of negative charges on the discontinuous phase.

bitumen, *n*—a class of black or dark-colored (solid, semisolid, or viscous) cementitious substances, natural or manufactured, composed principally of high molecular weight hydrocarbons, of which asphalts, tars, pitches, and asphaltites are typical.

bituminous, *adj*—containing or treated with bitumen (also *bituminized*). Examples: bituminous concrete, bituminized felts and fabrics, bituminous pavement.

bituminous emulsion, *n*—(1) a suspension of minute globules of bituminous material in water or in an aqueous solution, (2) a suspension of minute globules of water or of an aqueous solution in a liquid bituminous material.

cationic emulsion, *n*—a type of emulsion such that a particular emulsifying agent establishes a predominance of positive charges on the discontinuous phase.

cut-back asphalt, *n*—petroleum residuum (asphalt) which has been blended with petroleum distillates.

DISCUSSION—Slow-curing materials may be made directly by distillation and are often referred to as road oils.

cut-back products, *n*—petroleum or tar residuums which have been blended with distillates.

flux, *n*—a bituminous material, generally liquid, used for softening other bituminous materials.

Relating Specifically to Petroleum or Asphalts

asphalt, *n*—a dark brown to black cementitious material in which the predominating constituents are bitumens which occur in nature or are obtained in petroleum processing.

asphalt cement, *n*—a fluxed or unfluxed asphalt specially prepared as to quality and consistency for direct use in the manufacture of bituminous pavements, and having a penetration at 25°C (77°F) of between 5 and 300, under a load of 100 g applied for 5 s.

asphaltenes, *n*—the high molecular weight hydrocarbon frac-

tion precipitated from asphalt by a designated paraffinic naphtha solvent at a specified solvent-asphalt ratio.

DISCUSSION—The asphaltene fraction should be identified by the solvent and solvent-asphalt ratio used.

asphalt rock (rock asphalt), *n*—a naturally occurring rock formation, usually limestone or sandstone, impregnated throughout its mass with a minor amount of bitumen.

asphalt-rubber, *n*—a blend of asphalt cement, reclaimed tire rubber, and certain additives in which the rubber component is at least 15 % by weight of the total blend and has reacted in the hot asphalt cement sufficiently to cause swelling of the rubber particles.

naphthene-aromatics, *n*—a mixture of naphthenic and aromatic hydrocarbons which are adsorbed from a paraffinic solvent on an adsorbent during percolation and then desorbed with an aromatic solvent such as toluene.

DISCUSSION—The naphthene-aromatics fraction should be identified by the solvent, the solvent-asphalt ratio and the absorbing medium.

native asphalt, *n*—asphalt occurring as such in nature.

polar-aromatics, *n*—a polar aromatic hydrocarbon fraction that is adsorbed on an adsorbing medium from a paraffinic solvent during percolation and then desorbed with a chlorinated hydrocarbon solvent such as trichloroethylene.

DISCUSSION—The polar-aromatics fraction should be identified by the solvent, the solvent-asphalt ratio and the absorbing medium.

reclaimed asphalt pavement (RAP), *n*—asphalt pavement or paving mixture removed from its original location for use in recycled asphalt paving mixture.

recycled asphalt paving mixture, *n*—a mixture of reclaimed asphalt pavement with the inclusion, if required, of asphalt cement, emulsified asphalt, cut-back asphalt, recycling agent, mineral aggregate, and mineral filler.

recycling agent (RA), *n*—a blend of hydrocarbons with or without minor amounts of other materials that is used to alter or improve the properties of the aged asphalt in a recycled asphalt paving mixture.

rock asphalt—see **asphalt rock**.

saturates, *n*—a mixture of paraffinic and naphthenic hydrocarbons that on percolation in a paraffinic solvent are not adsorbed on the adsorbing medium. Other compounds such as naphthenic and polar aromatics are adsorbed thus permitting the separation of the saturate fraction.

DISCUSSION—The saturates fraction should be identified by the

¹ This terminology is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.95 on Quality Control, Inspection and Testing Agencies.

Current edition approved July 10, 1997. Published February 1998. Originally published as D 8 – 12. Last previous edition D 8 – 94.

solvent, the solvent-asphalt ratio and the absorbing medium.

Relating Specifically to Tars and Pitches

- coal tar**, *n*—a dark brown to black cementitious material produced by the destructive distillation of bituminous coal.
- coke-oven tar**, *n*—coal tar produced in by-product coke ovens in the manufacture of coke from bituminous coal.
- “free-carbon” in tars**, *n*—the hydrocarbon fraction that is precipitated from a tar by dilution with carbon disulfide or benzene.
- gas-house coal tar**, *n*—coal tar produced in gas-house retorts in the manufacture of illuminating gas from bituminous coal.
- oil-gas tars**, *n*—tars produced by cracking oil vapors at high temperatures in the manufacture of oil gas.
- pitches**, *n*—black or dark-brown solid cementitious materials which gradually liquefy when heated and which are obtained as residua in the partial evaporation or fractional distillation of tar.
- refined tar**, *n*—tar freed from water by evaporation or distillation which is continued until the residue is of desired consistency; or a product produced by fluxing tar residuum with tar distillate.
- straight-run pitch**, *n*—a pitch run to the consistency desired in the initial process of distillation and without subsequent fluxing.
- tar**, *n*—brown or black bituminous material, liquid or semi-solid in consistency, in which the predominating constituents are bitumens obtained as condensates in the destructive distillation of coal, petroleum, oil-shale, wood, or other organic materials, and which yields substantial quantities of pitch when distilled.

Relating Specifically to Tests

- normal temperature**, *n*—as applied to laboratory observations of the physical characteristics of bituminous materials. 25°C (77°F).
- penetration**, *n*—the consistency of a bituminous material expressed as the distance in tenths of a millimetre (0.1 mm) that a standard needle penetrates vertically a sample of the material under specified conditions of loading, time, and temperature.

BITUMEN-AGGREGATE MIXTURES

Relating in General to Combinations of Bituminous Material and Aggregate that are Mixed, Spread on the Job-site, and Compacted

- maintenance mix**, *n*—a mixture of bituminous material and mineral aggregate applied at ambient temperature for use in patching holes, depressions, and distress areas in existing pavements using appropriate hand or mechanical methods in placing and compacting the mix. These mixes may be designed for immediate use or for use out of a stockpile at a later time without further processing.
- mixed-in-place (road mix)**, *n*—a bituminous surface or base course produced by mixing mineral aggregate and cut-back asphalt, bituminous emulsion, or tar at the job-site by means of travel plants, motor graders, drags, or special road-mixing equipment. Open or dense-graded aggregates, sand, and

sandy soil may be used.

- plant mix, cold-laid**, *n*—a mixture of cut-back asphalt, bituminous emulsion, or tar and mineral aggregate prepared in a central bituminous mixing plant and spread and compacted at the job-site when the mixture is at or near ambient temperature.
- plant mix, hot-laid bituminous emulsion mixtures**, *n*—a mixture of emulsion and heated mineral aggregate usually prepared in a conventional asphalt plant or drum mixer and spread and compacted at the job site at a temperature above ambient.
- slurry seal**, *n*—an application of a fluid mixture of bituminous emulsion, fine aggregate, mineral filler, and water to an existing pavement. Single or multiple applications may be used.
- tar concrete, cold-laid**, *n*—a plant mix containing a medium-viscosity grade of tar and a graded mineral aggregate, designed to be laid either shortly after mixing or when the mixture is at or near ambient temperature.
- tar concrete, hot laid**, *n*—a plant mix containing a high-viscosity grade of tar and a densely graded mineral aggregate designed to be laid at or near the elevated temperature of mixing.

BITUMEN—AGGREGATE APPLICATIONS

Relating in General to the Application of Bituminous Material on Prepared Aggregate or Pavement Surfaces which are Covered with Mineral Aggregate

- penetration macadam**, *n*—a pavement layer containing essentially one-size coarse aggregate, penetrated in place by a heavy application of bituminous material, followed by an application of a smaller size coarse aggregate, and compacted. Multiple layers containing still smaller coarse aggregate may be used.
- surface treatment**, *n*—an application of bituminous material followed by a layer of mineral aggregate. Multiple applications of bituminous material and mineral aggregate may be used.

BITUMEN APPLICATIONS

Relating in General to the Uses of Sprayed Bituminous Materials not Involving the Use of Aggregates

- crack filler**, *n*—bituminous material used to fill and seal cracks in existing pavements.
- dust binder**, *n*—a light application of bituminous material for the express purpose of laying and bonding loose dust.
- fog seal**, *n*—a light application of bituminous material to an existing pavement as a seal to inhibit raveling, or to seal the surface, or both. Medium and slow-setting bituminous emulsions are usually used and may be diluted with water.
- mulch treatment**, *n*—a spray application of bituminous material used to temporarily stabilize a recently seeded area. The bituminous material can be applied to the soil or to straw or hay mulch as a tie-down, also.
- prime coat**, *n*—an application of a low-viscosity bituminous material to an absorptive surface, designed to penetrate, bond, and stabilize this existing surface and to promote adhesion between it and the construction course that follows.

tack coat (bond coat), *n*—an application of bituminous material to an existing relatively nonabsorptive surface to provide a thorough bond between old and new surfacing.

NONBITUMINOUS MATERIALS

Relating in General to Nonbituminous Materials

aggregate, *n*—a granular material of mineral composition such as sand, gravel, shell, slag, or crushed stone, used with a cementing medium to form mortars or concrete, or alone as in base courses, railroad ballasts, etc.

coarse aggregate, *n*—(1) aggregate predominantly retained on the 4.75-mm (No. 4) sieve; or (2) that portion of an aggregate retained on the 4.75-mm (No. 4) sieve.

DISCUSSION—The definitions are alternatives to be applied under differing circumstances. Definition (1) is applied to an entire aggregate either in a natural condition or after processing. Definition (2) is applied to a portion of an aggregate. Requirements for properties and grading should be stated in the specification.

crusher-run, *n*—the total unscreened product of a stone crusher.

dense-graded aggregate, *n*—an aggregate that has a particle size distribution such that when it is compacted, the resulting voids between the aggregate particles, expressed as a percentage of the total space occupied by the material, are relatively small.

fine aggregate, *n*—(1) aggregate passing the 3/8-in. (9.5-mm) sieve and almost entirely passing the 4.75-mm (No. 4) sieve and predominantly retained on the 75- μ m (No. 200) sieve; or (2) that portion of an aggregate passing the 4.75-mm (No. 4) sieve and retained on the 75- μ m (No. 200) sieve.

DISCUSSION—The definitions are alternatives to be applied under differing circumstances. Definition (1) is applied to an entire aggregate either in a natural condition or after processing. Definition (2) is applied to a portion of an aggregate. Requirements for properties and grading should be stated in the specifications.

fractured face, *n*—an angular, rough, or broken surface of an aggregate particle created by crushing, by other artificial means, or by nature.

macadam, dry-bound and water bound, *n*—a pavement layer containing essentially one-size coarse aggregate choked in place with an application of screenings or sand; water is applied to the choke material for water-bound macadam. Multiple layers must be used.

maximum size (of aggregate), *n*—in specifications for, or descriptions of aggregate, the smallest sieve opening through which the entire amount of aggregate is required to pass.

nominal maximum size (of aggregate), *n*—in specifications for, or descriptions of aggregate, the smallest sieve opening through which the entire amount of the aggregate is permitted to pass.

DISCUSSION—Specifications on aggregates usually stipulate a sieve opening through which all of the aggregate may, but need not, pass so that a stated maximum proportion of the aggregate may be retained on that sieve. A sieve opening so designated is the *nominal maximum size*.

open-graded aggregate, *n*—an aggregate that has a particle size distribution such that when it is compacted, the voids between the aggregate particles, expressed as a percentage of the total space occupied by the material, remain relatively large.

rubble, *n*—rough stones of irregular shapes and sizes, broken from larger masses either naturally or artificially, as by geological action, in quarrying, or in stone cutting or blasting.

screenings, *n*—a residual product resulting from the artificial crushing of rock, boulders, cobble, gravel, blast-furnace slag or hydraulic cement concrete, all of which passed the smallest screen used with the crushing operation and most of which passed the 2.36-mm (No. 8) sieve.

soil aggregate, *n*—natural or prepared mixtures consisting predominantly of stone, gravel, or sand which contain a significant amount of minus 75- μ m (No. 200) silt-clay material.

stone chips, *n*—small angular fragments of stone containing no dust.

Relating Specifically to Materials

bank gravel, *n*—gravel found in natural deposits, usually more or less intermixed with fine material, such as sand or clay, or combinations thereof; gravelly clay, gravelly sand, clayey gravel, and sandy gravel indicate the varying proportions of the materials in the mixture.

blast-furnace slag, *n*—the nonmetallic product, consisting essentially of silicates and alumino-silicates of lime and of other bases, that is developed simultaneously with iron in a blast furnace.

clinker, *n*—generally a fused or partly fused by-product of the combustion of coal, but also including lava and portland-cement clinker, and partly vitrified slag and brick.

steel slag, *n*—the nonmetallic product consisting essentially of calcium silicates and ferrites combined with fused oxides of iron, aluminum, manganese, calcium and magnesium, that is developed simultaneously with steel in basic oxygen, electric, or open hearth furnaces.

Relating Specifically to Tests

mesh, *n*—the square opening of a sieve.

screen, *n*—in laboratory work an apparatus, in which the apertures are circular, for separating sizes of material.

sieve, *n*—in laboratory work an apparatus, in which the apertures are square, for separating sizes of material.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.



This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder¹

This standard is issued under the fixed designation D 6114; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{ε1} NOTE—The value for specific gravity in 3.2.1 was corrected and additional editorial updates were made throughout in October 1998.

1. Scope

1.1 This specification covers asphalt-rubber binder, consisting of a blend of paving grade asphalt cements, ground recycled tire (that is, vulcanized) rubber and other additives, as needed, for use as binder in pavement construction. The rubber shall be blended and interacted in the hot asphalt cement sufficiently to cause swelling of the rubber particles prior to use.

NOTE 1—It has been found that at least 15 % rubber by weight of the total blend is usually necessary to provide acceptable properties of asphalt-rubber.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound units given in parentheses are for information only.

1.3 The following precautionary caveat pertains to the test method portions only, Sections 4 and 5 of this Specification: *This standard does not purport to address all of the safety concern, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Note 5.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 5 Test Method for Penetration of Bituminous Materials²
- D 36 Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)³
- D 93 Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Test⁴
- D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials²
- D 946 Specification for Penetration-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction²
- D 1754 Test Method for Effect of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin Film Oven Test)²

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.45 on Modified Asphalt.

Current edition approved May 10, 1997. Published October 1998. Originally published as D 6114 – 97. Last previous edition D 6114 – 97.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

D 1864 Test Method for Moisture in Mineral Aggregate Used on Built-Up Roofs³

D 2196 Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield) Viscometer⁵

D 2872 Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)²

D 3381 Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction²

D 5329 Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphaltic and Portland Cement Concrete Pavements²

D 5644 Test Method for Rubber Compounding Materials - Determination of Particle Size Distribution of Recycled Vulcanizate Particulate Rubber⁶

3. Materials

3.1 *Asphalt Cement*—The asphalt cement shall meet the requirements of Specification D 946 or Table 1 or 3 of Specification D 3381. Acceptable grades shall be able to produce the properties of Table 1 of this specification when interacted with ground recycled tire rubber.

3.2 Ground Recycled Tire Rubber:

3.2.1 The ground recycled tire rubber shall contain less than 0.75 % moisture by weight and shall be free flowing. The specific gravity of the rubber shall be 1.15 ± 0.05 . The ground recycled tire rubber shall contain no visible nonferrous metal particles and no more than 0.01 % ferrous metal particles by weight.

3.2.2 For use in hot mix binders, the fiber content shall not exceed 0.5 % by weight of ground recycled tire rubber. However for use in binders for spray applications, fiber content shall not exceed 0.1 % by weight. Up to 4 % by weight of mineral powder (such as talc) is permitted to prevent sticking and caking of the rubber particles. Other foreign contaminating materials (see Note 2) shall be less than 0.25 % by weight.

NOTE 2—Other foreign contaminants include, but are not limited to, materials such as glass, sand, wood, etc.

3.2.3 It is recommended that no rubber particles should be

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

TABLE 1 Physical Requirements for Asphalt-Rubber Binder

Binder Designation ^A		Type I	Type II	Type III
Apparent Viscosity, 175°C (347°F):cP Modified Test Method D 2196, Method A, (see 5.4) ^{B,C}	min	1500	1500	1500
Penetration, 25°C (77°F) 100g, 5 s: ¼ mm (Test Method D 5)	max	5000	5000	5000
	min	25	25	50
Penetration, 4°C (39.2°F), 200g, 60 s: ¼ mm (Test Method D 5)	max	75	75	100
	min	10	15	25
Softening Point: °C (°F) (Test Method D 36)	min	57.2 (135)	54.4 (130)	51.7 (125)
	Resilience, 25°C (77°F): % (Test Method D 5329)	min	25	20
Flash Point: °C (°F) (Test Method D 93)	min	232.2 (450)	232.2 (450)	232.2 (450)
	Thin-Film Oven Test Residue (Test Method D 1754) ^D
Penetration Retention, 4°C (39.2°F): % of original (Test Method D 5)	min	75	75	75

^ASee Appendix for recommended climate guidelines for usage.

^BEither digital or dial reading Brookfield viscometers may be used - record peak measurement.

For LV series models, use spindle 3 at 12 rpm.

For RV and HA series models, use spindle 3 at 20 rpm.

^CRlon or Haake-type high range rotational viscometers may also be used (with Rotor No. 1) when correlated with Brookfield measurements, as may other rotational viscometers. However Brookfield shall be the referee method.

^DRTFO Residue (See Test Method D 2872) may be substituted for TFOT Residue, except TFOT shall be the referee method in cases of dispute.

retained on the 2.36 mm (No. 8) sieve. Rubber gradation should be agreed upon between purchaser and asphalt-rubber supplier for the specific mixture applications (see Note 3).

NOTE 3—It has been found that rubber gradation may affect the physical properties and performance of hot paving mixtures using asphalt-rubber binder.

3.3 Asphalt-Rubber:

3.3.1 The asphalt-rubber shall be an interacted blend of paving grade asphalt cement and ground recycled tire rubber. Other additives not cited herein including other types of scrap rubber are permitted.

3.3.2 The asphalt-rubber shall not foam when heated to 175°C (347°F).

3.3.3 The asphalt-rubber blend shall conform to the physical requirements of Table 1. This table was developed to provide a reference for specifying asphalt-rubber binder. The tests are intended to measure the degree of modification of the asphalt cement by the ground recycled tire rubber. Table 1 is not intended to be a performance-based specification.

4. Procedure

4.1 Ground Recycled Tire Rubber:

4.1.1 Determine moisture content according to Test Method D 1864, except that oven temperature shall be 105 ± 5°C (221 ± 9°F).

4.1.2 Detect and separate out ferrous metal particles by thoroughly stirring a magnet through a 50 g sample. Weigh captured particles. Determine nonferrous metal content by visual inspection.

4.1.3 Perform sieve analysis according to Test Method D 5644

4.1.4 The method of determining fiber content shall be specified as agreed between the supplier and user.

4.2 Asphalt-Rubber Sampling:

4.2.1 Sample containers and handling shall be in accordance with Practice D 140.

4.2.2 Representative samples shall be taken from a sample valve or tap on the agitated tank in accordance with Practice D 140, unless otherwise directed.

4.3 Preparation of Pre-Blended Asphalt-Rubber Samples for Acceptance Testing:

4.3.1 *Sample Melting and Heating*—Loosen the cover of the original sample container to relieve pressure, then place the container in a preheated forced-draft oven and maintain oven temperature as required to heat sample to test temperature (see Note 4). After 1 h or when the asphalt-rubber material begins to liquify, remove cover. Stir with a spatula as required to avoid localized overheating of sample and to achieve uniform sample temperature. Replace cover and repeat these steps as needed.

NOTE 4—Only those samples which will be tested for viscosity at 175°C (347°F) need to be heated to 175°C (347°F). To provide specimens for other Table 1 acceptance tests, it is sufficient to thoroughly liquify the pre-blended asphalt-rubber.

4.3.2 Immediately prior to testing or pouring test specimens, stir the sample thoroughly with a spatula to achieve visually uniform distribution of rubber particles within the binder (see Note 5). Pour the asphalt-rubber into suitable molds and containers for making such tests as desired. Prepare and condition acceptance specimens according to the respective selected test methods (see Table 1).

NOTE 5—**Caution:** The sample may contain ground rubber particles that tend to float or settle. It is therefore very important that samples be poured or tested as soon as possible after stirring to provide representative test specimens throughout which the rubber particles are uniformly dispersed.

4.3.3 The pre-blended sample shall be raised to temperature, stirred, tested for viscosity or poured for other acceptance tests, or both, within 4 h of time of placement in heated oven.

5. Testing

5.1 Note that the presence of discrete rubber particles in the asphalt-rubber may influence test procedures and results, and

may increase variation in measurements. Additional replicate samples may be prepared or measurements may be repeated, as appropriate. Precision of respective tests has not been determined and may vary with asphalt-rubber formulation.

5.2 *Table 1 Acceptance Tests*—Perform Table 1 acceptance tests according to the standard test methods referenced in Table 1, except for apparent viscosity which shall be modified as follows:

5.3 *Apparatus*—HA series Brookfield viscometers are recommended for testing apparent viscosity of asphalt-rubber binders, but LV and RV series models may also be used with the appropriate spindles and rotation rates indicated in Table 1. Calibrate instrument according to the manufacturer's recommendations or as needed, but not necessarily before each test.

5.3.1 Other types of rotational viscometers may be used when correlated with Brookfield measurements. However, Brookfield shall be the referee.

5.4 *Apparent Viscosity*—Measure according to Method A of Test Method D 2196, with the following modifications:

5.4.1 After the entire sample reaches 175°C (347°F), adjust oven to maintain sample temperature at 175°C (347°F).

5.4.2 Prepare sample in accordance with 4.3. Do not shake and rest. Remove sample from oven to preheated hot plate or heating mantle and stir it vigorously and thoroughly.

5.4.3 Make all apparent viscosity measurements at a temperature of 175° ± 1°C (347° ± 2°F). Acclimate the appropriate spindle in the sample for at least 1 min before testing. Stir again immediately before starting spindle rotation at the appropriate rate according to Table 1 of this specification. Record the peak dial or digital reading to measure apparent viscosity of the asphalt-rubber system. If additional measurements are desired, stop spindle rotation and stir sample thoroughly first.

6. Keywords

6.1 asphalt; crm; crumb rubber modified; ground-tire rubber; rubber; wet process

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. CLIMATE GUIDELINES TO ACCOMPANY TABLE 1

X1.1 This appendix covers suggested climate guidelines for usage of the three types of asphalt-rubber (A-R) binders in Table 1. However, no restrictions are implied or intended for use of the respective A-R binders in the climate ranges presented in this appendix. These guidelines may be modified as justified by the familiarity and experience of the engineer with asphalt-rubber as well as with local paving materials and construction practices. For example, modifications of the suggested guidelines may be made dependent on traffic and roadway conditions and usage types: highways; major arterial, collector, industrial, or residential streets; or parking lots. Other considerations may include, but are not restricted to, chemical and rheological properties of the base asphalt cement and of the asphalt-rubber binder. Keeping in mind these considerations and that no restrictions are intended on the climate ranges at which a specific type of asphalt-rubber must be used, the following guidelines are provided to maximize performance of the asphalt-rubber binders.

X1.1.1 Type I binders typically include stiffer base asphalt cements. Type I binders are generally recommended for use in hot climate areas, defined as the following:

X1.1.1.1 Average monthly maximum ambient temperature is 43°C (110°F) or greater.

X1.1.1.2 Average monthly minimum ambient temperature is -1°C (30°F) or greater.

X1.1.2 Type II binders typically include softer grades of asphalt cement than Type I binders.

Type II binders are generally recommended for use in moderate climate areas, defined as the following:

X1.1.2.1 Average monthly maximum ambient temperature is 43°C (110°F) or lower.

X1.1.2.2 Average monthly minimum ambient temperature is -9°C (15°F) or greater.

X1.1.3 Type III binders typically include the softest grades of asphalt cements available, and may require softening additives to achieve the specified physical properties. Type III binders are generally recommended for use in cold climate areas, defined as the following:

X1.1.3.1 Average monthly maximum ambient temperature is 27°C (80°F) or lower.

X1.1.3.2 Average monthly minimum ambient temperature is -9°C (15°F) or lower.

NOTE X1.1—Descriptions of average monthly temperatures can be found in *Climatic Atlas of the United States*.⁷

⁷ *Climatic Atlas of the United States*, originally published by U.S. Department of Commerce, Environmental Science Services, Environmental Data Service and reprinted by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

 **D 6114**

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

Standard Special Provisions Specifications Pavements - Section 39.

CRUMB RUBBER MODIFIER (CRM)

Crumb rubber modifier (CRM) shall consist of a combination of scrap tire CRM and high natural CRM. The scrap tire CRM shall consist of ground or granulated rubber derived from a combination of automobile tires, truck tires or tire buffings. The high natural CRM shall consist of ground or granulated rubber derived from materials that utilize high natural rubber sources.

Steel and fiber separation may be accomplished by any method. Cryogenic separation, if utilized, shall be performed separately from and prior to grinding or granulating.

CRM shall be ground or granulated at ambient temperature. Cryogenically produced CRM particles which can pass through the grinder or granulator without being ground or granulated respectively shall not be used.

CRM shall not contain more than 0.01-percent wire (by mass of CRM) and shall be free of other contaminants, except fabric. Fabric shall not exceed 0.05-percent by mass of CRM. The test and method for determining the percent by mass of wire and fabric is available at the Transportation Laboratory, Pavement Branch, Telephone 916-227-7300, and will be furnished to interested persons upon request. A Certificate of Compliance certifying these percentages shall be furnished to the Engineer in conformance with the provisions in Section 6-1.07, "Certificates of Compliance," of the Standard Specifications.

The length of an individual CRM particle shall not exceed 4.75 mm.

The CRM shall be sufficiently dry so that the CRM will be free flowing and not produce foaming when combined with the blended paving asphalt and asphalt modifier mixture. Calcium carbonate or talc may be added at a maximum amount of 3 percent by mass of CRM to prevent CRM particles from sticking together. The CRM shall have a specific gravity between 1.1 and 1.2 as determined by California Test 208. Scrap tire CRM and high natural CRM shall be delivered to the production site in separate bags and shall be sampled and tested separately. CRM material shall conform to the following requirements of ASTM Designation: D 297:

SCRAP TIRE CRUMB RUBBER MODIFIER

Test Parameter	Percent	
	Min.	Max.
Acetone Extract	6.0	16.0
Ash Content	—	8.0
Carbon Black Content	28.0	38.0
Rubber Hydrocarbon	42.0	65.0
Natural Rubber Content	22.0	39.0

HIGH NATURAL CRUMB RUBBER MODIFIER

Test Parameter	Percent	
	Min.	Max.
Acetone Extract	4.0	16.0
Rubber Hydrocarbon	50.0	—
Natural Rubber Content	40.0	48.0

The CRM for asphalt-rubber binder shall conform to the gradations specified below when tested in conformance with the requirements in ASTM Designation: C 136, except as follows:

- A. Split or quarter 100 g \pm 5 g from the CRM sample and dry to a constant mass at a temperature of not less than 57°C or more than 63°C and record the dry sample mass. Place the CRM sample and 5.0 g of talc in a 0.5-L jar. Seal the jar, then shake it by hand for a minimum of one minute to mix the CRM and the talc. Continue shaking or open the jar and stir until particle agglomerates and clumps are broken and the talc is uniformly mixed.
- B. Place one rubber ball on each sieve. Each ball shall have a mass of 8.5 g \pm 0.5 g, have a diameter of 24.5 mm \pm 0.5 mm, and shall have a Shore Durometer "A" hardness of 50 \pm 5 in conformance with the requirements in ASTM Designation: D 2240. After sieving the combined material for 10 minutes \pm 1 minute, disassemble the sieves. Material adhering to the bottom of a sieve shall be brushed into the next finer sieve. Weigh and record the mass of the material retained on the 2.36-mm sieve and leave this material (do not discard) on the scale or balance. Observed fabric balls shall remain on the scale or balance and shall be placed together on the side of the scale or balance to prevent the fabric balls from being covered or disturbed when placing the material from finer sieves onto the scale or balance. The material retained on the next finer sieve (2.00-mm sieve) shall be added to the scale or balance. Weigh and record that mass as the accumulative mass retained on that sieve (2.00-mm sieve). Continue weighing and recording the accumulated masses retained on the remaining sieves until the accumulated mass retained in the pan has been determined. Prior to discarding the CRM sample, separately weigh and record the total mass of fabric balls in the sample.
- C. Determine the mass of material passing the 75- μ m sieve (or mass retained in the pan) by subtracting the accumulated mass retained on the 75- μ m sieve from the accumulated mass retained in the pan. If the material passing the 75- μ m sieve (or mass retained in the pan) has a mass of 5 g or less, cross out the recorded number for the accumulated mass retained in the pan and copy the number recorded for the accumulated mass retained on the 75- μ m sieve and record that number (next to the crossed out number) as the accumulated mass retained in the pan. If the material passing the 75- μ m sieve (or mass

retained in the pan) has a mass greater than 5 g, cross out the recorded number for the accumulated mass retained in the pan, subtract 5 g from that number and record the difference next to the crossed out number. The adjustment to the accumulated mass retained in the pan is made to account for the 5 g of talc added to the sample. For calculation purposes, the adjusted total sample mass is the same as the adjusted accumulated mass retained in the pan. Determine the percent passing based on the adjusted total sample mass and record to the nearest 0.1 percent.

CRM GRADATIONS

Sieve Size	Scrap Tire CRM Percent Passing	High Natural CRM Percent Passing
2.36-mm	100	100
2.00-mm	98-100	100
1.18-mm	45-75	95-100
600- μ m	2-20	35-85
300- μ m	0-6	10-30
150- μ m	0-2	0-4
75- μ m	0	0-1

**Standard Special Provisions Specifications Pavements - Section 39
(Traducción).**

GRANOS DE CAUCHO MODIFICADOR (GCM)

Los granos de caucho modificador (GCM) consistirán de una combinación de trozos de neumático GCM y caucho natural GCM. Los trozos de neumático consistirán de caucho molido o granulado derivado de una combinación de neumáticos de automóviles, camiones o desechos de neumáticos. El caucho natural GCM consistirá de caucho molido o granulado derivado de materiales que utilicen fuentes de caucho natural.

La separación del acero y las fibras puede ser lograda por algún método. La separación Criogénica, si es utilizada, será ejecutada separadamente y antes de la trituración o granulación.

El GCM deberá ser molido o granulado a temperatura ambiente. Las partículas producidas criogénicamente que puedan pasar a través del granulador sin ser molidas o granuladas respectivamente deberán no ser usadas.

El GCM no contendrá más que 0.01-porciento de alambre (por peso de GCM) y estará libre de otros contaminantes excepto lona. La lona no excederá 0.05-porciento en peso del GCM. El ensayo y método para determinar el porcentaje por peso del alambre y lona esta disponible en el Transportation Laboratory, Pavement Branch, Teléfono 916-227-7300, y estará a disposición de las personas interesadas en el tema. Un Certificado de Cumplimiento certificando estos porcentajes será entregado al Ingeniero de acuerdo a las provisiones de la Sección 6-1.07, "Certificates of Compliance," of the Standard Specifications.

La longitud de una partícula individual de GCM no excederá los 4.75 mm.

El GCM estará lo suficientemente seco tal que pueda fluir libremente y no producir humos cuando sea combinado en el pavimento asfáltico mezclado y en la mezcla asfáltica modificada. Puede añadirse Carbonato de Calcio en una cantidad máxima de 3 porciento en peso del GCM para prevenir que las partículas de GCM se aglutinen entre ellas. El GCM tendrá una gravedad específica entre 1.1 y 1.2 como es determinado por el Ensayo California Test 208. Los pedazos de neumático y el caucho natural GCM serán entregados en el sitio de la producción en envases separados y deberán ser muestreados y ensayados por separado. El material GCM estará de acuerdo con los siguientes requisitos de la Norma ASTM Designación: D 297:

**TROZOS DE NEUMATICO - GRANOS DE CAUCHO
MODIFICADOR**

Parámetro de Ensayo	Porcentaje	
	Mín.	Máx.
Extracto de Acetona	6.0	16.0
Contenido de Ceniza	—	8.0
Contenido de Carbón Negro	28.0	38.0
Hidrocarburo de Caucho	42.0	65.0
Contenido de Caucho Natural	22.0	39.0

**CAUCHO NATURAL - GRANOS DE CAUCHO
MODIFICADOR**

Parámetro de Ensayo	Porcentaje	
	Mín.	Máx.
Extracto de Acetona	4.0	16.0
Hidrocarburo de Caucho	50.0	—
Contenido de Caucho Natural	40.0	48.0

EL GCM para ligantes caucho asfalto estará conforme según las gradaciones especificadas abajo cuando sea ensayada de acuerdo con las exigencias de la norma ASTM Designación: C 136, excepto como sigue:

- A. Cuartear 100 g \pm 5 g de una muestra de GCM y séquese a temperatura hasta el peso constante a una temperatura no menor que 57°C o mayor que 63°C y registre el peso seco de la muestra. Coloque la muestra de GCM y 5.0 g de "taic" en un recipiente de 0.5-L. Selle el recipiente, agite manualmente la mezcla de estos por un mínimo de un minuto. Continúe agitando o abra el recipiente y verificar si están uniformemente mezcladas.
- B. Coloque una bola de caucho en cada tamiz. Cada bola tendrá una masa de 8.5 g \pm 0.5 g, tendrá un diámetro de 24.5 mm \pm 0.5 mm, y tendrá un Shore Durometer "A" hardness de 50 \pm 5 de acuerdo con las exigencias de la norma ASTM Designación: D 2240. Después tamizar el material combinado por 10 minutos \pm 1 minuto, separe los tamices. El Material adherido en el inferior del tamiz deberá ser pasado al próximo tamiz mas fino. Pese y registre la masa del material retenido en el tamiz de 2.36-mm y separe este material (no lo deseche) en la balanza. Las bolas de lona observadas serán retenidas en la balanza y serán colocadas juntas en la balanza para prevenir que las bolas de lona sean cubiertas o disturbadas cuando se coloque el material de los tamices más finos en la balanza. El material retenido en el próximo tamiz más fino (2.00-mm) será añadido a la balanza. Pese y registre aquella masa como la masa acumulativa retenida en el tamiz (2.00-mm). Continúe pesando y registrando las masas acumuladas retenidas en el tamiz restante hasta que la masa retenida acumulada en el fondo haya sido determinada. Antes de eliminar la muestra de GCM, pese separadamente y registre el peso total de las bolas de lona en la muestra.

- C. Determine el peso del material pasante el tamiz de 75- μm (o peso retenido en el fondo) restando la masa retenida acumulada en el tamiz 75- μm de la masa retenida acumulada en el fondo. Si el material pasante el tamiz 75- μm (o peso retenido en el fondo) tiene una masa de 5 g o menos, cruce el numero de registrado del peso acumulado retenido en el fondo y copie el numero registrado para el peso retenido acumulado en el tamiz 75- μm y registre aquel numero (próximo numero a cruzar) como la masa acumulada en el fondo. Si el material pasante el tamiz de 75- μm (o peso retenido en el fondo) tiene un peso mayor que 5 g, cruce el numero grabado para el peso acumulado retenido en el fondo, reste 5 g de aquel numero y registre la diferencia próxima al numero cruzado. El ajuste del peso retenido acumulado en el fondo es hecho a cuenta de los 5 g de "falc" añadido a la muestra. Para propósitos de cálculo, el peso total de la muestra ajustado es el mismo que el peso ajustado retenido acumulado en el fondo. Determine el porcentaje pasante basado en el peso total ajustado total de la muestra y registre con aproximación al 0.1 por ciento.

GRADACIONES DE GCM:

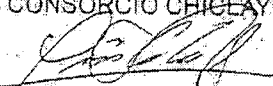
Tamaño de tamiz	Trozos de Neumatico GCM Porcentaje Pasante	Caucho Natural GCM Porcentaje Pasante
2.36-mm	100	100
2.00-mm	98-100	100
1.18-mm	45-75	95-100
600- μm	2-20	35-85
300- μm	0-6	10-30
150- μm	0-2	0-4
75- μm	0	0-1

ANEXO D
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Análisis de precios unitarios

OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGUYAPE
 TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGUYAPE
 FECHA: 31/12/2003

Partida	03.03	Descripción : IMPRIMACION BITUMINOSA						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,000.0000	EQ. 3,000.0000				Unidad: m2	0.39
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
	Mano de Obra							
0190020001	CAPATAZ		hh	0.5000	0.0013	5.86		0.01
0190020010	OPERARIO		hh	1.0000	0.0027	2.85		0.01
0190020020	OPERADOR		hh	4.5000	0.0120	2.85		0.03
0190020040	PEON		hh	8.0000	0.0213	2.30		0.05
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	0.10		0.01
	Equipos							0.11
0390080001	COMPRESORA NEUMATICA		hm	1.0000	0.0027	21.00		0.06
0390090003	BARREDORA MECANICA		hm	1.0000	0.0027	10.00		0.03
0390120001	TRACTOR AGRICOLA		hm	1.0000	0.0027	21.00		0.06
0390140001	CAMION IMPRIMADOR 1800GL		hm	1.0000	0.0027	25.00		0.07
	Subpartidas							0.22
9090010.12006	ZARANDEO DE MATERIALES	(FOLIO 112)	m3		0.0200	2.94		0.06
								0.06

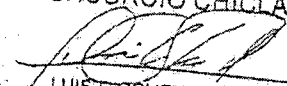
CONSORCIO CHICLAYO

 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal

Análisis de precios unitarios

OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA: 31/12/2003

Partida	03.04	Descripción: CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E=0.075M (3")						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 240.0000	EQ. 240.0000				Unidad: m3	33.87
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial US
	Mano de Obra							
0190020001	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO			hh	13.0000	0.4333	2.85	1.23
0190020020	OPERADOR			hh	7.5000	0.2500	2.85	0.71
0190020040	PEON			hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		5.0000	2.45	0.12
	Equipos							2.57
0390040002	RODILLO NEUMATICO 9-26 TN			hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390040003	RODILLO TANDEM 6.5 TN			hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390050001	PAVIMENTADORA 95 HP			hm	1.0000	0.0333	60.00	2.00
0390080001	COMPRESORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
0390120001	TRACTOR AGRICOLA			hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
	Subpartidas							5.46
909001012005	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA	(FOLIO III)		m3		1.0000	25.84	25.84

CONSORCIO CHICLAYO



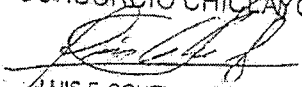
LUIS F. COHEN SOPPRANI
Representante Legal.

Análisis de precios unitarios

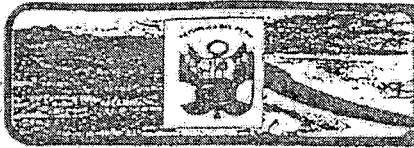
OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA: 31/12/2003

Partida	03.05	Descripción : BERMAS ASFALTADAS E=0.075 M (3")						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 240.0000	EQ. 240.0000				Unidad: m3	33.87
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US	Parcial US
	Mano de Obra							
0190020001	CAPATAZ			hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO			hh	13.0000	0.4333	2.85	1.23
0190020020	OPERADOR			hh	7.5000	0.2500	2.85	0.71
0190020040	PEON			hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		5.0000	2.45	0.12
								2.57
	Equipos							
0390040002	RODILLO NEUMATICO 9-26 TN			hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390040003	RODILLO TANDEM 6.5 TN			hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390050001	PAVIMENTADORA 95 HP			hm	1.0000	0.0333	60.00	2.00
0390080001	COMPRESORA NEUMATICA			hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
0390120001	TRACTOR AGRICOLA			hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
								5.46
	Subpartidas							
909001012005	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA			m3		1.0000	25.84	25.84
								25.84

CONSORCIO CHICLAYO



LUIS F. COHEN SOPPRANI
Representante Legal

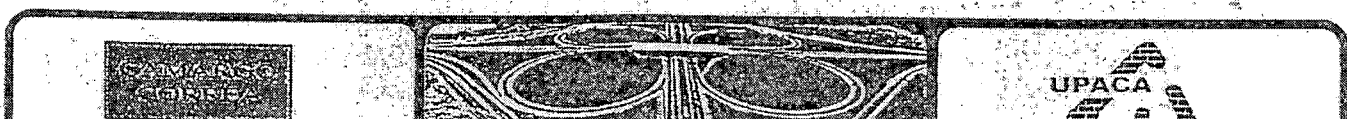


Análisis de precios unitarios

OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE.
TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
FECHA: 31/12/2003

Partida	03.06	Descripción : ASFALTO LIQUIDO RC-250						
Rendimiento	gl/DIA	MÓ.	EQ.			Unidad: gl		1.36
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US	Parcial US
0213000006	ASFALTO RC-250		Materiales	gl		1.0000	1.36	1.36
								1.36


CONSORCIO CHICLAYO
[Signature]
LUIS F. COHEN SOPPRANI
Representante Legal



Análisis de precios unitarios

OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA: 31/12/2003

Partida	03.07	KEROSENE							
Rendimiento	g/DIA	MO.	EQ.				Unidad: gl		2.27
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US		Parcial US
0234020001	KEROSENE		Materiales	gl		1.0000	2.27		2.27
									2.27

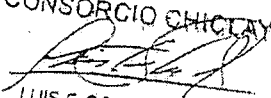
CONSORCIO CHICLAYO

 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal



Análisis de precios unitarios

OBRA: REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA: 31/12/2003

Partida	03.08	Descripción : RELLENO MINERAL (FILLER)						
Rendimiento	kg/DIA	MO.	EQ.			Unidad: kg	0.22	
Código	Descripción	Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
0190020040	PEON	Mano de Obra		hh		0.0080	2.30	0.02
								0.02
0204000005	FILLER	Materiales		kg		1.0000	0.20	0.20
								0.20

CONSORCIO CHICLAYO

 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal



Análisis de precios unitarios

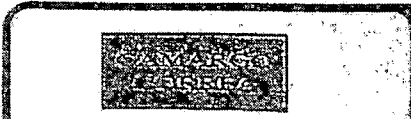
OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
FECHA: 31/12/2003

Partida 03.09 Descripción: ADITIVO PARA ASFALTO

Rendimiento	kg/DIA	MO.	EQ.	Unidad:	kg	7.35
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
0230230007	Materiales ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	kg		1.0000	7.35	7.35
						7.35

CONSORCIO CHICLAYO

LUIS F. COHEN SOPPRANI
Representante Legal




Análisis de precios unitarios

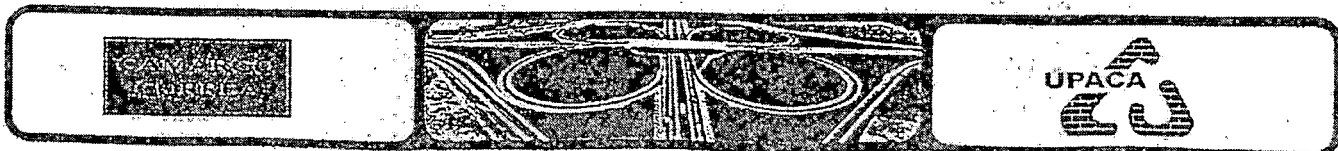
OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGÓYAPE
 TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGÓYAPE
 FECHA: 31/12/2003

Partida 03.10 Descripción : CEMENTO ASFALTICO. PEN 60/70

Rendimiento	g/DIA	MO.	EQ.	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
0213000007	ASFALTO SOLIDO DE PAVIMENTO PEN 60/70-85/100			gl		1.0000	1.21	1.21

CONSORCIO CHICLAYO


 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal





Análisis de precios unitarios de subpartidas

OBRA: RÉHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
TRAMO: CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
FECHA: 31/12/2003

Table with columns: Partida, Rendimiento, Descripción Recurso, Descripción, Unidad, Cuadrilla, Cantidad, Precio U\$, Parcial U\$. Includes entries for OPERADOR and CAMION VOLQUETE 15 M3.

Handwritten notes in Spanish: 'SI ES EL MISMO CASO QUE EN LA PARTIDA 400...', 'SIQUE PARA LA PARTIDA...', '5.12...'

CONSORCIO CHICLAYO

Signature of Luis E. Cohen Sopprani
LUIS E. COHEN SOPPRANI
Representante Legal



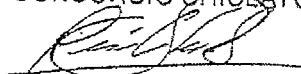
Análisis de precios unitarios de subpartidas

OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA 31/12/2003

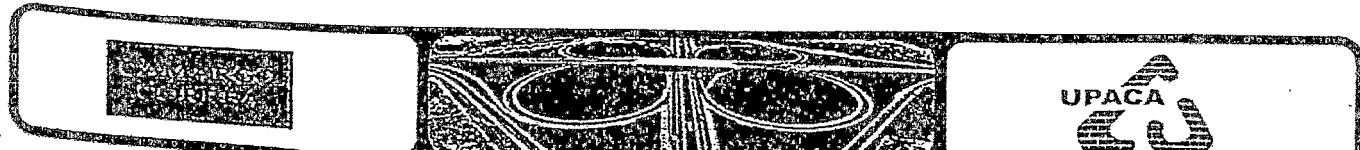
Partida	Descripción	MO.1,015.67	EQ.1,015.67	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Rendimiento	m3k/DIA	Descripción: (909001010703-0402012-01) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D>1KM					Unidad: m3k	0.28
Código	Descripción Recurso	Mano de Obra						
0190020020	OPERADOR			hh	1.5000	0.0118	2.85	0.03
		Equipos						0.03
0390070001	CAMION VOLQUETE 15 M3			hm	1.0000	0.0079	32.00	0.25
								0.25

Handwritten notes:
 0.118 x 1.5000 = 0.177
 0.0079 x 1.0000 = 0.0079
 0.177 + 0.0079 = 0.1849

CONSORCIO CHICLAYO



LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal



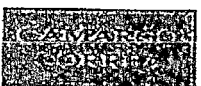
Análisis de precios unitarios de subpartidas

OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA 31/12/2003

Partida	Descripción: (909001010706-0402012-01) CARGUIO							
Rendimiento	m3/DIA	MO.480.00	EQ.480.00			Unidad: m3	0.87	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
		Mano de Obra						
0190020020	OPERADOR			hh	1.5000	0.0250	2.85	0.07
		Equipos						0.07
0390020001	CARGADOR FRONTAL 170 HP			hm	1.0000	0.0167	48.00	0.80
								0.80

CONSORCIO CHICLAYO

(Signature)
 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal





REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO-CHONGOYAPE



Análisis de precios unitarios de subpartidas

OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA 31/12/2003

Partida	Rendimiento	Descripción	MO.400.00	EQ.400.00	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Descripción: (909001012003-0402012-01) TRITURACION DE AGREGADOS									
Código	Descripción Recurso	Mano de Obra			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
0190020001	CAPATAZ				hh	1.0000	0.0200	5.86	0.12
0190020010	OPERARIO				hh	4.0000	0.0800	2.85	0.23
0190020020	OPERADOR				hh	4.5000	0.0900	2.85	0.26
0190020040	PEON				hh	2.0000	0.0400	2.30	0.09
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES				%MO		5.0000	0.70	0.04
									0.74
Equipos									
0390020001	CARGADOR FRONTAL 170 HP				hm	1.0000	0.0200	48.00	0.96
0390090002	GRUPO ELECTROGENO 150 KW				hm	2.0000	0.0400	18.00	0.72
0390130003	CHANCADORA PRIMARIA-SECUNDARIA 75 TN/HR				hm	1.0000	0.0200	75.00	1.50
									3.18
Subpartidas									
909001010702	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM		FOLIO 100		m3k		0.5000	1.29	0.65
909001010706	CARGUIO		FOLIO 102		m3		1.0000	0.87	0.87
									1.52

1.00 CAPATAZ (operario) 1.0000 0.0200 5.86 0.12
 3.00 OPERARIO 4.0000 0.0800 2.85 0.23
 4.50 OPERADOR 4.5000 0.0900 2.85 0.26
 2.00 PEON 2.0000 0.0400 2.30 0.09
 5.00 HERRAMIENTAS MANUALES %MO 5.0000 0.70 0.04
 0.74
 1.00 CARGADOR FRONTAL 170 HP 1.0000 0.0200 48.00 0.96
 2.00 GRUPO ELECTROGENO 150 KW 2.0000 0.0400 18.00 0.72
 1.00 CHANCADORA PRIMARIA-SECUNDARIA 75 TN/HR 1.0000 0.0200 75.00 1.50
 3.18
 0.50 TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM FOLIO 100 m3k 0.5000 1.29 0.65
 1.00 CARGUIO FOLIO 102 m3 1.0000 0.87 0.87
 1.52

CONSORCIO CHICLAYO
 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal



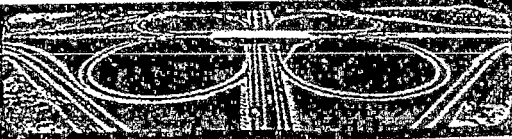
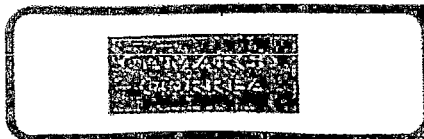
Análisis de precios unitarios de subpartidas

OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 TRAMO CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 FECHA 31/12/2003

Partida	Descripción:	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US:	Parcial US:
Rendimiento	m3/DIA					25.84
	MO.240.00					
	EQ.240.00					
Código	Descripción Recurso					
	Mano de Obra					
0190020001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO	hh	4.0000	0.1333	2.85	0.38
0190020040	PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.89	0.04
	Materiales					
0253000003	PETROLEO INDUSTRIAL	gf		4.0000	1.28	5.12
	Equipos					
0390020001	CARGADOR FRONTAL 170 HP	hm	1.0000	0.0333	48.00	1.60
0390090002	GRUPO ELECTROGENO 150 KW	hm	1.0000	0.0333	18.00	0.60
0390130001	PLANTA DE ASFALTO 30-100 TN/HR	hm	1.0000	0.0333	298.24	9.93
	Subpartidas					
909001012003	TRITURACION DE AGREGADOS	m3		1.2400	5.44	6.75
909001012006	ZARANDEO DE MATERIALES	m3		0.3100	2.94	0.91
						7.66

CONSORCIO CHICLAYO

[Signature]
 LUIS F. COHEN SOPPRANI
 Representante Legal



Análisis de precios unitarios de subpartidas

OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO - CHONGUYAPE
TRAMO CARRETERA CHICLAYO - CHONGUYAPE
FECHA 31/12/2003

Partida	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Rendimiento	m3/DIA	MO.280.00 EQ.280.00				Unidad: m3	2.94
		Descripción: (909001012006-0402012-01) ZARANDEO DE MATERIALES					
Código	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
		Mano de Obra					
0190020001	CAPATAZ		hh	1.0000	0.0266	5.86	0.17
0190020020	OPERADOR		hh	3.0000	0.0857	2.85	0.24
0190020040	PEON		hh	4.0000	0.1143	2.30	0.26
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	0.67	0.03
							0.70
		Equipos					
0390020001	CARGADOR FRONTAL 170 HP		hm	1.0000	0.0286	48.00	1.37
							1.37
		Subpartidas					
909001010706	CARGUIO		m3		1.0000	0.87	0.87
							0.87

FOLIO 102

CONSORCIO CHICLAYO

[Signature]
LUIS F. COHEN SOPPRANI
Representante Legal

PRESUPUESTO OFERTADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P. U. (US \$)	TOTAL (US \$)
01.00	OBRAS PRELIMINARES				1,332,114.12
01.01	Movilización y Desmovilización de Equipo	Glb	1.00	335,080.00	335,080.00
01.02	Trazo y Replanteo	Km	59.22	638.96	37,839.21
01.03	Explotación de Cantera	m3	252,957.84	2.45	619,746.71
01.04	Demolición de Estructuras	m3	1,452.00	70.47	102,322.44
01.05	Desbroce y Limpieza	Ha	59.22	4,004.15	237,125.76
02.00	EXPLANACIONES				616,746.89
02.01	Corte de Material Suelto	m3	44,039.45	2.33	102,611.92
02.02	Corte en Roca Suelta	m3	118.00	3.40	401.20
02.03	Corte en Roca Fija	m3	4,262.60	6.91	29,454.57
02.04	Relleno con Material Propio Excedente de Corte	m3	4,205.45	4.56	19,176.85
02.05	Relleno con Material de Préstamo de Cantera	m3	68,808.62	4.56	313,767.31
02.06	Perfilado y Compactado de Subrasante en Zona de Corte	m2	237,575.25	0.62	147,296.66
02.07	Remoción de Derrumbes	m3	2,060.40	1.96	4,038.38
03.00	PAVIMENTOS				6,620,233.90
03.01	Recuperación de Pavimento Asfáltico	m2	608,485.50	1.33	809,285.72
03.02	Base Granular e = 0.20 m	m3	115,122.97	12.69	1,460,910.49
03.03	Imprimación Bituminosa	m2	547,378.24	0.39	213,477.51
03.04	Carpeta Asfáltica Caliente e = 0.075 m (3")	m3	30,157.52	33.87	1,021,435.20
03.05	Bermas Asfaltadas e = 0.75 m (3")	m3	11,192.58	33.87	379,092.68
03.06	Asfalto Líquido RC-250	gln	175,161.04	1.36	238,219.01
03.07	Kerosene	gln	43,790.26	2.27	99,403.89
03.08	Relleno Mineral (Filler)	Kg	1,033,752.50	0.22	227,425.55
03.09	Aditivo para Asfalto	Kg	27,859.63	7.35	204,768.28
03.10	Cemento Asfáltico PEN 60/70	gln	1,447,253.50	1.21	1,751,176.74
03.11	Material Granular de Préstamo para Recuperación de Pavimento	m3	18,254.57	11.78	215,038.83
04.00	TRANSPORTE				1,727,253.26
04.01	Eliminación de Escombros a Botaderos	m3	4,994.35	9.98	49,843.61
04.02	Transporte de Material Granular D <= 1 Km	m3-Km	220,728.02	1.29	284,739.15
04.03	Transporte de Material Granular D > 1 Km	m3-Km	2,725,757.25	0.28	763,212.03
04.04	Transporte de Agregados de Cantera 3 Tomas a Planta de Asfalto	m3-Km	1,896,937.80	0.19	360,418.18
04.05	Transporte de Mezcla Asfáltica D <= 1 Km	m3-Km	41,350.10	1.70	70,295.17
04.06	Transporte de Mezcla Asfáltica D > 1 Km	m3-Km	621,078.50	0.32	198,745.12
05.00	OBRAS DE ARTE				2,016,029.31
05.01	Excavación no Clasificada para Estructuras	m3	11,479.22	17.46	200,427.18
05.02	Relleno para Estructuras	m3	4,914.84	15.63	76,818.95
05.03	Concreto F'c = 140 Kg/cm2	m3	910.00	79.94	72,745.40
05.04	Concreto F'c = 210 Kg/cm2	m3	7,930.58	89.48	709,628.30
05.05	Concreto Ciclópico F'c = 140 Kg/cm2 + 30% P.G.	m3	581.00	53.64	31,164.84
05.06	Acero de Refuerzo Fy = 4,200 Kg/cm2	Kg	180,240.74	1.16	209,079.26
05.07	Encofrado Y Desencofrado	m2	16,211.66	15.83	256,630.58
05.08	Encofrado Y Desencofrado de Badén	m2	4,525.81	16.83	76,169.38
05.09	Zanja de Coronación	m	850.00	10.38	8,823.00
05.10	Enrocado de Protección	m3	3,633.60	73.51	267,105.94
05.11	Junta de Dilatación Water Stop (Baden)	ml	1,965.00	7.19	14,128.35
05.12	Piedra Emboquillada	m3	166.40	53.43	8,890.75
05.13	Limpieza de Alcantarillas	und	29.00	67.89	1,968.81
05.14	Limpieza de Cauce	m3	6,560.00	5.06	33,193.60
05.15	Barandas Metálicas en Puentes y Pontones	m	120.00	127.63	15,315.60
05.16	Drenaje de Muros	und	39.00	77.70	3,030.30
05.17	Sub Drenaje de Geotextil	m2	1,215.00	17.63	21,420.45
05.18	Tubos de Sub Drenaje	und	78.00	45.45	3,545.10
05.19	Junta de Dilatación - Tapajunta Metálica	m	88.00	67.54	5,943.52
06.00	SEÑALIZACION				203,247.25
06.01	Señales Preventivas	und	32.00	116.62	3,731.84
06.02	Señales Reglamentarias	und	17.00	124.20	2,111.40
06.03	Señales Informativas	m2	15.72	828.87	13,029.84
06.04	Marcas en el Pavimento	m2	14,629.64	5.37	78,561.17
06.05	Tachas Bidireccionales	und	4,181.00	8.24	34,451.44
06.06	Guardavías y/o Terminales de Guardavías	ml	800.00	53.07	42,456.00
06.07	Postes Delineadores	und	794.00	34.24	27,186.56
06.08	Postes de Kilometraje	und	60.00	28.65	1,719.00
07.00	IMPACTO AMBIENTAL				157,308.80
07.01	Restauración de Canteras	m2	45,880.00	2.26	103,688.80
07.02	Restauración de Botaderos	m3	18,000.00	2.53	45,540.00
07.03	Reacondicionamiento de Areas de Campamento	m2	4,000.00	2.02	8,080.00
	COSTO DIRECTO				12,672,933.53
	COSTOS INDIRECTOS FIJOS		1.500000%		190,094.00
	COSTOS INDIRECTOS VARIABLES		22.772653%		2,885,963.15
	UTILIDAD		10.000000%		1,267,293.35
	SUB TOTAL				17,016,284.03
	IGV (%)		19.000000%		3,233,093.97
	TOTAL PROPUESTA ECONOMICA				20,249,378.00

RESUMEN DE METADOS

Obra CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
 Cliente PROVIAS NACIONAL - MTC
 Depart. LAMBAYEQUE Provincia CHICLAYO Distrito CHICLAYO

Item	Descripción	Unidad	Metrado
01.00	<u>OBRAS PRELIMINARES</u>		
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	GLB	1.00
01.02	TRAZO Y REPLANTEO	KM	59.22
01.03	EXPLOTACION DE CANTERA	m3	252,957.84
01.04	DEMOLICION DE ESTRUCTURAS	m3	1,452.00
01.05	DESBROCE Y LIMPIEZA	HA	59.22
02.00	<u>EXPLANACIONES</u>		
02.01	CORTE EN MATERIAL SUELTO	m3	44,039.45
02.02	CORTE EN ROCA SUELTA	m3	118.00
02.03	CORTE EN ROCA FIJA	m3	4,262.60
02.04	RELLENO CON MATERIAL PROPIO EXCEDENTE DE CORTE	m3	4,205.45
02.05	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO DE CANTERA	m3	68,808.62
02.06	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUBRASANTE EN ZONA DE CORTE	m2	237,575.25
02.07	REMOCION DE DERRUMBES	M3	2,060.40
03.00	<u>PAVIMENTO</u>		
03.01	RECUPERACION DE PAVIMENTO ASFALTICO	m2	608,465.50
03.02	BASE GRANULAR	m3	115,122.97
03.03	IMPRIMACION BITUMINOSA	m2	547,378.24
03.04	CARPETA ASFALTICA	m3	30,157.52
03.05	BERMAS ASFALTADAS	m3	11,192.58
03.06	ASFALTO LIQUIDO RC 250	gln	175,161.04
03.07	KEROSENE	gln	43,790.26
03.08	RELLENO MINERAL (FILLER)	kg	1,033,752.50
03.09	ADITIVO PARA ASFALTO	kg	27,859.63
03.10	DEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	gln	1,447,253.50
03.10	MATERIAL GRANULAR DE PRESTAMO P/RECUP DE PAV.	m3	18,254.57
04.00	<u>TRANSPORTE</u>		
04.01	ELIMINACION DE ESCOMBROS A BOTADEROS	m3	4,994.35
04.02	TRANSPORTE MATERIAL GRANULAR D<1 KM	M3K	220,728.02
04.03	TRANSPORTE MATERIAL GRANULAR D>1 KM	M3K	2,725,757.25
04.04	TRANS. DE AGREG. CANT. 3 TOMAS A PLANTA DE ASF.	m3	50,679.61
04.05	TRANSPORTE MEZCLA ASFALTICA D<=1 KM	M3K	41,350.10
04.06	TRANSPORTE MEZCLA ASFALTICA DE >1 KM	M3K	621,078.50
05.00	<u>OBRAS DE ARTE</u>		
05.01	EXCAV.NO CLASIF.PARA ESTRUCTURAS	M3	11,479.22
05.02	RELLENO PARA ESTRUCTURAS	M3	4,914.84
05.03	CONCRETO f'c = 140 KG/CM2	m3	910.00
05.04	CONCRETO f'c = 210 KG/CM2	m3	7,930.58
05.05	CONCRETO CICLOPEO f'c=140 KG/CM2 +30% P.G.	m3	581.00
05.06	ACERO DE REFUERZO FY=4,200 KG/CM2	KG	180,240.74
05.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	16,211.66
05.08	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE BADEN	m2	4,525.81
05.09	ZANJA DE CORONACION	m	850.00
05.10	ENROCADO DE PROTECCION	m3	3,633.60
05.11	JUNTA DE DILATACION WATER STOP (BADEN)	ML	1,965.00
05.12	PIEDRA EMBOQUILLADA	m2	166.40
05.13	LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS	und	29.00
05.14	LIMPIEZA DE CAUCES	m3	6,560.00
05.15	BARANDAS METALICAS EN PUENTES	m	120.00
05.16	DRENAJE DE MUROS	und	39.00
05.17	SUB DRENAJE CON GEOTEXTIL	m2	1,215.00
05.18	TUBOS DE SUB DRENAJE	und	78.00
05.19	JUNTA DE DILATACION - TAPAJUNTA METALICA		88.00

INGEOTSA

[Handwritten Signature]
 ING. AURORA ANTEZANA G.

ora
iente
part. CARRETERA CHICLAYO - CHONGOYAPE
PROVIAS NACIONAL - MTC
LAMBAYEQUE

Provincia CHICLAYO

Distrito CHICLAYO

Item	Descripción	Unidad	Metrado
06.00	<u>SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL</u>		
06.01	SEÑALES PREVENTIVAS	und	32.00
06.02	SEÑALES REGLAMENTARIAS	und	17.00
06.03	SEÑALES INFORMATIVAS	m2	15.72
06.04	MARCAS SOBRE EL PAVIMENTO	m2	14,629.64
06.05	TACHAS BIDIRECCIONALES	und	4,181.00
06.06	GUARDAVIAS NUEVOS (INCLUYE TERMINAL)	M	800.00
06.07	POSTES DELINEADORES	und	794.00
06.08	POSTES DE KILOMETRAJE	und	60.00
07.00	<u>IMPACTO AMBIENTAL</u>		
07.01	RESTAURACION DE CANTERAS	m2	45,380.00
07.02	RESTAURACION DE BOTADEROS	m3	18,000.00
07.03	REACONDICIONAMIENTO DE AREAS DE CAMPAMENTO	m2	4,000.00

INGEDISA
Aurora Antezana G.
ING AURORA ANTEZANA G.
APODERADA

MATERIAL PARA BASE Y CONCRETO ASFALTICO

00085

3.02 BASE GRANULAR e=0.20M

3.03 IMPRIMACION BITUMINOSA

3.04 CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE e = 0.075m (3")

3.05 BERMAS ASFALTADAS

DISEÑO	LONGITUD m	BASE e=0.20 m m ³	IMPRIMANTE <i>9m² x L</i> m ²	C.A.C e= 0.075 m m ³	BERMA c/lado e= 0.075 m m ³
SECCION TIPO	59,220.00	112,873.32	532,980.00	29,313.90	11,192.58
INTERSECCIONES	—	630.00	6,300.00	236.25	—
SOBREANCHO	—	1,619.65	8,098.24	607.37	—
TOTAL	59,220.00 m	115,122.97 m ³	547,378.24 m ²	30,157.52 m ³	11,192.58 m ³

INGENIERIA

Aurora A. Torres
 ING. AURORA A. TORRES
 APODERADA

METRADOS DE MATERIAL PARA BASE Y CONCRETO ASFALTICO

00087

TRAMO	LONG m	BASE Ancho prom=9,53m e=0,20 m m ³	IMPRIMANTE Ancho=9,00 m m ²	C.A.C Ancho=6,60m e= 0,075 m m ³	BERMA c/lado Ancho prom=1,26m e= 0,075 m m ³
KM 00 + 00 - KM 01 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 01 + 00 - KM 02 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 02 + 00 - KM 03 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 03 + 00 - KM 04 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 04 + 00 - KM 05 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 05 + 00 - KM 06 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 06 + 00 - KM 07 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 07 + 00 - KM 08 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 08 + 00 - KM 09 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 09 + 00 - KM 10 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 10 + 00 - KM 11 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 11 + 00 - KM 12 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 12 + 00 - KM 13 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 13 + 00 - KM 14 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 14 + 00 - KM 15 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 15 + 00 - KM 16 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 16 + 00 - KM 17 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 17 + 00 - KM 18 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 18 + 00 - KM 19 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 19 + 00 - KM 20 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 20 + 00 - KM 21 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 21 + 00 - KM 22 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 22 + 00 - KM 23 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 23 + 00 - KM 24 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 24 + 00 - KM 25 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 25 + 00 - KM 26 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 26 + 00 - KM 27 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 27 + 00 - KM 28 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 28 + 00 - KM 29 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 29 + 00 - KM 30 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 30 + 00 - KM 31 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 31 + 00 - KM 32 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 32 + 00 - KM 33 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 33 + 00 - KM 34 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 34 + 00 - KM 35 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 35 + 00 - KM 36 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 36 + 00 - KM 37 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 37 + 00 - KM 38 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 38 + 00 - KM 39 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 39 + 00 - KM 40 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 40 + 00 - KM 41 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 41 + 00 - KM 42 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 42 + 00 - KM 43 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 43 + 00 - KM 44 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 44 + 00 - KM 45 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 45 + 00 - KM 46 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 46 + 00 - KM 47 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 47 + 00 - KM 48 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 48 + 00 - KM 49 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 49 + 00 - KM 50 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 50 + 00 - KM 51 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 51 + 00 - KM 52 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 52 + 00 - KM 53 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 53 + 00 - KM 54 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 54 + 00 - KM 55 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 55 + 00 - KM 56 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 56 + 00 - KM 57 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 57 + 00 - KM 58 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 58 + 00 - KM 59 + 00	1,000.00	1,906.00	9,000.00	495.00	189.00
KM 59 + 00 - KM 59 + 220	220.00	419.32	1,980.00	108.90	41.58
TOTAL	59,220.00 m	112,873.32 m³	532,980.00 m²	29,313.90 m³	11,192.58 m³

SOBREANCHOS

CURVA	KILOMETRO	SENTIDO	TRANS.	RADIO m	LONGITUD m	SOBREANCHO m	BASE e = 0.20 m m ²	IMPRIMANTE m ²	C.A.C e = 0.075 m m ³
1	00+120.70	I	40	410	143.32	0.60	17.20	85.99	6.45
2	01+135.29	D							0.00
3	02+164.97	D							0.00
4	03+094.32	I	40	3500	141.35	0.30	8.48	42.41	3.18
5	04+285.40	I							0.00
6	04+853.57	D							0.00
7	05+915.81	I	40	7000	56.34	0.30	3.38	16.90	1.27
8	07+770.91	D							0.00
9	08+789.32	D							0.00
10	09+680.88	I							0.00
11	11+175.01	I	40	330	447.87	0.60	53.74	268.72	20.15
12	11+979.20	D	40	983	401.99	0.60	48.24	241.19	18.09
13	12+256.12	D	40	885	157.12	0.60	18.85	94.27	7.07
14	13+640.00	I							0.00
15	14+366.62	D	40	405	455.10	0.60	54.61	273.06	20.48
16	16+040.00	I							0.00
17	17+249.11	I	40	500	306.86	0.60	36.82	184.12	13.81
18	18+663.60	I							0.00
19	19+860.00	D							0.00
20	21+036.11	D	40	920	321.77	0.60	38.61	193.06	14.48
21	21+436.06	D	40	290	160.93	0.90	28.97	144.84	10.86
22	23+094.60	I	40	300	203.82	0.90	36.69	183.44	13.76
23	23+940.04	I	40	135	135.81	1.20	32.59	162.97	12.22
24	24+196.54	D	40	250	197.06	0.90	35.47	177.35	13.30
25	24+460.00	D					0.00		0.00
26	26+940.30	D	40	1000	298.92	0.60	35.87	179.35	13.45
27	28+468.41	D	40	100	27.38	1.50	8.21	41.07	3.08
28	32+040.00	I							0.00
29	33+600.00	D							0.00
30	34+686.33	D	40	1480	561.32	0.30	33.68	168.40	12.63
31	36+086.90	I	40	430	111.09	0.60	13.33	66.65	5.00
32	36+431.45	I	40	3000	40.36	0.30	2.42	12.11	0.91
33	36+659.46	I	40	320	225.31	0.90	40.56	202.78	15.21
34	38+450.67	D	40	305	384.60	0.90	69.23	346.14	25.96
35	38+972.58	I	40	180	65.52	1.20	15.72	78.62	5.90
36	39+200.00	I	40	1000	30.92	0.60	3.71	18.55	1.39
37	39+580.08	I	40	70	79.63	2.10	33.44	167.22	12.54
38	39+725.07	I	40	50	27.86	2.40	13.37	66.86	5.01
39	39+930.49	I	40	120	82.27	1.50	24.68	123.41	9.26
40	40+070.29	D	40	140	104.88	1.20	25.17	125.86	9.44
41	40+315.03	D	40	500	83.32	0.60	10.00	49.99	3.75
42	40+420.05	I	40	70	50.51	2.10	21.21	106.07	7.96
43	40+875.85	D	40	300	278.85	0.90	50.19	250.97	18.82
44	41+680.00	I							0.00
45	42+410.74	D	40	1000	146.83	0.60	17.62	88.10	6.61
46	43+901.93	I	40	360	216.26	0.90	38.93	194.63	14.60
47	45+804.40	D	40	830	477.10	0.60	57.25	286.26	21.47
48	46+909.39	D	40	940	416.62	0.60	49.99	249.97	18.75
49	47+578.56	D							0.00
50	48+550.70	I	40	195	228.67	1.20	54.88	274.40	20.58
51	48+178.48	D	40	350	296.24	0.90	53.32	266.62	20.00
52	48+554.80	D	40	250	131.29	0.90	23.63	118.16	8.86
53	49+724.58	I	40	220	112.91	0.90	20.32	101.62	7.62
54	50+135.97	D	40	350	121.72	0.90	21.91	109.55	8.22
55	50+740.80	I	40	470	220.40	0.60	26.45	132.24	9.92
56	50+971.99	I	40	190	144.22	1.20	34.61	173.06	12.98
57	51+169.43	D	40	400	125.72	0.60	15.09	75.43	5.66
58	51+417.47	I	40	600	130.50	0.60	15.66	78.30	5.87
59	51+801.912	D	40	1800	318.87	0.30	19.13	95.66	7.17
60	52+732.44	D	40	265	247.60	0.90	44.57	222.84	16.71
61	53+178.00	I	40	450	111.92	0.60	13.43	67.15	5.04
62	53+728.97	D	40	1100	249.00	0.30	14.94	74.70	5.60
63	54+295.14	I	40	265	272.45	0.90	49.04	245.21	18.39
64	54+702.29	D	40	1700	102.20	0.30	6.13	30.66	2.30
65	55+303.45	I	40	540	194.67	0.60	23.36	116.80	8.76
66	55+696.60	D	40	375	308.00	0.90	55.44	277.20	20.79
67	56+679.64	I	40	520	227.37	0.60	27.28	136.42	10.23
68	57+578.77	D	40	295	559.00	0.90	100.62	503.10	37.73
69	58+907.66	D	40	2000	359.25	0.30	21.56	107.78	8.08
TOTAL							1,619.65	8,098.24	607.37

[Handwritten signature]

Actualización del estudio definitivo de la carretera: Chiclayo - Chongoyape
Km: 00+000 al Km 59+220

03.00 PAVIMENTOS

03.03 IMPRIMACION BITUMINOSA

Ancho ml	Longitud ml	Total m2
9.24	59,220.00	547,378.24

03.06 ASFALTO LIQUIDO RC-250

Rendimiento del Mat. Gl/m2	Incidencia RC-250 %	Area Imprimada m2	Total Gl
0.40	80%	547,378.24	175,161.04

03.07 KEROSENE INDUSTRIAL

Rendimiento del Mat. Gl/m2	Incidencia RC-250 %	Area Imprimada m2	Total Gl
0.40	20%	547,378.24	43,790.26

INGEDISA
Aurora Antezana G.
ING. AURORA ANTEZANA G.
APODERADA

Actualización del estudio definitivo de la carretera: Chiclayo - Chongoyape
Km: 00+000 al Km 59+220

03.00 PAVIMENTOS

03.08 CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Rendimiento del Mat. Gl/m3	Volumen de Calzada + Berma m3	Total Gl/m3
35.00	41,350.10	1,447,253.50

INGEDISA
Aurora G.
INGENIERO AURORA ANTEZANA G.
APODERADA

RESUMEN DE METRADOS

3.00 PAVIMENTOS			
3.01 RECUPERACION DE PAVIMENTO ASFALTICO (Ver cuadro de Recuperacion de Pavimento Asfaltico)		m ²	370,910.25
3.02 BASE GRANULAR e = 0.20 m		m ²	115,122.97
Diseño Tipo	112,873.32 m ³		
Intersecciones	630.00 m ³		
Sobrecancho	1,619.65 m ³		
Total de Material de Base Granular =	115,122.97 m ³		
(Ver cuadro de resumen de metrado para base)			
3.03 IMPRIMACION BITUMINOSA (Ver cuadro de resumen de metrado asfaltico)		m ²	547,378.24
3.04 CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE e = 0,075 m (3") (Ver cuadro de resumen de metrado asfaltico)		m ³	30,157.52
3.05 BERMAS ASFALTADAS e = 0,075 m (3") (Ver cuadro de resumen de metrado asfaltico)		m ³	11,192.58
3.06 RELLENO MINERAL (FILLER)		kg	1,033,752.50
Dosificación : 25 kg/m ³ C.A.C			
Vol. De Carpeta Asfaltica =	30,157.52		
Vol. Bermas =	11,192.58		
Total =	41,350.10		
Peso _{relleno} = 25 x 41,350.10 =	1,033,752.50 kg.		
3.07 ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA Dosificación : 0.5% del Peso de Asfalto a utilizar por m ³ Peso Especifico = 3.85 kg/gl Cantidad por m ³ de M.A.C. = 3.85 kg/gl x 35gl /m ³ x 0.005 = 0.674 Vol. De Carpeta Asfaltica = 30,157.52 m ³ Vol. Bermas = 11,192.58 m ³ Total = 41,350.10 m ³ T. Aditivo Mej. A = 0.674 x 41,350.10 = 27,859.63 kg		kg	27,859.63
4.00 TRANSPORTE			
4.01 ELIMINACION DE ESCOMBROS A BOTADEROS Demolición de Estructuras Existentes :		m ³	4,994.35
Alcantarilla	1,062.00 m ³		
Baden	390.00 m ³		
Vderrumbe a remover con Transporte	2,060.40 m ³		
Vdesbroce y limpieza de Alcant.(aprox.) (592,200m.2XG.05m+29(und)x1m3poralcant.)x5%	1,481.95 m ³		
V _{total} =	4,994.35 m ³		
4.02 TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR d <= 1 KM		m ³ -km	202,473.45
4.03 TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR d > 1 KM		m ³ -km	2,446,644.96
4.04 TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA d <= 1 KM Vol. Carpeta Asfaltica = 41,350.10 m ³ D = 1.00 km V _{a franco} = 41,350.10 m ³ -km		m ³ -km	41,350.10
4.05 TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA d > 1 KM Vol. Carpeta Asfaltica = 41,350.10 m ³ Dm = 16.02 km Dm = 16.02 - 1.00 = 15.02 V _{a franco} = 41,350.10 x 15.02 = 621,078.50 m ³ -km		m ³ -km	621,078.50

41,350.10 m³

ANEXO E
CÁLCULOS

E.1 Análisis de Cantidades

ANÁLISIS DE CANTIDADES PARA EL DISEÑO MAC-02

Característica de los materiales

	Materiales Componentes	Peso Específico		% en peso de mezcla
		Aparente	Bulk	
Gb	Ligante Asfáltico PEN 60-70	1,0180		5,67%
Grm	Filler mineral (cal hidratada)	2,383		1,89%
Gag	Agregado grueso		2,710	41,49%
Gaf	Agregado fino		2,700	50,95%
	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000 (*) (%)			0,50%

(*) Incluido en el ligante asfáltico, % en peso del ligante asfáltico.

	Mezcla asfáltica	Peso Específico Bulk
Gmb	Peso Específico bruto de la muestra compactada (ton/m ³)	2,380

Pesos de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	ton/m ³
Wb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	ton	0,1349
Wrm	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0450
Wag	Agregado grueso	ton	0,9875
Waf	Agregado fino	ton	1,2126

Wr	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	ton	0,000675
-----------	--	-----	-----------------

Volúmenes de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
Vb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	m ³	0,1326
Vrm	Filler mineral (cal hidratada)	m ³	0,0189
Vag	Agregado grueso	m ³	0,3644
Vaf	Agregado fino	m ³	0,4491

Cantidades de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35,019
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,6747
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0450
ag	Agregado grueso	m ³	0,3644
af	Agregado fino	m ³	0,4491

Análisis de costo unitario por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³	Precio U\$	Parcial
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35,019	1,21	42,37
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,6747	7,35	4,96
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0450	220,00	9,90
ag	Agregado grueso	m ³	0,3644	8,38	3,05
af	Agregado fino	m ³	0,4491	8,38	3,76
Total precio por m³				U\$	64,04

ANÁLISIS DE CANTIDADES PARA EL DISEÑO MAC-02-AR-01

Característica de los materiales

	Materiales Componentes	Peso Especifico		% en peso de mezcla
		Aparente	Bulk	
Gbm	Ligante Modificado Caucho Asfalto (**)	1,0300		7,25%
Gc	Granos de Caucho Modificador	1,1000		1,31%
Gb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	1,0180		5,94%
Grm	Filler mineral (cal hidratada)	2,383		1,86%
Gag	Agregado grueso		2,710	40,80%
Gaf	Agregado fino		2,700	50,10%
	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000 (*) (%)			0,50%

(*) Incluido en el ligante asfáltico, % en peso del ligante asfáltico.

(**) Ligante total, suma del caucho y del cemento asfáltico.

	Mezcla asfáltica	Peso Especifico Bulk
Gmb	Peso Especifico bruto de la muestra compactada (ton/m ³)	2,335

Pesos de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	ton/m ³
Wc	Granos de Caucho Modificador	ton	0,0306
Wb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	ton	0,1387
Wrm	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0434
Wag	Agregado grueso	ton	0,9527
Waf	Agregado fino	ton	1,1698

Wr	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	ton	0,000846
-----------	--	-----	-----------------

Volúmenes de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
Vc	Granos de Caucho Modificador	m ³	0,0278
Vb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	m ³	0,1362
Vrm	Filler mineral (cal hidratada)	m ³	0,0182
Vag	Agregado grueso	m ³	0,3515
Vaf	Agregado fino	m ³	0,4333

Cantidades de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
gcm	Granos de Caucho Modificador	ton	0,0306
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35,993
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,8464
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0434
ag	Agregado grueso	m ³	0,3515
af	Agregado fino	m ³	0,4333

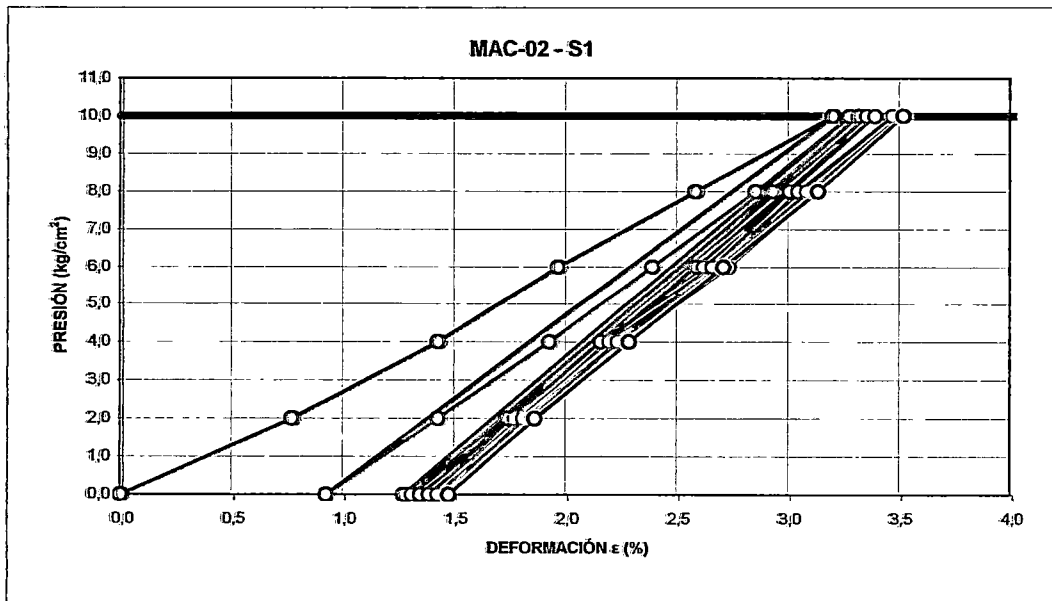
Análisis de costo unitario por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³	Precio U\$	Parcial
gcm	Granos de Caucho Modificador	ton	0,0306	265,00	8,11
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gl	35,993	1,21	43,55
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,8464	7,35	6,22
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0434	220,00	9,55
ag	Agregado grueso	m ³	0,3515	8,38	2,95
af	Agregado fino	m ³	0,4333	8,38	3,63
Total precio por m³				U\$	74,01

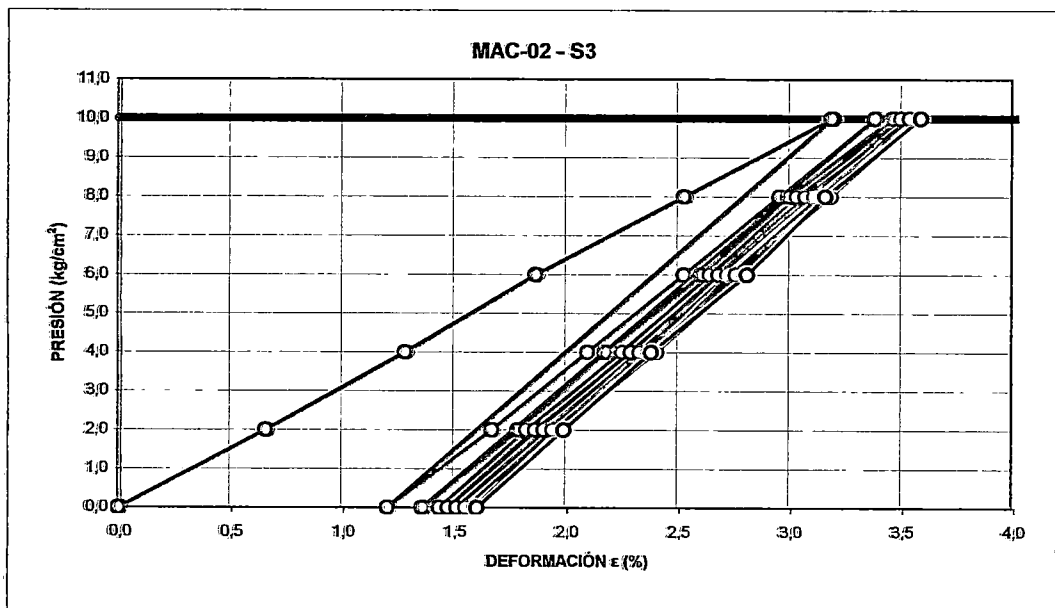
E.2 Cálculos Compresión Edométrica

Compresión Edométrica
Mezcla Convencional, 60 °C

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDMÉTRICA MAC-02

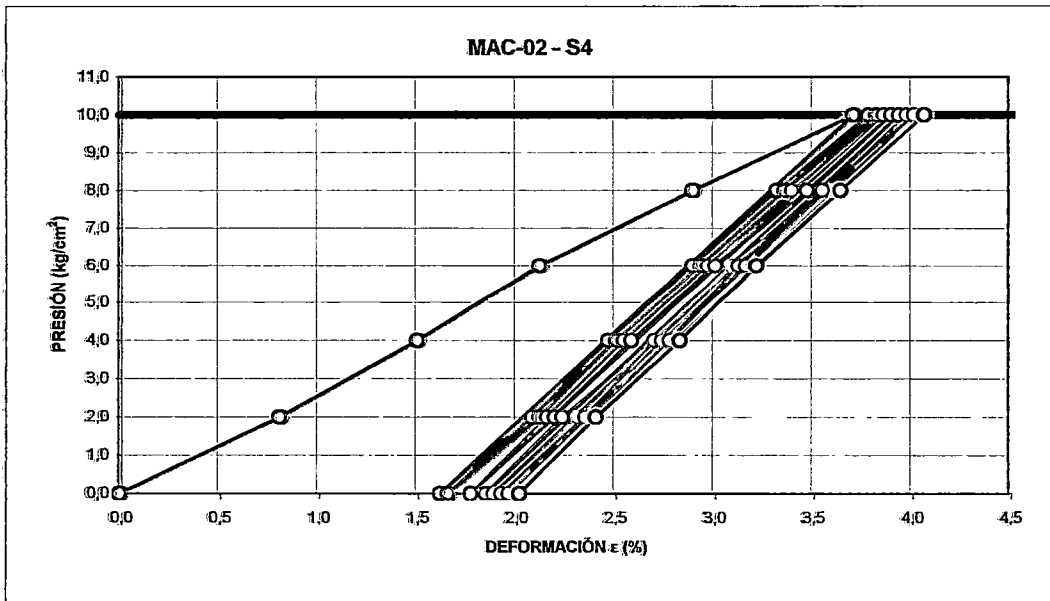


Muestra S1, 60 °C, 10 kg/cm².

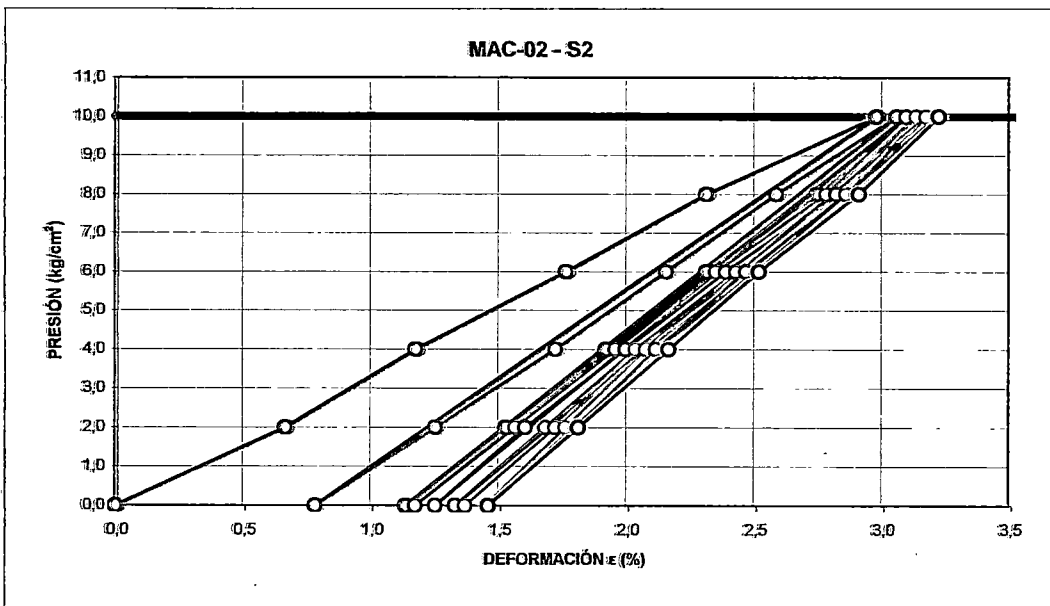


Muestra S3, 60 °C, 10 kg/cm².

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDMÉTRICA MAC-02



Muestra S4, 60 °C, 10 kg/cm².



Muestra S2, 60 °C, 10 kg/cm².

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / S1

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,59 cm
2,59 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	20	0,020	0,77
	4	37	0,037	1,43
	6	51	0,051	1,97
	8	67	0,067	2,58
	10	83	0,083	3,20
2	0	24	0,024	0,93
	2	37	0,037	1,43
	4	50	0,050	1,93
	6	62	0,062	2,39
	8	74	0,074	2,85
	10	85	0,085	3,28
3	0	33	0,033	1,27
	2	45	0,045	1,73
	4	56	0,056	2,16
	6	67	0,067	2,58
	8	76	0,076	2,93
	10	86	0,086	3,31
4	0	34	0,034	1,31
	2	46	0,046	1,77
	4	56	0,056	2,16
	6	68	0,068	2,62
	8	78	0,078	3,01
	10	87	0,087	3,35
5	0	35	0,035	1,35
	2	46	0,046	1,77
	4	56	0,056	2,16
	6	69	0,069	2,66
	8	78	0,078	3,01
	10	88	0,088	3,39
6	0	36	0,036	1,39
	2	46	0,046	1,77
	4	57	0,057	2,20
	6	70	0,070	2,70
	8	79	0,079	3,04
	10	90	0,090	3,47

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	37	0,037	1,43
	2	46	0,046	1,77
	4	57	0,057	2,20
	6	71	0,071	2,74
	8	80	0,080	3,08
	10	91	0,091	3,51
8	0	37	0,037	1,43
	2	46	0,046	1,77
	4	57	0,057	2,20
	6	71	0,071	2,74
	8	80	0,080	3,08
	10	91	0,091	3,51
9	0	38	0,038	1,46
	2	47	0,047	1,81
	4	58	0,058	2,24
	6	71	0,071	2,74
	8	81	0,081	3,12
	10	91	0,091	3,51
10	0	38	0,038	1,46
	2	48	0,048	1,85
	4	59	0,059	2,27
	6	71	0,071	2,74
	8	81	0,081	3,12
	10	91	0,091	3,51
11	0	38	0,038	1,46
	2	48	0,048	1,85
	4	58	0,058	2,24
	6	70	0,070	2,70
	8	81	0,081	3,12
	10	91	0,091	3,51
12	0	38	0,038	1,46
	2	48	0,048	1,85
	4	59	0,059	2,27
	6	70	0,070	2,70
	8	81	0,081	3,12
	10	91	0,091	3,51

Condición de Resiliencia:

E = 490 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / S2

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,48 cm
2,55 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	17	0,017	0,67
	4	30	0,030	1,18
	6	45	0,045	1,76
	8	59	0,059	2,31
	10	76	0,076	2,98
2	0	20	0,020	0,78
	2	32	0,032	1,25
	4	44	0,044	1,72
	6	55	0,055	2,16
	8	66	0,066	2,59
	10	78	0,078	3,06
3	0	29	0,029	1,14
	2	39	0,039	1,53
	4	49	0,049	1,92
	6	59	0,059	2,31
	8	70	0,070	2,74
	10	79	0,079	3,10
4	0	30	0,030	1,18
	2	40	0,040	1,57
	4	50	0,050	1,96
	6	60	0,060	2,35
	8	71	0,071	2,78
	10	79	0,079	3,10
5	0	32	0,032	1,25
	2	41	0,041	1,61
	4	51	0,051	2,00
	6	61	0,061	2,39
	8	72	0,072	2,82
	10	81	0,081	3,18
6	0	34	0,034	1,33
	2	43	0,043	1,69
	4	52	0,052	2,04
	6	62	0,062	2,43
	8	72	0,072	2,82
	10	80	0,080	3,14

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	35	0,035	1,37
	2	44	0,044	1,72
	4	52	0,052	2,04
	6	63	0,063	2,47
	8	73	0,073	2,86
	10	80	0,080	3,14
8	0	35	0,035	1,37
	2	44	0,044	1,72
	4	52	0,052	2,04
	6	63	0,063	2,47
	8	73	0,073	2,86
	10	81	0,081	3,18
9	0	37	0,037	1,45
	2	45	0,045	1,76
	4	53	0,053	2,08
	6	64	0,064	2,51
	8	74	0,074	2,90
	10	81	0,081	3,18
10	0	37	0,037	1,45
	2	46	0,046	1,80
	4	54	0,054	2,12
	6	63	0,063	2,47
	8	73	0,073	2,86
	10	82	0,082	3,21
11	0	37	0,037	1,45
	2	46	0,046	1,80
	4	54	0,054	2,12
	6	64	0,064	2,51
	8	74	0,074	2,90
	10	82	0,082	3,21
12	0	37	0,037	1,45
	2	46	0,046	1,80
	4	55	0,055	2,16
	6	64	0,064	2,51
	8	74	0,074	2,90
	10	82	0,082	3,21

Condición de Resiliencia:

E = 567 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / S3

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,53 cm
2,57 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	17	0,017	0,66
	4	33	0,033	1,28
	6	48	0,048	1,87
	8	65	0,065	2,53
	10	82	0,082	3,19
2	0	31	0,031	1,21
	2	43	0,043	1,67
	4	54	0,054	2,10
	6	65	0,065	2,53
	8	76	0,076	2,96
	10	87	0,087	3,38
3	0	35	0,035	1,36
	2	46	0,046	1,79
	4	56	0,056	2,18
	6	67	0,067	2,61
	8	77	0,077	3,00
	10	89	0,089	3,46
4	0	37	0,037	1,44
	2	47	0,047	1,83
	4	58	0,058	2,26
	6	68	0,068	2,65
	8	78	0,078	3,03
	10	90	0,090	3,50
5	0	38	0,038	1,48
	2	48	0,048	1,87
	4	59	0,059	2,29
	6	69	0,069	2,68
	8	79	0,079	3,07
	10	91	0,091	3,54
6	0	39	0,039	1,52
	2	49	0,049	1,91
	4	60	0,060	2,33
	6	69	0,069	2,68
	8	79	0,079	3,07
	10	91	0,091	3,54

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	40	0,040	1,56
	2	50	0,050	1,94
	4	61	0,061	2,37
	6	70	0,070	2,72
	8	80	0,080	3,11
	10	92	0,092	3,58
8	0	40	0,040	1,56
	2	50	0,050	1,94
	4	61	0,061	2,37
	6	71	0,071	2,76
	8	81	0,081	3,15
	10	92	0,092	3,58
9	0	41	0,041	1,59
	2	51	0,051	1,98
	4	62	0,062	2,41
	6	71	0,071	2,76
	8	82	0,082	3,19
	10	92	0,092	3,58
10	0	41	0,041	1,59
	2	51	0,051	1,98
	4	62	0,062	2,41
	6	72	0,072	2,80
	8	81	0,081	3,15
	10	92	0,092	3,58
11	0	41	0,041	1,59
	2	50	0,050	1,94
	4	62	0,062	2,41
	6	71	0,071	2,76
	8	82	0,082	3,19
	10	92	0,092	3,58
12	0	41	0,041	1,59
	2	51	0,051	1,98
	4	61	0,061	2,37
	6	72	0,072	2,80
	8	81	0,081	3,15
	10	92	0,092	3,58

Condición de Resiliencia:

E = 504 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / S4

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,57 cm
2,59 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	21	0,021	0,81
	4	39	0,039	1,51
	6	55	0,055	2,13
	8	75	0,075	2,90
	10	96	0,096	3,71
2	0	42	0,042	1,62
	2	54	0,054	2,09
	4	64	0,064	2,47
	6	75	0,075	2,90
	8	86	0,086	3,32
	10	98	0,098	3,79
3	0	43	0,043	1,66
	2	55	0,055	2,13
	4	65	0,065	2,51
	6	76	0,076	2,94
	8	87	0,087	3,36
	10	99	0,099	3,83
4	0	46	0,046	1,78
	2	56	0,056	2,16
	4	66	0,066	2,55
	6	77	0,077	2,98
	8	88	0,088	3,40
	10	100	0,100	3,87
5	0	46	0,046	1,78
	2	57	0,057	2,20
	4	67	0,067	2,59
	6	78	0,078	3,02
	8	90	0,090	3,48
	10	101	0,101	3,90
6	0	48	0,048	1,86
	2	58	0,058	2,24
	4	70	0,070	2,71
	6	80	0,080	3,09
	8	92	0,092	3,56
	10	102	0,102	3,94

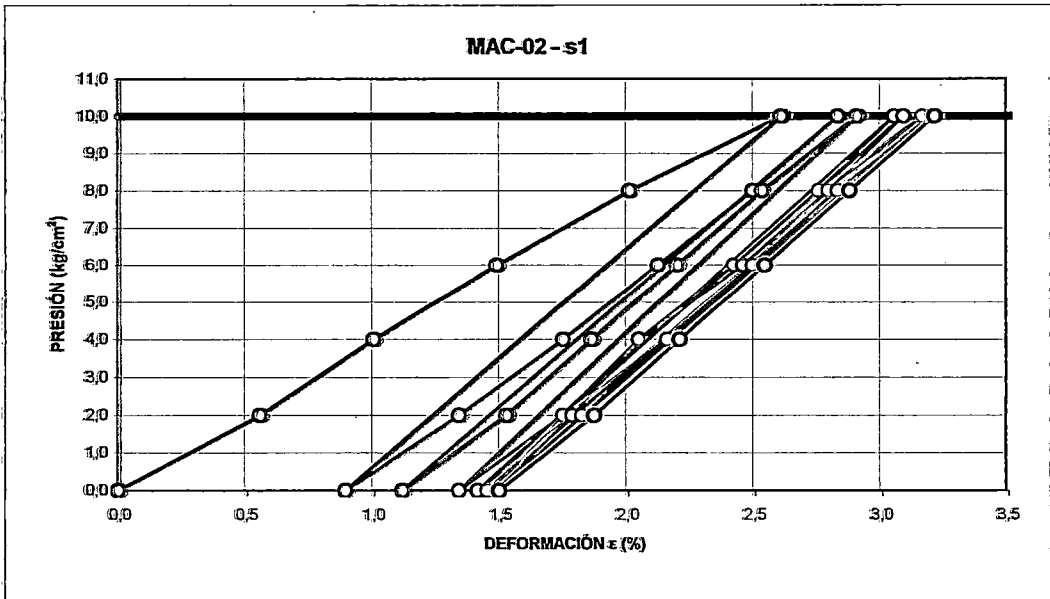
Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	49	0,049	1,89
	2	60	0,060	2,32
	4	70	0,070	2,71
	6	80	0,080	3,09
	8	93	0,093	3,60
	10	103	0,103	3,98
8	0	50	0,050	1,93
	2	61	0,061	2,36
	4	70	0,070	2,71
	6	81	0,081	3,13
	8	93	0,093	3,60
	10	103	0,103	3,98
9	0	51	0,051	1,97
	2	61	0,061	2,36
	4	71	0,071	2,74
	6	82	0,082	3,17
	8	93	0,093	3,60
	10	105	0,105	4,06
10	0	52	0,052	2,01
	2	62	0,062	2,40
	4	72	0,072	2,78
	6	81	0,081	3,13
	8	92	0,092	3,56
	10	104	0,104	4,02
11	0	52	0,052	2,01
	2	62	0,062	2,40
	4	72	0,072	2,78
	6	82	0,082	3,17
	8	92	0,092	3,56
	10	104	0,104	4,02
12	0	52	0,052	2,01
	2	62	0,062	2,40
	4	73	0,073	2,82
	6	83	0,083	3,21
	8	94	0,094	3,63
	10	105	0,105	4,06

Condición de Resiliencia:

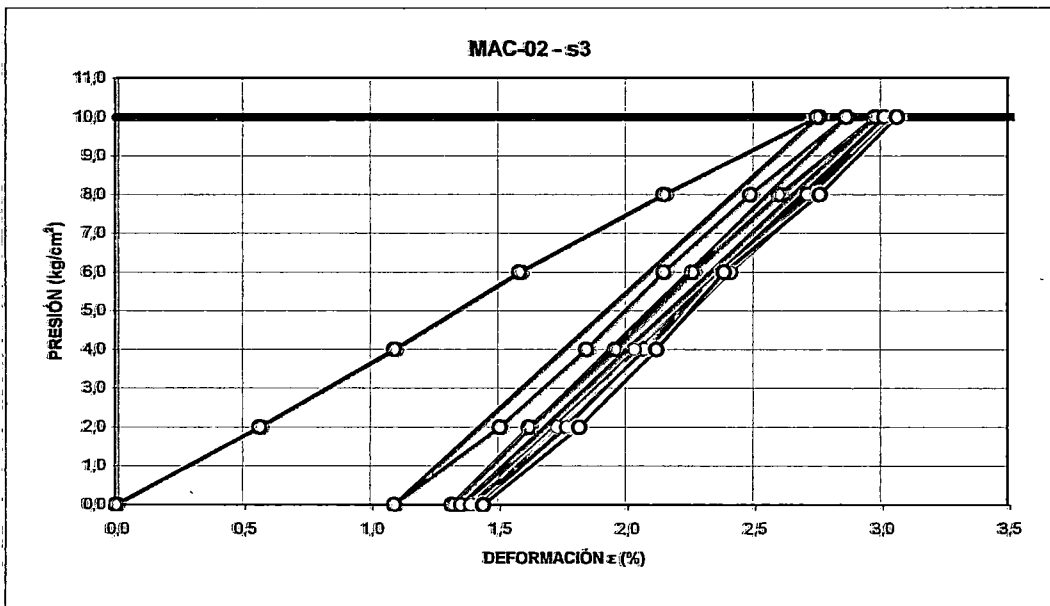
E = 488 kg/cm²

Compresión Edométrica
Mezcla Convencional, 0 °C

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDOMÉTRICA MAC-02

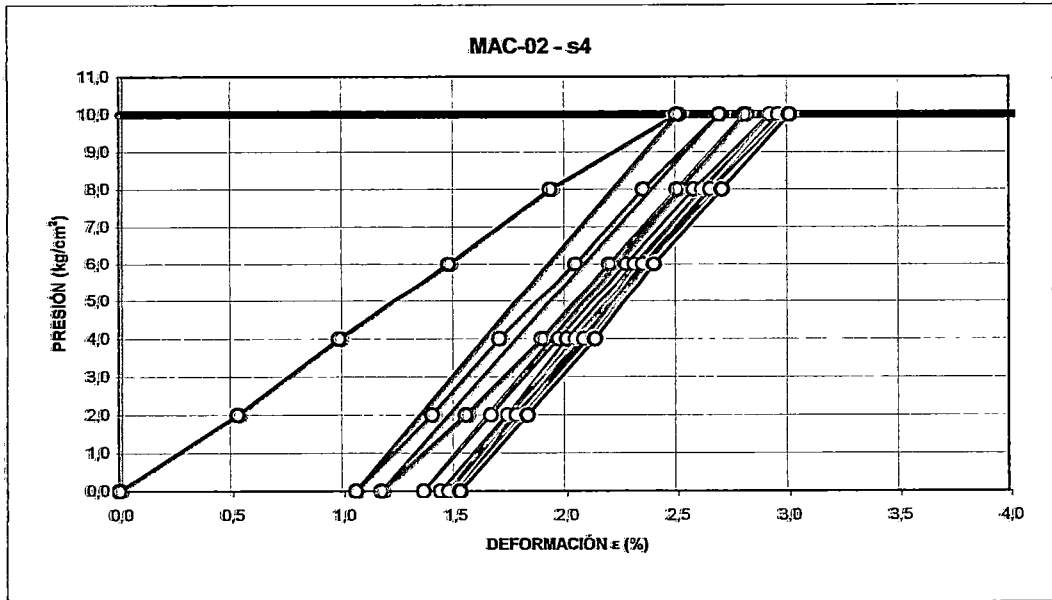


Muestra s1, 0 °C, 10 kg/cm².

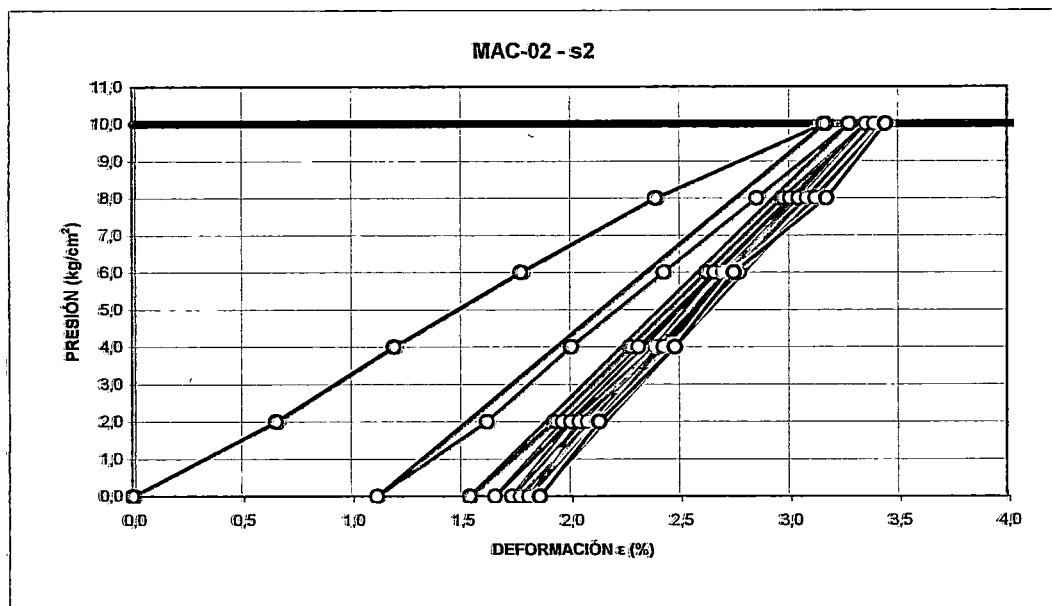


Muestra s3, 0 °C, 10 kg/cm².

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDMÉTRICA MAC-02



Muestra s4, 0 °C, 10 kg/cm².



Muestra s2, 0 °C, 10 kg/cm².

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / s¹

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,81 cm
2,68 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	15	0,015	0,56
	4	27	0,027	1,01
	6	40	0,040	1,49
	8	54	0,054	2,01
	10	70	0,070	2,61
2	0	24	0,024	0,90
	2	36	0,036	1,34
	4	47	0,047	1,75
	6	57	0,057	2,13
	8	67	0,067	2,50
	10	76	0,076	2,83
3	0	30	0,030	1,12
	2	41	0,041	1,53
	4	50	0,050	1,86
	6	59	0,059	2,20
	8	68	0,068	2,54
	10	78	0,078	2,91
4	0	36	0,036	1,34
	2	47	0,047	1,75
	4	55	0,055	2,05
	6	65	0,065	2,42
	8	74	0,074	2,76
	10	82	0,082	3,06
5	0	38	0,038	1,42
	2	47	0,047	1,75
	4	55	0,055	2,05
	6	66	0,066	2,46
	8	75	0,075	2,80
	10	83	0,083	3,10
6	0	38	0,038	1,42
	2	48	0,048	1,79
	4	55	0,055	2,05
	6	66	0,066	2,46
	8	75	0,075	2,80
	10	85	0,085	3,17

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	39	0,039	1,45
	2	47	0,047	1,75
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,50
	8	74	0,074	2,76
	10	85	0,085	3,17
8	0	39	0,039	1,45
	2	47	0,047	1,75
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,50
	8	75	0,075	2,80
	10	86	0,086	3,21
9	0	39	0,039	1,45
	2	48	0,048	1,79
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,50
	8	75	0,075	2,80
	10	86	0,086	3,21
10	0	40	0,040	1,49
	2	48	0,048	1,79
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,50
	8	76	0,076	2,83
	10	86	0,086	3,21
11	0	40	0,040	1,49
	2	49	0,049	1,83
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,50
	8	76	0,076	2,83
	10	86	0,086	3,21
12	0	40	0,040	1,49
	2	50	0,050	1,86
	4	59	0,059	2,20
	6	68	0,068	2,54
	8	77	0,077	2,87
	10	86	0,086	3,21

Condición de Resiliencia:

E = 583 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / s2

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,59 cm
2,59 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	17	0,017	0,66
	4	31	0,031	1,19
	6	46	0,046	1,77
	8	62	0,062	2,39
	10	82	0,082	3,16
2	0	29	0,029	1,12
	2	42	0,042	1,62
	4	52	0,052	2,00
	6	63	0,063	2,43
	8	74	0,074	2,85
	10	85	0,085	3,28
3	0	40	0,040	1,54
	2	50	0,050	1,93
	4	59	0,059	2,27
	6	68	0,068	2,62
	8	77	0,077	2,97
	10	87	0,087	3,35
4	0	43	0,043	1,66
	2	51	0,051	1,97
	4	60	0,060	2,31
	6	69	0,069	2,66
	8	78	0,078	3,01
	10	87	0,087	3,35
5	0	43	0,043	1,66
	2	52	0,052	2,00
	4	62	0,062	2,39
	6	69	0,069	2,66
	8	78	0,078	3,01
	10	87	0,087	3,35
6	0	45	0,045	1,73
	2	52	0,052	2,00
	4	62	0,062	2,39
	6	70	0,070	2,70
	8	79	0,079	3,04
	10	87	0,087	3,35

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	46	0,046	1,77
	2	53	0,053	2,04
	4	62	0,062	2,39
	6	70	0,070	2,70
	8	80	0,080	3,08
	10	88	0,088	3,39
8	0	47	0,047	1,81
	2	53	0,053	2,04
	4	63	0,063	2,43
	6	71	0,071	2,74
	8	80	0,080	3,08
	10	88	0,088	3,39
9	0	47	0,047	1,81
	2	54	0,054	2,08
	4	63	0,063	2,43
	6	72	0,072	2,78
	8	81	0,081	3,12
	10	89	0,089	3,43
10	0	48	0,048	1,85
	2	55	0,055	2,12
	4	63	0,063	2,43
	6	72	0,072	2,78
	8	81	0,081	3,12
	10	89	0,089	3,43
11	0	48	0,048	1,85
	2	55	0,055	2,12
	4	63	0,063	2,43
	6	71	0,071	2,74
	8	82	0,082	3,16
	10	89	0,089	3,43
12	0	48	0,048	1,85
	2	55	0,055	2,12
	4	64	0,064	2,47
	6	71	0,071	2,74
	8	82	0,082	3,16
	10	89	0,089	3,43

Condición de Resiliencia:

E = 633 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / s3

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,74 cm
2,65 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	15	0,015	0,57
	4	29	0,029	1,09
	6	42	0,042	1,58
	8	57	0,057	2,15
	10	73	0,073	2,75
2	0	29	0,029	1,09
	2	40	0,040	1,51
	4	49	0,049	1,85
	6	57	0,057	2,15
	8	66	0,066	2,49
	10	76	0,076	2,86
3	0	35	0,035	1,32
	2	43	0,043	1,62
	4	52	0,052	1,96
	6	60	0,060	2,26
	8	69	0,069	2,60
	10	79	0,079	2,98
4	0	36	0,036	1,36
	2	46	0,046	1,73
	4	55	0,055	2,07
	6	63	0,063	2,37
	8	72	0,072	2,71
	10	80	0,080	3,01
5	0	37	0,037	1,39
	2	46	0,046	1,73
	4	55	0,055	2,07
	6	64	0,064	2,41
	8	72	0,072	2,71
	10	80	0,080	3,01
6	0	37	0,037	1,39
	2	47	0,047	1,77
	4	55	0,055	2,07
	6	64	0,064	2,41
	8	73	0,073	2,75
	10	81	0,081	3,05

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	38	0,038	1,43
	2	46	0,046	1,73
	4	55	0,055	2,07
	6	63	0,063	2,37
	8	72	0,072	2,71
	10	81	0,081	3,05
8	0	37	0,037	1,39
	2	47	0,047	1,77
	4	55	0,055	2,07
	6	63	0,063	2,37
	8	72	0,072	2,71
	10	81	0,081	3,05
9	0	38	0,038	1,43
	2	47	0,047	1,77
	4	54	0,054	2,04
	6	63	0,063	2,37
	8	73	0,073	2,75
	10	81	0,081	3,05
10	0	38	0,038	1,43
	2	48	0,048	1,81
	4	56	0,056	2,11
	6	63	0,063	2,37
	8	72	0,072	2,71
	10	81	0,081	3,05
11	0	38	0,038	1,43
	2	48	0,048	1,81
	4	56	0,056	2,11
	6	64	0,064	2,41
	8	73	0,073	2,75
	10	81	0,081	3,05
12	0	38	0,038	1,43
	2	48	0,048	1,81
	4	56	0,056	2,11
	6	63	0,063	2,37
	8	73	0,073	2,75
	10	81	0,081	3,05

Condición de Resiliencia:

E = 617 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA CONVENCIONAL MAC-02 / s4

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,69 cm
2,63 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	14	0,014	0,53
	4	26	0,026	0,99
	6	39	0,039	1,48
	8	51	0,051	1,94
	10	66	0,066	2,51
2	0	28	0,028	1,06
	2	37	0,037	1,40
	4	45	0,045	1,71
	6	54	0,054	2,05
	8	62	0,062	2,35
	10	71	0,071	2,70
3	0	31	0,031	1,18
	2	41	0,041	1,56
	4	50	0,050	1,90
	6	58	0,058	2,20
	8	66	0,066	2,51
	10	74	0,074	2,81
4	0	36	0,036	1,37
	2	44	0,044	1,67
	4	52	0,052	1,97
	6	60	0,060	2,28
	8	68	0,068	2,58
	10	77	0,077	2,92
5	0	38	0,038	1,44
	2	46	0,046	1,75
	4	53	0,053	2,01
	6	61	0,061	2,32
	8	69	0,069	2,62
	10	77	0,077	2,92
6	0	38	0,038	1,44
	2	46	0,046	1,75
	4	54	0,054	2,05
	6	61	0,061	2,32
	8	69	0,069	2,62
	10	77	0,077	2,92

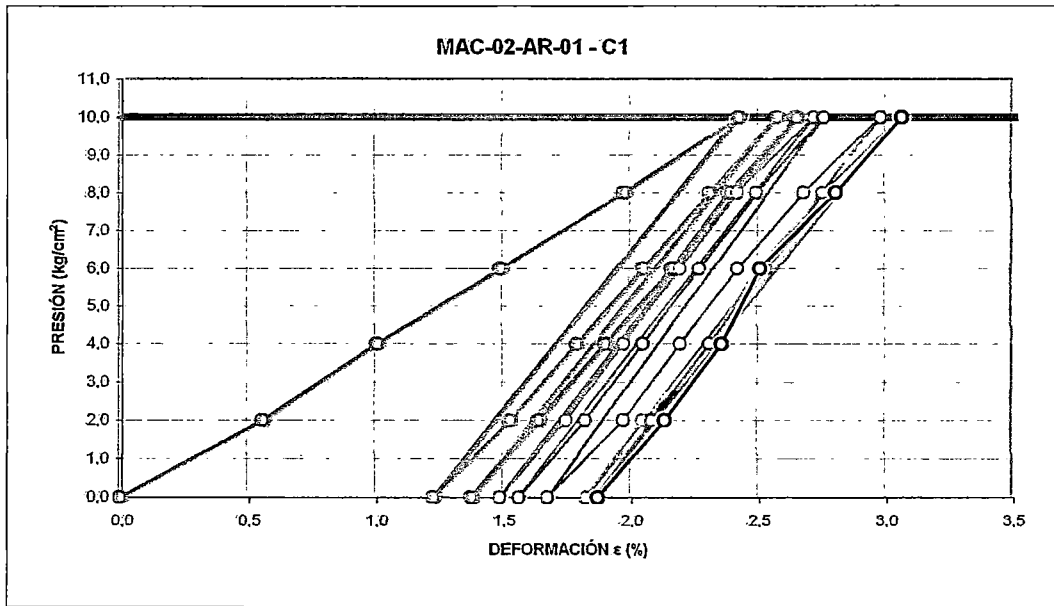
Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	38	0,038	1,44
	2	46	0,046	1,75
	4	54	0,054	2,05
	6	61	0,061	2,32
	8	69	0,069	2,62
	10	77	0,077	2,92
8	0	38	0,038	1,44
	2	46	0,046	1,75
	4	55	0,055	2,09
	6	61	0,061	2,32
	8	70	0,070	2,66
	10	78	0,078	2,96
9	0	39	0,039	1,48
	2	46	0,046	1,75
	4	54	0,054	2,05
	6	62	0,062	2,35
	8	70	0,070	2,66
	10	78	0,078	2,96
10	0	40	0,040	1,52
	2	47	0,047	1,78
	4	55	0,055	2,09
	6	62	0,062	2,35
	8	70	0,070	2,66
	10	79	0,079	3,00
11	0	40	0,040	1,52
	2	48	0,048	1,82
	4	55	0,055	2,09
	6	62	0,062	2,35
	8	71	0,071	2,70
	10	79	0,079	3,00
12	0	40	0,040	1,52
	2	48	0,048	1,82
	4	56	0,056	2,13
	6	63	0,063	2,39
	8	71	0,071	2,70
	10	79	0,079	3,00

Condición de Resiliencia:

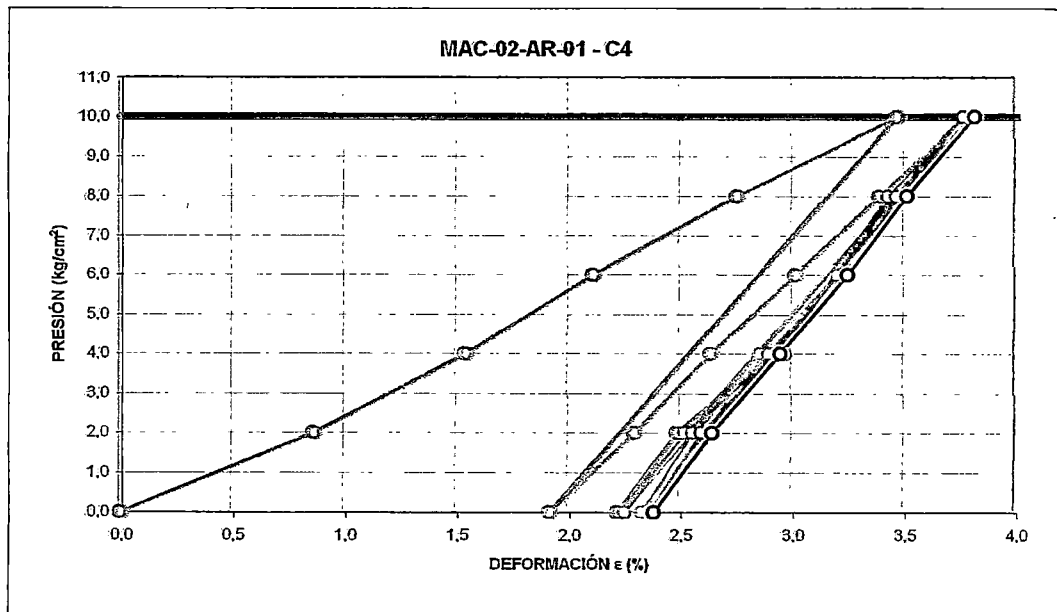
E = 675 kg/cm²

Compresión Edométrica
Mezcla Modificada, 60 °C

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDOMÉTRICA MAC-02-AR-01

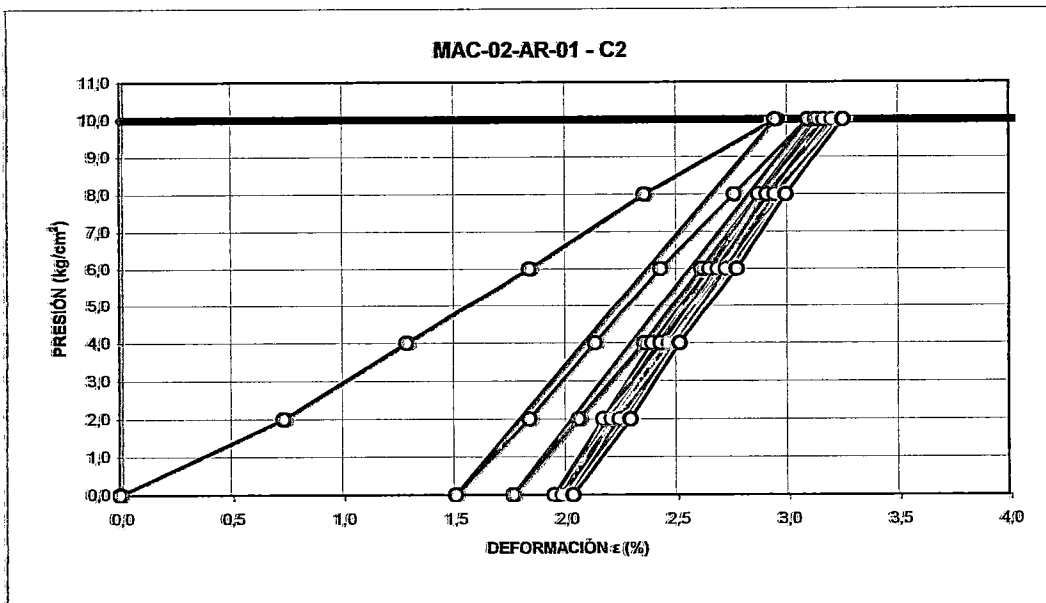


Muestra C1, 60 °C, 10 kg/cm².

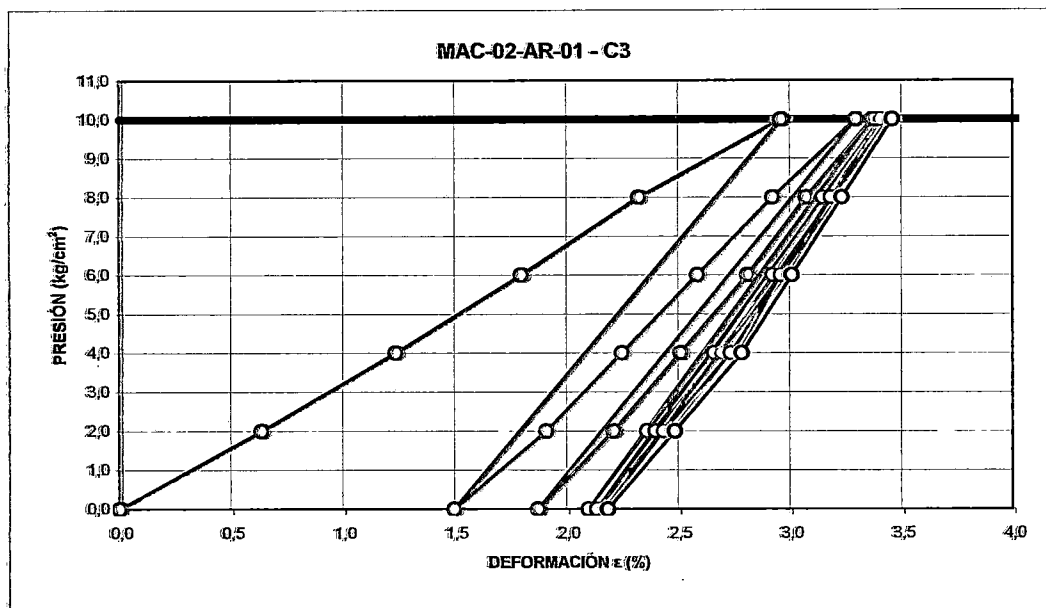


Muestra C4, 60 °C, 10 kg/cm².

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDOMÉTRICA MAC-02-AR-01



Muestra C2, 60 °C, 10 kg/cm².



Muestra C3, 60 °C, 10 kg/cm².

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / C1

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,81 cm
2,68 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	15	0,015	0,56
	4	27	0,027	1,01
	6	40	0,040	1,49
	8	53	0,053	1,98
	10	65	0,065	2,42
2	0	33	0,033	1,23
	2	41	0,041	1,53
	4	48	0,048	1,79
	6	55	0,055	2,05
	8	62	0,062	2,31
	10	69	0,069	2,57
3	0	37	0,037	1,38
	2	44	0,044	1,64
	4	51	0,051	1,90
	6	58	0,058	2,16
	8	64	0,064	2,39
	10	71	0,071	2,65
4	0	40	0,040	1,49
	2	47	0,047	1,75
	4	53	0,053	1,98
	6	59	0,059	2,20
	8	65	0,065	2,42
	10	73	0,073	2,72
5	0	42	0,042	1,57
	2	49	0,049	1,83
	4	55	0,055	2,05
	6	61	0,061	2,28
	8	67	0,067	2,50
	10	74	0,074	2,76
6	0	45	0,045	1,68
	2	53	0,053	1,98
	4	59	0,059	2,20
	6	65	0,065	2,42
	8	72	0,072	2,69
	10	80	0,080	2,98

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	49	0,049	1,83
	2	55	0,055	2,05
	4	62	0,062	2,31
	6	67	0,067	2,50
	8	74	0,074	2,76
	10	82	0,082	3,06
8	0	49	0,049	1,83
	2	55	0,055	2,05
	4	63	0,063	2,35
	6	67	0,067	2,50
	8	75	0,075	2,80
	10	82	0,082	3,06
9	0	50	0,050	1,86
	2	56	0,056	2,09
	4	62	0,062	2,31
	6	68	0,068	2,54
	8	74	0,074	2,76
	10	82	0,082	3,06
10	0	50	0,050	1,86
	2	56	0,056	2,09
	4	62	0,062	2,31
	6	68	0,068	2,54
	8	75	0,075	2,80
	10	82	0,082	3,06
11	0	50	0,050	1,86
	2	56	0,056	2,09
	4	63	0,063	2,35
	6	68	0,068	2,54
	8	74	0,074	2,76
	10	82	0,082	3,06
12	0	50	0,050	1,86
	2	57	0,057	2,13
	4	63	0,063	2,35
	6	67	0,067	2,50
	8	75	0,075	2,80
	10	82	0,082	3,06

Condición de Resiliencia:

E = 838 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / C2

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,90 cm
2,72 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	20	0,020	0,74
	4	35	0,035	1,29
	6	50	0,050	1,84
	8	64	0,064	2,36
	10	80	0,080	2,94
2	0	41	0,041	1,51
	2	50	0,050	1,84
	4	58	0,058	2,14
	6	66	0,066	2,43
	8	75	0,075	2,76
	10	84	0,084	3,09
3	0	48	0,048	1,77
	2	56	0,056	2,06
	4	64	0,064	2,36
	6	71	0,071	2,61
	8	78	0,078	2,87
	10	85	0,085	3,13
4	0	53	0,053	1,95
	2	59	0,059	2,17
	4	65	0,065	2,39
	6	72	0,072	2,65
	8	78	0,078	2,87
	10	86	0,086	3,17
5	0	53	0,053	1,95
	2	59	0,059	2,17
	4	66	0,066	2,43
	6	73	0,073	2,69
	8	79	0,079	2,91
	10	87	0,087	3,20
6	0	54	0,054	1,99
	2	59	0,059	2,17
	4	67	0,067	2,47
	6	73	0,073	2,69
	8	80	0,080	2,94
	10	87	0,087	3,20

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	54	0,054	1,99
	2	60	0,060	2,21
	4	67	0,067	2,47
	6	74	0,074	2,72
	8	80	0,080	2,94
	10	87	0,087	3,20
8	0	54	0,054	1,99
	2	60	0,060	2,21
	4	67	0,067	2,47
	6	73	0,073	2,69
	8	81	0,081	2,98
	10	88	0,088	3,24
9	0	54	0,054	1,99
	2	60	0,060	2,21
	4	67	0,067	2,47
	6	74	0,074	2,72
	8	80	0,080	2,94
	10	88	0,088	3,24
10	0	55	0,055	2,02
	2	61	0,061	2,25
	4	68	0,068	2,50
	6	74	0,074	2,72
	8	80	0,080	2,94
	10	88	0,088	3,24
11	0	55	0,055	2,02
	2	62	0,062	2,28
	4	68	0,068	2,50
	6	75	0,075	2,76
	8	81	0,081	2,98
	10	88	0,088	3,24
12	0	55	0,055	2,02
	2	62	0,062	2,28
	4	68	0,068	2,50
	6	75	0,075	2,76
	8	81	0,081	2,98
	10	88	0,088	3,24

Condición de Resiliencia:

E = 823 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / C3

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,78 cm
2,67 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	17	0,017	0,64
	4	33	0,033	1,24
	6	48	0,048	1,80
	8	62	0,062	2,32
	10	79	0,079	2,96
2	0	40	0,040	1,50
	2	51	0,051	1,91
	4	60	0,060	2,25
	6	69	0,069	2,58
	8	78	0,078	2,92
	10	88	0,088	3,30
3	0	50	0,050	1,87
	2	59	0,059	2,21
	4	67	0,067	2,51
	6	75	0,075	2,81
	8	82	0,082	3,07
	10	90	0,090	3,37
4	0	56	0,056	2,10
	2	63	0,063	2,36
	4	71	0,071	2,66
	6	78	0,078	2,92
	8	84	0,084	3,15
	10	91	0,091	3,41
5	0	57	0,057	2,14
	2	64	0,064	2,40
	4	72	0,072	2,70
	6	79	0,079	2,96
	8	85	0,085	3,18
	10	91	0,091	3,41
6	0	57	0,057	2,14
	2	65	0,065	2,44
	4	72	0,072	2,70
	6	80	0,080	3,00
	8	85	0,085	3,18
	10	91	0,091	3,41

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	58	0,058	2,17
	2	65	0,065	2,44
	4	72	0,072	2,70
	6	80	0,080	3,00
	8	86	0,086	3,22
	10	91	0,091	3,41
8	0	58	0,058	2,17
	2	65	0,065	2,44
	4	73	0,073	2,73
	6	79	0,079	2,96
	8	86	0,086	3,22
	10	92	0,092	3,45
9	0	58	0,058	2,17
	2	66	0,066	2,47
	4	73	0,073	2,73
	6	80	0,080	3,00
	8	86	0,086	3,22
	10	92	0,092	3,45
10	0	58	0,058	2,17
	2	66	0,066	2,47
	4	74	0,074	2,77
	6	79	0,079	2,96
	8	85	0,085	3,18
	10	92	0,092	3,45
11	0	58	0,058	2,17
	2	65	0,065	2,44
	4	73	0,073	2,73
	6	79	0,079	2,96
	8	86	0,086	3,22
	10	92	0,092	3,45
12	0	58	0,058	2,17
	2	66	0,066	2,47
	4	74	0,074	2,77
	6	80	0,080	3,00
	8	86	0,086	3,22
	10	92	0,092	3,45

Condición de Resiliencia:

E = 785 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / C4

Temperatura de ensayo = 60 °C

h = 6,74 cm
2,65 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	23	0,023	0,87
	4	41	0,041	1,55
	6	56	0,056	2,11
	8	73	0,073	2,75
	10	92	0,092	3,47
2	0	51	0,051	1,92
	2	61	0,061	2,30
	4	70	0,070	2,64
	6	80	0,080	3,01
	8	90	0,090	3,39
	10	100	0,100	3,77
3	0	59	0,059	2,22
	2	66	0,066	2,49
	4	77	0,077	2,90
	6	86	0,086	3,24
	8	91	0,091	3,43
	10	100	0,100	3,77
4	0	60	0,060	2,26
	2	68	0,068	2,56
	4	77	0,077	2,90
	6	86	0,086	3,24
	8	91	0,091	3,43
	10	100	0,100	3,77
5	0	60	0,060	2,26
	2	67	0,067	2,52
	4	78	0,078	2,94
	6	85	0,085	3,20
	8	91	0,091	3,43
	10	100	0,100	3,77
6	0	62	0,062	2,34
	2	68	0,068	2,56
	4	79	0,079	2,98
	6	86	0,086	3,24
	8	92	0,092	3,47
	10	101	0,101	3,81

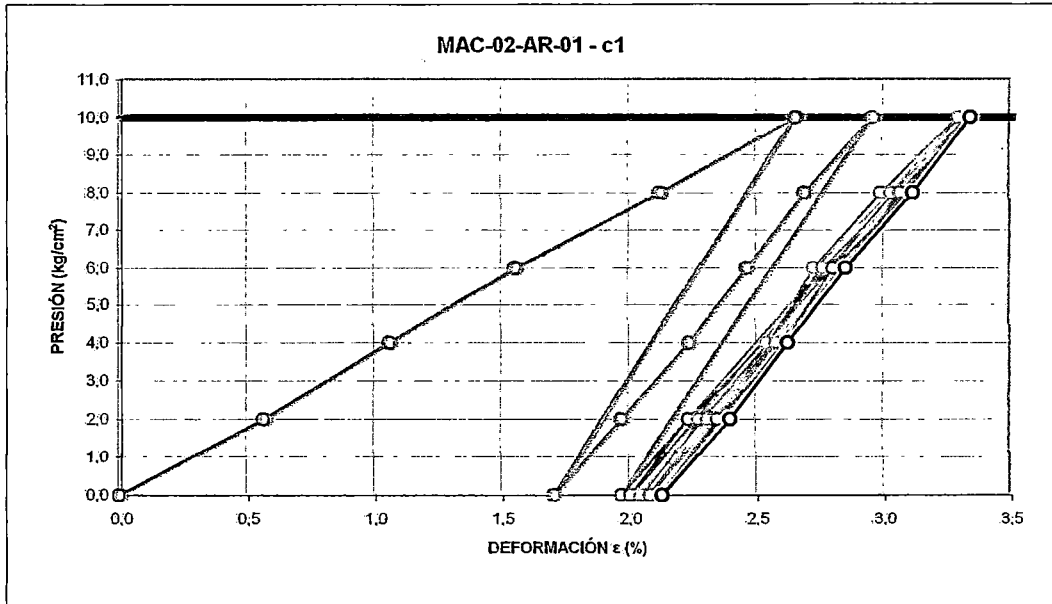
Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	62	0,062	2,34
	2	70	0,070	2,64
	4	77	0,077	2,90
	6	85	0,085	3,20
	8	93	0,093	3,50
	10	101	0,101	3,81
8	0	62	0,062	2,34
	2	69	0,069	2,60
	4	78	0,078	2,94
	6	86	0,086	3,24
	8	92	0,092	3,47
	10	101	0,101	3,81
9	0	62	0,062	2,34
	2	69	0,069	2,60
	4	76	0,076	2,86
	6	85	0,085	3,20
	8	92	0,092	3,47
	10	101	0,101	3,81
10	0	63	0,063	2,37
	2	69	0,069	2,60
	4	78	0,078	2,94
	6	85	0,085	3,20
	8	93	0,093	3,50
	10	101	0,101	3,81
11	0	63	0,063	2,37
	2	70	0,070	2,64
	4	77	0,077	2,90
	6	85	0,085	3,20
	8	92	0,092	3,47
	10	101	0,101	3,81
12	0	63	0,063	2,37
	2	70	0,070	2,64
	4	78	0,078	2,94
	6	86	0,086	3,24
	8	93	0,093	3,50
	10	101	0,101	3,81

Condición de Resiliencia:

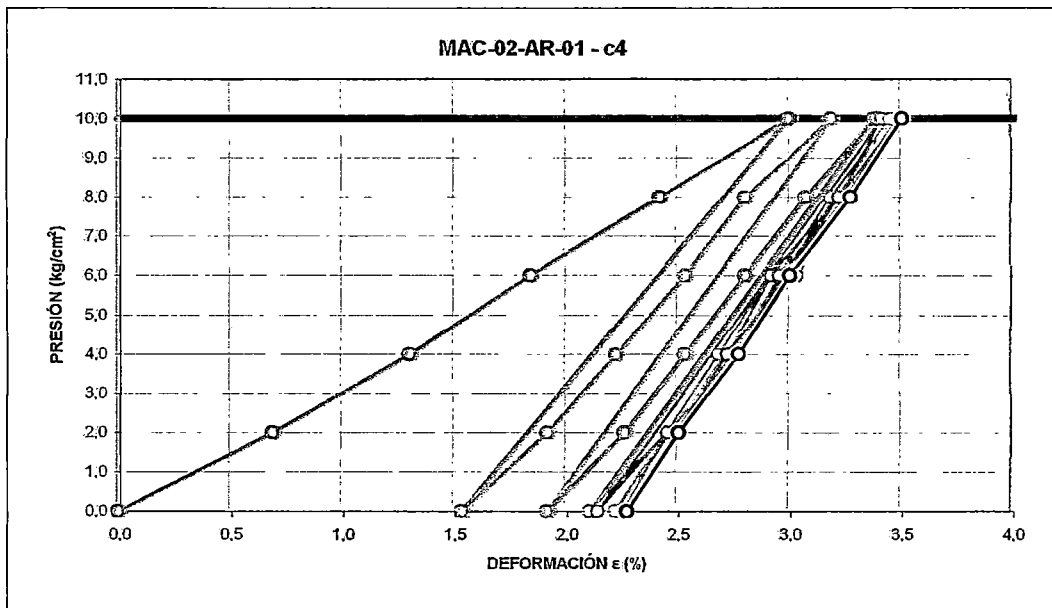
E = 698 kg/cm²

Compresión Edométrica
Mezcla Modificada, 0 °C

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDOMÉTRICA MAC-02-AR-01

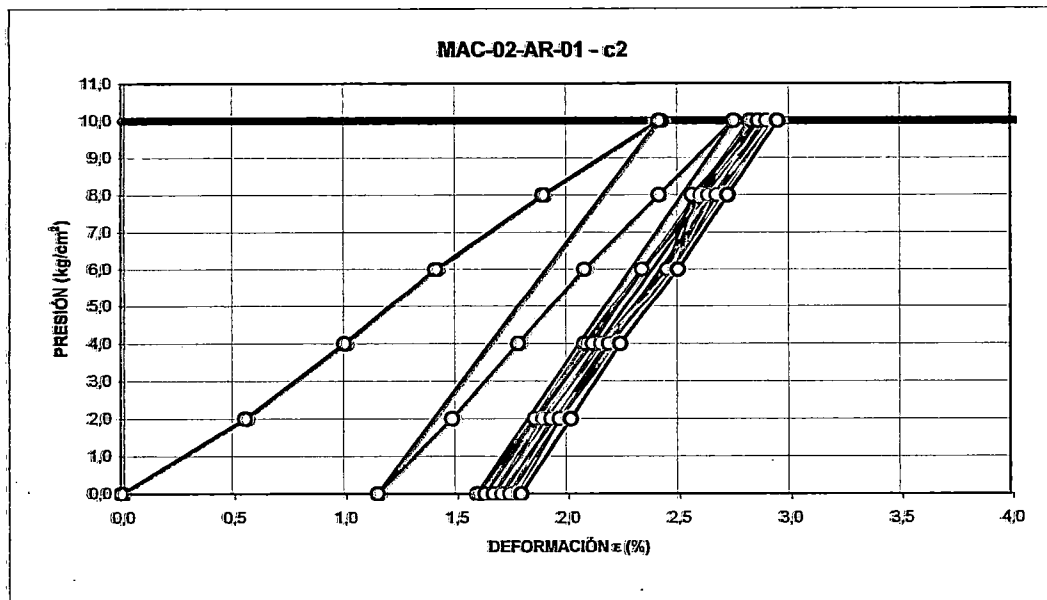


Muestra c1, 0 °C, 10 kg/cm².

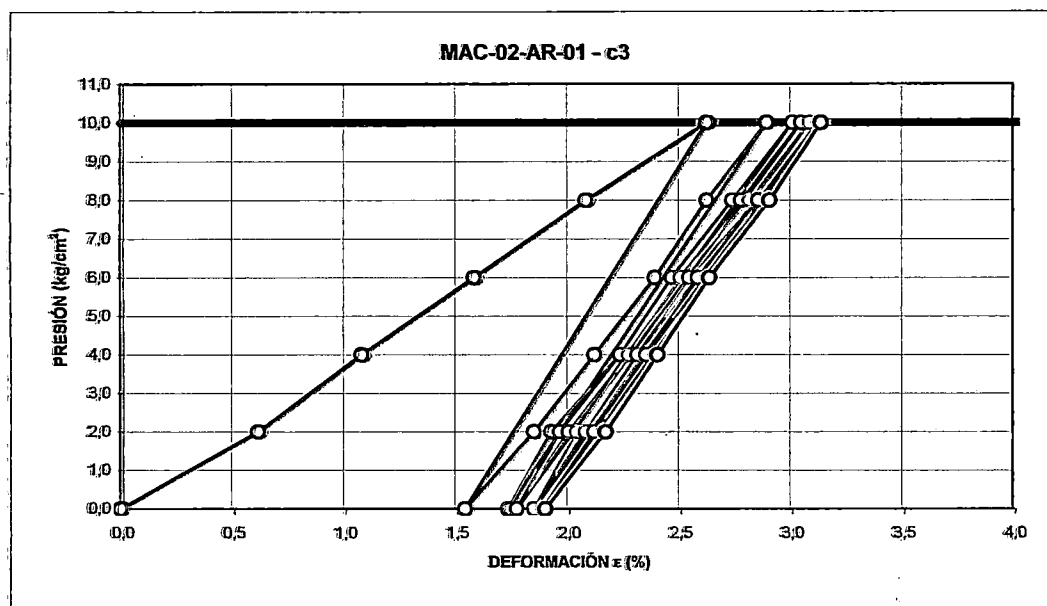


Muestra c4, 0 °C, 10 kg/cm².

GRÁFICOS COMPRESIÓN EDOMÉTRICA MAC-02-AR-01



Muestra c2, 0 °C, 10 kg/cm².



Muestra c3, 0 °C, 10 kg/cm².

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / c1

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,70 cm
2,64 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	15	0,015	0,57
	4	28	0,028	1,06
	6	41	0,041	1,55
	8	56	0,056	2,12
	10	70	0,070	2,65
2	0	45	0,045	1,71
	2	52	0,052	1,97
	4	59	0,059	2,24
	6	65	0,065	2,46
	8	71	0,071	2,69
	10	78	0,078	2,96
3	0	52	0,052	1,97
	2	59	0,059	2,24
	4	67	0,067	2,54
	6	73	0,073	2,77
	8	80	0,080	3,03
	10	87	0,087	3,30
4	0	52	0,052	1,97
	2	59	0,059	2,24
	4	68	0,068	2,58
	6	72	0,072	2,73
	8	80	0,080	3,03
	10	87	0,087	3,30
5	0	52	0,052	1,97
	2	59	0,059	2,24
	4	67	0,067	2,54
	6	72	0,072	2,73
	8	79	0,079	2,99
	10	87	0,087	3,30
6	0	53	0,053	2,01
	2	59	0,059	2,24
	4	67	0,067	2,54
	6	72	0,072	2,73
	8	79	0,079	2,99
	10	87	0,087	3,30

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	54	0,054	2,05
	2	60	0,060	2,27
	4	67	0,067	2,54
	6	72	0,072	2,73
	8	80	0,080	3,03
	10	87	0,087	3,30
8	0	55	0,055	2,09
	2	60	0,060	2,27
	4	68	0,068	2,58
	6	73	0,073	2,77
	8	80	0,080	3,03
	10	88	0,088	3,34
9	0	55	0,055	2,09
	2	61	0,061	2,31
	4	68	0,068	2,58
	6	73	0,073	2,77
	8	81	0,081	3,07
	10	88	0,088	3,34
10	0	56	0,056	2,12
	2	62	0,062	2,35
	4	69	0,069	2,62
	6	74	0,074	2,81
	8	82	0,082	3,11
	10	88	0,088	3,34
11	0	56	0,056	2,12
	2	62	0,062	2,35
	4	69	0,069	2,62
	6	75	0,075	2,84
	8	81	0,081	3,07
	10	88	0,088	3,34
12	0	56	0,056	2,12
	2	63	0,063	2,39
	4	69	0,069	2,62
	6	75	0,075	2,84
	8	82	0,082	3,11
	10	88	0,088	3,34

Condición de Resiliencia:

E = 824 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / c2

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,83 cm
2,69 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	15	0,015	0,56
	4	27	0,027	1,00
	6	38	0,038	1,41
	8	51	0,051	1,90
	10	65	0,065	2,42
2	0	31	0,031	1,15
	2	40	0,040	1,49
	4	48	0,048	1,79
	6	56	0,056	2,08
	8	65	0,065	2,42
	10	74	0,074	2,75
3	0	43	0,043	1,60
	2	50	0,050	1,86
	4	56	0,056	2,08
	6	63	0,063	2,34
	8	70	0,070	2,60
	10	76	0,076	2,83
4	0	44	0,044	1,64
	2	50	0,050	1,86
	4	57	0,057	2,12
	6	63	0,063	2,34
	8	71	0,071	2,64
	10	77	0,077	2,86
5	0	45	0,045	1,67
	2	51	0,051	1,90
	4	58	0,058	2,16
	6	66	0,066	2,45
	8	69	0,069	2,57
	10	77	0,077	2,86
6	0	45	0,045	1,67
	2	51	0,051	1,90
	4	58	0,058	2,16
	6	66	0,066	2,45
	8	70	0,070	2,60
	10	78	0,078	2,90

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	46	0,046	1,71
	2	51	0,051	1,90
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,49
	8	70	0,070	2,60
	10	78	0,078	2,90
8	0	47	0,047	1,75
	2	52	0,052	1,93
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,49
	8	71	0,071	2,64
	10	78	0,078	2,90
9	0	47	0,047	1,75
	2	52	0,052	1,93
	4	58	0,058	2,16
	6	67	0,067	2,49
	8	72	0,072	2,68
	10	79	0,079	2,94
10	0	48	0,048	1,79
	2	53	0,053	1,97
	4	59	0,059	2,19
	6	67	0,067	2,49
	8	72	0,072	2,68
	10	79	0,079	2,94
11	0	48	0,048	1,79
	2	53	0,053	1,97
	4	60	0,060	2,23
	6	67	0,067	2,49
	8	72	0,072	2,68
	10	79	0,079	2,94
12	0	48	0,048	1,79
	2	54	0,054	2,01
	4	60	0,060	2,23
	6	67	0,067	2,49
	8	73	0,073	2,71
	10	79	0,079	2,94

Condición de Resiliencia:

E = 867 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / c3

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,58 cm
2,59 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	16	0,016	0,62
	4	28	0,028	1,08
	6	41	0,041	1,58
	8	54	0,054	2,08
	10	68	0,068	2,62
2	0	40	0,040	1,54
	2	48	0,048	1,85
	4	55	0,055	2,12
	6	62	0,062	2,39
	8	68	0,068	2,62
	10	75	0,075	2,90
3	0	45	0,045	1,74
	2	50	0,050	1,93
	4	58	0,058	2,24
	6	64	0,064	2,47
	8	71	0,071	2,74
	10	78	0,078	3,01
4	0	46	0,046	1,78
	2	51	0,051	1,97
	4	58	0,058	2,24
	6	64	0,064	2,47
	8	71	0,071	2,74
	10	78	0,078	3,01
5	0	46	0,046	1,78
	2	52	0,052	2,01
	4	59	0,059	2,28
	6	65	0,065	2,51
	8	72	0,072	2,78
	10	79	0,079	3,05
6	0	46	0,046	1,78
	2	52	0,052	2,01
	4	59	0,059	2,28
	6	65	0,065	2,51
	8	73	0,073	2,82
	10	80	0,080	3,09

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	48	0,048	1,85
	2	53	0,053	2,05
	4	59	0,059	2,28
	6	65	0,065	2,51
	8	73	0,073	2,82
	10	80	0,080	3,09
8	0	48	0,048	1,85
	2	54	0,054	2,08
	4	60	0,060	2,32
	6	66	0,066	2,55
	8	74	0,074	2,86
	10	81	0,081	3,13
9	0	48	0,048	1,85
	2	54	0,054	2,08
	4	60	0,060	2,32
	6	67	0,067	2,59
	8	74	0,074	2,86
	10	81	0,081	3,13
10	0	49	0,049	1,89
	2	55	0,055	2,12
	4	61	0,061	2,35
	6	67	0,067	2,59
	8	74	0,074	2,86
	10	81	0,081	3,13
11	0	49	0,049	1,89
	2	55	0,055	2,12
	4	61	0,061	2,35
	6	68	0,068	2,62
	8	75	0,075	2,90
	10	81	0,081	3,13
12	0	49	0,049	1,89
	2	56	0,056	2,16
	4	62	0,062	2,39
	6	68	0,068	2,62
	8	75	0,075	2,90
	10	81	0,081	3,13

Condición de Resiliencia:

E = 810 kg/cm²

MÓDULO DINÁMICO PARA ESPECÍMENES DE MEZCLA MODIFICADA MAC-02-AR-01 / c4

Temperatura de ensayo = 0 °C

h = 6,61 cm
2,60 pulg

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
1	0	0	0,000	0,00
	2	18	0,018	0,69
	4	34	0,034	1,31
	6	48	0,048	1,84
	8	63	0,063	2,42
	10	78	0,078	3,00
2	0	40	0,040	1,54
	2	50	0,050	1,92
	4	58	0,058	2,23
	6	66	0,066	2,54
	8	73	0,073	2,81
	10	83	0,083	3,19
3	0	50	0,050	1,92
	2	59	0,059	2,27
	4	66	0,066	2,54
	6	73	0,073	2,81
	8	80	0,080	3,07
	10	88	0,088	3,38
4	0	55	0,055	2,11
	2	64	0,064	2,46
	4	70	0,070	2,69
	6	76	0,076	2,92
	8	84	0,084	3,23
	10	89	0,089	3,42
5	0	56	0,056	2,15
	2	64	0,064	2,46
	4	71	0,071	2,73
	6	76	0,076	2,92
	8	84	0,084	3,23
	10	89	0,089	3,42
6	0	56	0,056	2,15
	2	64	0,064	2,46
	4	71	0,071	2,73
	6	77	0,077	2,96
	8	83	0,083	3,19
	10	90	0,090	3,46

Ciclo	Presión (kg/cm ²)	Lectura Dial	Δh (pulg)	ε (%)
7	0	58	0,058	2,23
	2	64	0,064	2,46
	4	71	0,071	2,73
	6	77	0,077	2,96
	8	84	0,084	3,23
	10	90	0,090	3,46
8	0	58	0,058	2,23
	2	64	0,064	2,46
	4	71	0,071	2,73
	6	78	0,078	3,00
	8	85	0,085	3,27
	10	90	0,090	3,46
9	0	58	0,058	2,23
	2	64	0,064	2,46
	4	71	0,071	2,73
	6	79	0,079	3,04
	8	85	0,085	3,27
	10	90	0,090	3,46
10	0	59	0,059	2,27
	2	65	0,065	2,50
	4	71	0,071	2,73
	6	78	0,078	3,00
	8	84	0,084	3,23
	10	91	0,091	3,50
11	0	59	0,059	2,27
	2	64	0,064	2,46
	4	72	0,072	2,77
	6	77	0,077	2,96
	8	85	0,085	3,27
	10	91	0,091	3,50
12	0	59	0,059	2,27
	2	65	0,065	2,50
	4	72	0,072	2,77
	6	78	0,078	3,00
	8	85	0,085	3,27
	10	91	0,091	3,50

Condición de Resiliencia:

E = 813 kg/cm²