

TESIS DE GRADO  
MEZCLA ASFALTICA CON CAL HIDRATADA

OSCAR ALBAN ANTELIS CORONADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2007

TESIS DE GRADO  
MEZCLA ASFALTICA CON CAL HIDRATADA

OSCAR ALBAN ANTELIS CORONADO

Trabajo de grado realizado en la modalidad de investigación como requisito  
para optar el título de: Ingeniero Civil.

Director:  
Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2007

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios,*

*A mis padres Hermes Antelís Martínez y Rosalba Coronado por el apoyo incondicional en la construcción de todos mis sueños,*

*A mi querida esposa María Deisy Lizcano Castro por ser el pilar de mi vida,*

*A mis hijos Engelber, Deiber y Freiner por ser la causa de mi superación,*

*Al profesor Eduardo Castañeda por su acompañamiento en la realización de este estudio,*

*Al cuerpo técnico de los laboratorios de materiales, suelos y pavimentos de la U I S,*

*A TECNOPAVIMENTOS S.A.,*

*A todos mis familiares y amigos que creyeron en mí*

*Oscar Alban Antelís Coronado*

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	19
1. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA	20
1.1 CARACTERIZACION DE AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS TRADICIONALES	20
1.2 CARACTERIZACION DE ASFALTOS TRADICIONALES	20
1.3 CARACTERIZACION DE MEZCLAS ASFALTICAS TRADICIONLES	21
1.4 CAL	21
1.4.1 Propiedades de la Cal Hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$	21
1.4.2 Estabilizaciones con Cal	22
1.4.3 Efectos ambientales	22
1.4.4 Precauciones	23
1.5 EFECTOS DE LA CAL EN MEZCLAS ASFALTICAS	23
1.6 EXPERIENCIAS	24
2. METODOLOGIA	25
2.1 SELECCIÓN DE MATERIALES	25
2.2 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA TRADICIONALES	26
2.2.1 Fabricación de mezclas asfálticas	26
2.2.2 Caracterización de mezclas asfálticas	28
2.2.2.1 Peso Específico Aparente (Densidad Bulk)	28

2.2.2.2 Estabilidad y Flujo	29
2.2.2.3 Peso específico máximo teórico (Gmm)	30
2.2.2.4 Vacíos con aire	30
2.3 PREPARACION DE PROBETAS CON ADICION DE CAL	31
2.4 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS CON CAL	31
2.4.1 Caracterización de mezclas asfálticas con Cal Hidratada	31
2.4.2 Análisis de caracterizaciones entre mezclas tradicionales y mezclas con Cal Hidratada	32
2.5 SELECCIÓN DE MEZCLA PARA CONSTRUIR TRAMO DE PRUEBA	32
2.5.1 Preparación de probetas de diámetro (4") y altura (4")	32
2.5.2 Características de la susceptibilidad al agua	33
2.5.3 Análisis de características de la susceptibilidad al agua	34
2.6 CONSTRUCCION DE TRAMO DE PRUEBA	34
2.6.1 Producción de mezcla asfáltica tratada con Cal Hidratada	34
2.6.2 Aplicación de mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica tratada con Cal Hidratada	34
3. FORMULACION DE MEZCLA ASFALTICA	35
3.1 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS	35
3.1.1 Formulación de mezclas asfálticas tradicionales y tratadas con Cal	35
3.1.2 Propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada	35
3.2 SELECCIÓN DE LA FORMULA DE TRABAJO	36
3.3 ESTUDIO DE SUCEPTIBILIDAD DE LA MEZCLA AL AGUA	39
4. APLICACION DE UN TRAMO DE PRUEBA	43

4.1 LOCALIZACIÓN	43
4.2 DELIMITACIÓN Y LEVANTAMIENTO DEL PAVIMENTO DETERIORADO	43
4.3 COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR	44
4.4 ELABORACIÓN DE LOS AGREGADOS TRITURADOS	44
4.4.1 Equipo	44
4.4.2 Clasificación de los agregados	44
4.4.3 Equipo para el transporte	44
4.4.4 Almacenamiento de agregados	45
4.5 ALMACENAMIENTO DE ASFALTO	45
4.6 Producción de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada	45
4.6.1 Alimentación de Tolvas	45
4.6.2 Bandas de transporte de agregados	46
4.6.3 Alimentación del Tanque de mezclado	46
4.6.3.1 Agregados (1,5% de Cal hidratada incluido)	47
4.6.3.2 Asfalto (60-70)	47
4.6.3.3 Temperatura	48
4.6.4 Mezcla Asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada.	48
4.6.5 Transporte 1 de Mezcla Asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada	48
4.6.6 Almacenamiento en tolva para la entrega	49
4.6.7 Calidad de la mezcla y producto terminado	49
4.7 APLICACIÓN DE MDC-2 CON 1,5% DE CAL HIDRATADA	50
4.7.1 Cargue y transporte	50
4.7.2 Aplicación de liga asfáltica	51

4.7.3 Descarga de mezcla asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada.	51
4.7.4 Nivelación de mezcla asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada.	52
4.7.5 Nivelación de mezcla asfáltica sin Cal Hidratada.	53
4.7.6 Compactación	53
RECOMENDACIONES	55
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIAS	57
ANEXOS	58
A RECOPIACION BIBLIOGRAFICA	58
B FORMULACION	70

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla1. Resultados de caracterizaciones	36
Tabla 2. Cuadro de normas y resultados de laboratorio	38
Tabla 3. Resultados de caracterizaciones	40
Tabla 4. Calidad y producto terminado MDC-2 sin Cal Hidratada	49
Tabla 5. Calidad y producto terminado MDC-2 con 1,5 % de Cal Hidratada	50

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cal Hidratada	21
Figura 2. Agregados pétreos	25
Figura 3. Clasificación, pesado y empaque de agregados	26
Figura 4. Curado de probetas	28
Figura 5. Inmersión de probetas	29
Figura 6. Especímenes sin Cal, de diámetros (4") y alturas (4")	33
Figura.7. Especímenes con 1,5%, de diámetros (4") y alturas (4")	33
Figura 8. Falla cohesión del agregado, en probetas sin Cal y 1,5% de Cal	41
Figura 9. Localización para aplicación del tramo de prueba	43
Figura 10. Caja para aplicación de mezcla asfáltica con 0,0% y 1,5% de Cal	43
Figura 11. Compactación de la Base	44
Figura 12. Equipo de transporte en la planta	44
Figura 13. Tanques de almacenamiento de asfalto	45
Figura 14. Tolvas para alimentación de agregados	45
Figura 15. Bandas de transporte de los agregados	46
Figura 16. Alimentación del Tanque de mezclado	46
Figura 17. Mezcla uniforme de Agregados con 1,5% de Cal hidratada	47
Figura 18. Sistema de calefacción y transporte del asfalto	47
Figura 19. Mezcla Asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada	48
Figura 20. Transporte de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada	48

Figura 21. Tolva de almacenamiento de mezcla asfáltica	49
Figura 22. Cargue y transporte de mezcla asfáltica	50
Figura 23. Aplicación de liga	51
Figura 24. Descarga de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada	51
Figura 25. Nivelación de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada	52
Figura 26. Nivelación de mezcla asfáltica con 0,0% de Cal Hidratada	53
Figura 27. Compactación de mezclas con 0,0% y 1,5% de Cal Hidratada	53
Figura 28. Tramo de prueba compactado	54

## LISTA DE ANEXOS

pág.

### ANEXO A RECOPIACION BIBLIOGRAFICA

Tabla A.1. Tipo de cemento asfáltico por emplear en mezclas en caliente	58
Tabla A.2. Gradación permisible para MDC-2	58
Tabla A.3. Criterios para Diseño de mezcla y obtención de fórmula de trabajo	59
Tabla A.4. Factor de Corrección para determinar Estabilidad Corregida	59
Figura A.1. Determinación del porcentaje de caras fracturadas, laboratorio de suelos y pavimentos	60
Figura A.2. Índice de Aplanamiento y Alargamiento, laboratorio de suelos y pavimentos TECNOPAVIMENTOS S.A.	61
Figura A.3. Equivalente de Arena, laboratorio de suelos y pavimentos TECNOPAVIMENTOS S.A.	62
Figura A.4. Límites de Atterberg, laboratorio de suelos y pavimentos TECNOPAVIMENTOS S.A.	63
Figura A.5. Informe de ensayo, resistencias de mezclas asfálticas, método Marshall, laboratorio de ingeniería civil, CONCRESERVICIOS (resultados de ensayos)	64
Figura A.6. Informe de ensayo, resistencias de mezclas asfálticas, método Marshall, laboratorio de ingeniería civil, CONCRESERVICIOS (análisis de resultados)	65
Figura A.7. Certificado de Análisis Bitumen 60-70 SPOT	66
Figura A.8. Curva reológica Bitumen 60-70 SPOT	67
Figura A.9. Control de diario de calidad de mezcla tradicional MDC-2	68

Figura A.10. Control de diario de calidad de MDC-2 con 1,5% de Cal Hidratada 69

## ANEXO B FORMULACION

Tabla B.1. Muestras de agregados pétreos tradicionales	70
Tabla B.2. Granulometría de las muestras secas sin Cal Hidratada	70
Tabla B.3. Preparación de probeta tradicional	71
Tabla B.4. Propiedad granulométrica de agregados tradicionales totales	71
Tabla B.5. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada	72
Tabla B.6. Fabricación de probeta a partir de muestras: (grava y gravilla)	72
Tabla B.7. Densidad Bulk	72
Tabla B.8. Estabilidad y Flujo	73
Tabla B.9. Gmm.	73
Tabla B.10. Vacíos en la mezcla	73
Tabla B.11. Mezcla con 1.0 % Cal Hidratada	73
Tabla B.12. Propiedad granulométrica de los agregados totales con 1,0% Cal Hidratada	74
Tabla B.13. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada	74
Tabla B.14. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava -gravilla-Cal Hidratada)	75
Tabla B.15. Densidad Bulk	75
Tabla B.16. Estabilidad y Flujo	75
Tabla B.17. Gmm.	76

Tabla B.18. Vacios en la mezcla	76
Tabla B.19. Mezcla con 1.5 % Cal Hidratada	76
Tabla B.20. Propiedad granulométrica de agregados totales con Cal Hidratada	77
Tabla B.21. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada	77
Tabla B.22. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava -gravilla- Cal Hidratada)	78
Tabla B.23. Densidad Bulk	78
Tabla B.24. Estabilidad y Flujo	78
Tabla B.25. Gmm.	78
Tabla B.26. Vacios en la mezcla	79
Tabla B.27. Mezcla con 2.0 % Cal Hidratada	79
Tabla B.28. Propiedad granulométrica de agregados totales con Cal Hidratada	79
Tabla B.29. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada	80
Tabla B.30. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava- gravilla- Cal Hidratada)	80
Tabla B.31. Densidad Bulk	80
Tabla B.32. Estabilidad y Flujo	81
Tabla B.33. Gmm.	81
Tabla B.34. Vacios en la mezcla	81
Tabla B.35. Volumen y masa del espécimen, sin y con 1,5% de Cal Hidratada	82
Tabla B.36. Mezcla con sin Cal Hidratada	82
Tabla B.37. Propiedad granulométrica de agregados totales sin Cal Hidratada	83
Tabla B.38. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada	83
Tabla B.39. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava-gravilla)	84

Tabla B.40. Densidad Bulk	85
Tabla B.41. Estabilidad y Flujo	86
Tabla B.42. Resultados del ensayo Inmersión – Compresión	87
Tabla B.43. Gmm.	88
Tabla B.44. Vacios en la mezcla	89
Tabla B.45. Mezcla con 1,5% Cal Hidratada	90
Tabla B.46. Propiedad granulométrica de agregados totales con Cal Hidratada	90
Tabla B.47. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada	91
Tabla B.48. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava-gravilla-Cal Hidratada)	91
Tabla B.49. Densidad Bulk	92
Tabla B.50. Estabilidad y Flujo	93
Tabla B.51. Resultados de ensayo Inmersión-Compresión	94
Tabla B.52. Gmm.	95
Tabla B.53. Vacios en la mezcla	96
Figura B.1. Curva logarítmica de granulometría sin Cal Hidratada	97
Figura B.2. Curva logarítmica de granulometría con 1,0 % de Cal Hidratada	97
Figura B.3. Curva logarítmica de granulometría con 1,5 % de Cal Hidratada	98
Figura B.4. Curva logarítmica de granulometría con 2,0 % de Cal Hidratada	98
Figura B.5. Densidad Vs Cal	99
Figura B.6. Estabilidad Vs Cal	99
Figura B.7. Flujo.Vs.Cal	99
Figura.B.8. Gmm. Vs Cal	99

Figura B.9. Vacío en la mezcla Vs Cal	99
Figura B.10. Curva logarítmica de granulometría con sin Cal Hidratada	100
Figura B.11. Curva logarítmica de granulometría con 1,5 % de Cal Hidratada	100

## RESUMEN

TITULO: MEZCLA ASFALTICA CON CAL HIDRATADA\*

AUTORES: ANTELIS CORONADO Oscar Alban\*\*

PALABRAS CLAVES: MDC2, CAL HIDRATADA, ADHESIÓN, COHESIÓN, INMERSIÓN-COMPRESIÓN, RESISTENCIA.

CONTENIDO: La evaluación de la mezcla asfáltica empleada en Bucaramanga, generalmente presenta deficiencia por sensibilidad al agua, con el propósito de mejorar las características de los materiales asfálticos (adhesión, cohesión y resistencia). Se fabricaron y ensayaron probetas (MDC-2) de acuerdo a las especificaciones generales dadas por el Ministerio de Transporte, instituto nacional de vías (I.N.V.).

Se adicionó Cal Hidratada en forma gradual a las diferentes probetas, determinando la densidad Bulk, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall obteniendo su estabilidad y deformación, posteriormente se determinó el peso específico teórico máximo (Gmm) y el porcentaje de vacíos con aire, de los ensayos se determinó el porcentaje óptimo del agregado estabilizante(1,5% de Cal Hidratada), continuando con el ensayo de Inmersión-Compresión para probetas fabricadas con 0,0% y 1,5% de Cal Hidratada.

Los índices de resistencia conservada de 84,2% y 118%, de probetas fabricadas con 0,0% y 1,5% de Cal Hidratada, respectivamente, su aumento es significativo cuando la Cal Hidratada entra en contacto con el agua, respuesta a la acción eficaz de la Cal Hidratada sobre el cemento asfáltico mejorando su cohesión y adhesión con los agregados. Se aplicó 2 y 7m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica densa en caliente (MDC-2), tratadas con 0,0 y 1.5% de Cal Hidratada respectivamente, en el barrio Gómez Niño, cra. 16 entre calles (56 y 58). Se da un incremento de \$ 10.260,00, en el costo de producción por metro cúbico de mezcla asfáltica tratada con 1,5% de Cal Hidratada, se sugiere el convencimiento de las entidades públicas a pagar un mayor costo inicial por un pavimento con posibilidades de mayor vida de servicio.

---

\*Trabajo de investigación

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

## ABSTRACT

TITLE: ASPHALT MIXTURE WITH HYDRATED LIME\*

AUTHOR: ANTELIS CORONADO Oscar Alban\*\*

KEY WORDS: MDC2, HYDRATED LIME, ADHESION, COHESION, IMMERSION, COMPRESSION, AND RESISTANCE.

INTRODUCTION: The estimation of the use of asphalt mixture in Bucaramanga, usually presents a lack of water sensitivity, with the purpose of improving the asphalt materials characteristics (adhesion, cohesion, resistance). Test tubes (MDC2) were manufactured and applied according to the general specifications given by the Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías (I.N.V).

Hydrated Lime was added to different test tubes in a gradual form, in that way determining the density of the Bulk, shattering the test tubes subsequently in the Marshal Press obtaining its stability and distortion, consequently specific maximum theoretic weight was determined (Gmm) and the percentage of air vacuums, took from the tests it was determined the optimum percentage of the aggregated stabilizer (1,5 % of Hydrated Lime), followed by the test of Immersion-Compression for test tubes manufactured with a 0,0 % and 1,5 % of Hydrated Lime.

The rates of maintained resistance of 84, 2% and 118%, of tests tubes manufactured with 0,0 % and 1,5 % of Hydrated Lime, in that order it is significant when the Hydrated Lime comes into contact with water, improving its cohesion and adhesion with the aggregates. A thick asphalt mixture of 2 and 7m<sup>3</sup> was applied in heat (MDC-2), treated with Hydrated Lime of 0,0 % and 1,5 %, in the neighborhood Gómez Niño, cra 16 between the streets (56 and 58). There is an increase of \$10.260,00, in the production per cubic meter of Hydrated Lime, it is suggested to convince public entities to pay a higher initial price for a better surfacing life-span.

---

\*Research Paper

\*\*Faculty of Physical -Mechanical Engineers

School Civil Engineer

Director: Engineer Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

## INTRODUCCION

Los agregados de las mezclas asfálticas empleadas en Bucaramanga provienen de la fuente del río Chicamocha, Sogamoso y Bocas, debido al gran volumen de tránsito de camiones pesados y por razones económicas se determinó el uso de áridos de procedencia local por escasez de agregados buenos en la región.

La evaluación de la mezcla asfáltica empleada en Bucaramanga, generalmente presenta deficiencia por sensibilidad al agua, se busca mejorar las características de los materiales asfálticos que se utilizan en la construcción de pavimento, se hace deseable la necesidad de desarrollar una mezcla asfáltica en caliente tratada con Cal Hidratada, buscando el mejoramiento en la adhesión entre el ligante asfáltico y el agregado de la fuente del río Chicamocha.

Se fabrican probetas como se describe en la norma, se determinan las características a través de: la densidad **Bulk**, la estabilidad y deformación, el peso específico teórico máximo (Gmm) y el porcentaje de vacíos con aire.

Se adiciona Cal Hidratada en forma gradual a las diferentes probetas y de los ensayos se determina la cantidad óptima del agregado estabilizante, se realiza el ensayo de inmersión-compresión. Se construye un tramo de prueba de promedio 9 cm. de espesor en la Cr. 16 entre calles (56 y 58), barrio Gómez Niño, ciudad de Bucaramanga.

Los problemas de susceptibilidad a la humedad, deformación permanente (huella mienta, y deslizamiento) a extremas condiciones de carga y el incremento del volumen de tránsito serán controlados, una vez la Cal Hidratada produzca disminución de la tensión superficial entre el cemento asfáltico y el agua, dando buena adhesión, mejorando resistencia al desprendimiento como resultado de la interacción con los ácidos en el asfalto, formando productos insolubles que son absorbidos rápidamente por la superficie de los agregados.

Basados en esta inspección se espera que el proyecto propuesto proveyese una mayor vida de servicio de las carreteras construidas con mezclas asfálticas en caliente, los problemas de susceptibilidad a la humedad, deformación permanente, aparición de infinidad de baches y problemas de retención de agua deberían ser resueltos.

## 1. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA

La mezcla asfáltica caliente (MDC) es diseñada con material de río, debidamente triturado y material bituminoso, formando un conglomerado homogéneo admisible por las normas del Instituto Nacional de Vías (I.N.V.)

La carpeta bituminosa es la capa superior de un pavimento flexible, ésta es diseñada para resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas y efectos abrasivos del tránsito le transmite, durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Tales requerimientos, sumados con los agentes de intemperismo, regularidad superficial, durabilidad, drenaje, economía, seguridad, deben ser resueltos.

Es válido entender que los agregados pétreos contienen material arcilloso y al contacto con el agua producen un incremento volumétrico dando origen a la pérdida de la adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico, ocasionando desmoronamiento de la carpeta asfáltica y acelerando su envejecimiento. La expansión y contracción originadas por cambios de humedad, han sido controladas tratándolos con Cal, corrigiendo sus características plásticas.

*(MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos: fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogotá, tercera edición 2006, pág. 2, 4, 99, 100, 101).*

### 1.1 CARACTERIZACION DE AGREGADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS TRADICIONALES

El proceso de selección es enfocado a materiales que resistan las abrasiones (esfuerzos cortantes) y punzonamientos producidos por el paso de vehículos, ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos y a la propia luz solar.

Los agregados pétreos del río Chicamocha, triturados y procesados en planta, presentan de acuerdo a su clasificación, las siguientes características: el agregado grueso (triturado) tiene un porcentaje de caras fracturadas del 91,3 % (**Figura A.1**), un índice de aplanamiento del 11,4% y un índice de alargamiento del 25,8 % (**Figura A.2**); el agregado fino (gravilla) tiene un equivalente de arena del 67,1% (**Figura A.3**), los límites de Atterberg, no plástico, SW-SM (**Figura A.4**).

### 1.2 CARACTERIZACION DE ASFALTOS TRADICIONALES

El cemento asfáltico (60-70) es un hidrocarburo derivado del petróleo, su textura se caracteriza por ser una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa. La temperatura de mezcla (145-151°C), la temperatura de compactación (137-142°C), (Figura A.7).

### 1.3 CARACTERIZACION DE MEZCLAS ASFALTICAS TRADICIONALES

TECNOPAVIMENTOS S.A. Aplica el porcentaje óptimo de asfalto de 5.0 %, para la preparación de mezclas asfálticas, de acuerdo al estudio elaborado por el laboratorio de ingeniería Civil CONCRESERVICIOS, en el informe No 047/2007, fecha de ensayo 22-02-2007 (Figura A.6).

### 1.4 CAL

Las mezclas asfálticas se tratarán con este producto, con el objetivo de alterar sus propiedades buscando mayor adhesión en la mezcla asfáltica.

#### 1.4.1 Propiedades de la Cal Hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Figura 1. Cal Hidratada



Google,  $\text{Ca}(\text{HO})_2$



Abastecimiento tolva de alimentación

El óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) o Cal viva es un producto que se obtiene de la calcinación de piedras calizas de alta pureza, no es inflamable, no posee explosión potencial, la solubilidad en agua insignificante, es inestable por ser material anhidro, es incompatible con agua y ácidos.

La Cal viva al entrar en contacto con el agua, sufre una expansión aumentando su volumen 2,5 veces, transformándose en la especie química de hidróxido de

calcio o hidróxido cálcico  $\text{Ca(OH)}_2$ , conocida con los siguientes nombres comerciales: Cal Hidratada, cal apagada, cal débil o cal en polvo.

La Cal Hidratada es atóxica, no obstante es necesario usar equipos de protección adecuados y proveer de ventilación, su estado físico es sólido, se presenta granulada o molida, la apariencia del producto; color crema, café y blanco, no presenta olor

La Cal Hidratada tiene humedad de (0,8-1,5%) al empacar, densidad suelta de  $0,398 \text{ ton/m}^3$ , densidad compactada de  $0,412 \text{ ton/m}^3$  y ángulo de reposo  $> 70$  grados.

*(GOOGLE. Efectos de la cal hidratada con el medio ambiente, registrocdt - Bio Bio - INACESA - Cal).*

#### 1.4.2 Estabilizaciones con Cal

La Cal es utilizada en la estabilización de suelos con el propósito de alterar sus propiedades físicas, para incrementar su resistencia y durabilidad con el fin de obtener un material de función satisfactorio.

La Cal es utilizada para estabilizar suelos arcillosos con índice plástico alto, igualmente a suelos altamente granulares con arcillas activas, cuyas variaciones volumétricas con el agua reducen la capacidad portante del mismo, han sido considerablemente mejorados mediante el tratamiento con Cal y tal acción se ha demostrado continua en función del tiempo. Así mismo la Cal elimina la susceptibilidad del agua en suelos cohesivos reduciendo la tendencia al hinchamiento de los mismos.

La remoción de capas arcillosas para ser reemplazadas por material granular implica un incremento en los costos y retardan el trabajo, esto puede ser solucionado con un tratamiento con Cal Hidratada.

*(MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos: fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogotá, tercera edición 2006, pág. 99, 100, 101).*

#### 1.4.3 Efectos ambientales

Material altamente cáustico, por lo que sin tratamiento adecuado, tiene efectos sobre el medio ambiente.

Cantidades grandes de cal en contacto con agua, vapor o ácidos, generan calor suficiente como para encender madera y otros materiales combustibles cercanos.

(GOOGLE. *Efectos de la cal hidratada con el medio ambiente, registrocdt - Bio Bio - INACESA - Cal*).

#### 1.4.4 Precauciones

- La exposición al óxido de calcio por las vías de inhalación, contacto con la piel, ojos o por la ingestión, puede afectar el organismo.
- La exposición aguda a corto plazo, irritará ojos, nariz, garganta y piel. Los factores térmicos pueden ser constituyentes de quemaduras intensas, bronquitis y neumonía.
- La exposición a largo plazo puede producir dermatitis, úlceras y perforaciones al tabique nasal.
- El contacto con la piel producirá irritación, quemaduras intensas, corrosión y posible daño severo.
- El contacto con los ojos produce quemaduras graves y pérdida de visión.
- La inhalación del polvo de cal, causa tos, estornudos e inflamación del aparato respiratorio.
- La ingestión produce quemaduras y causticidad.
- En caso de incendios pequeños, el agente de extinción sería polvo químico seco CO<sub>2</sub>, neblina de baja o espuma normal. Para incendios grandes, neblina de baja, de alta o espuma normal.
- Como equipo de protección personal. Debería utilizarse crema protectora aplicada al cuello, puños, tobillos, cintura y manos, un respirador adecuado para partículas con filtro de alta eficiencia, protección visual monovisor de una pieza con cierre hermético, capucha con suministro de aire en lugares de trabajo fijo, pantalón que descienda hasta cubrir la bota, utilizar camisa manga larga con mangas de exudación, abotonada en cuerpo y cuello, Guantes de neopreno o PVC; en general la ropa de seguridad no debe ser ceñida al cuello, puños, cintura y tobillo, ya que el roce con la cal puede causar irritaciones en la piel. (GOOGLE. *Efectos de la cal hidratada con el medio ambiente, registrocdt - Bio Bio - INACESA - Cal*).

#### 1.5 EFECTOS DE LA CAL EN MEZCLAS ASFALTICAS

Para prevenir problemas de desprendimiento dos tipos de aditivos (productos químicos y Cal), han sido usados para controlar los daños ocasionados por la humedad, La adhesión entre el cemento asfáltico y el agregado es mejorada. Esto es logrado porque los agentes antidesprendimiento suministran al cemento asfáltico una carga eléctrica que a menudo es opuesta a la de la superficie del agregado. (*Estudio del Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente de la Carretera Panamericana de San Ramón - Barranca en Costa Rica*).

## 1.6 EXPERIENCIAS

En la Carretera Panamericana de San Ramón - Barranca en Costa Rica, se llevó a cabo un estudio analizando el desempeño de la carretera construida con mezclas asfálticas en caliente, susceptible a la humedad (desprendimiento) y la deformación permanente (ahuellamiento y deslizamiento). De los resultados obtenidos en los ensayos, la recomendación de este estudio es el uso de una combinación de 1.5% de Cal Hidratada adicionada al agregado húmedo más el uso de un cemento asfáltico que ha sido modificado con 3% de polímero EE-2 para resolver los problemas del diseño de la mezcla, (*Estudio del Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente de la Carretera Panamericana de San Ramón - Barranca en Costa Rica*).

## 2. METODOLOGIA

En este capítulo se presenta el procedimiento a seguir para el estudio de mezclas asfálticas tratadas con incrementos en porcentajes de (0%, 1.0% 1.5%, 2.0%) de Cal Hidratada.

La empresa TECNOPAVIMENTOS S.A., productora de mezclas asfálticas y la Universidad Industrial de Santander, autorizaron el uso de sus laboratorios y equipos con el objetivo de llevar a cabo las caracterizaciones correspondientes al presente proyecto.

### 2.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Los agregados pétreos seleccionados para este estudio son de la fuente del rio Chicamocha, se toma una muestra de agregados gruesos y agregados finos, se calcula el peso del tamiz pasa 200, contenidos en las dos muestras, [Tabla B.1](#).

Figura 2. Agregados pétreos



A través del procesos de trituración se obtiene la fragmentación de rocas o gravas, seleccionados de la siguiente forma: se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 9.51 mm y 75  $\mu\text{m}$  (No.3/8 y No.200) y llenante mineral la que pase el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200). Las propiedades granulométricas de las muestras tomadas se presentan en la [Tabla B.2](#).

Figura 3. Clasificación, pesado y empaque de agregados



El máximo tamaño del agregado grueso esta comprendido entre el retenido por el tamiz de (No. 1/2) y pasa por el tamiz de (No. 5/8), en los agregados finos se puede observar tamaños mayores (Tabla B.2) a los establecidos por el numeral 400.2.1 del artículo 400-02.

Se trabaja con el tipo de gradación (MDC-2), para la construcción de un tramo de prueba de espesor de (9 cm), aparte 450.2.1 del ARTÍCULO 450 – 02, (Tabla A.2).

## 2.2 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS TRADICIONALES

Se inicia con el proceso de fabricación de las mezclas asfálticas tradicionales.

### 2.2.1 Fabricación de mezclas asfálticas

Se presenta el acondicionamiento del agregado grueso (grava) y agregado fino (gravilla), que a través la variación de los porcentajes de cada grupo de agregados, con combinación de 22% de grava y 78% de gravilla (respecto al total de agregados tradicionales), logrando el ajuste la granulometría, (Tabla B.5), definida por la norma, (Tabla A.2). El peso total de cada probeta es de 1.200 gramos, I.N.V. E-748.

En el proceso de mezclado se elaboran mínimo 3 especímenes de donde se calculan el promedio de las diferentes caracterizaciones.

Cada uno de los especímenes se prepara individualmente a partir de la granulometría detallada.

La cantidad de ligante calculada se calienta a la temperatura establecida por La CURVA REOLÓGICA BITUMEN 60-70 STOP (Figura A.8), en un recipiente que en ningún caso estará en contacto con la llama o placa de calefacción agitándolo continuamente durante el calentamiento.

El bitumen (60-70) se lleva a una temperatura de mezcla entre (145°C - 151°C), (Figura A.7).

Los agregados totales se calientan en un horno hasta alcanzar una temperatura uniforme de  $160\pm 1^\circ\text{C}$  aproximada, los agregados pierden cerca de los  $10^\circ\text{C}$  durante su manipulación y aplicación del ligante asfáltico.

Cuando los agregados y el ligante hayan alcanzado la temperatura de mezcla, se carga el recipiente de mezclado, previamente calentado a una temperatura aproximada a la de los agregados, con la cantidad establecida por el diseño de éstos, ya premezclados, pesando a continuación sobre el mismo recipiente la cantidad calculada de ligante e iniciando seguidamente el proceso de mezcla, que debe ser ejecutado rápidamente a mano con una espátula, buscando el completo recubrimiento de los agregados por el ligante asfáltico y homogeneidad de la mezcla, es conveniente apoyarse de una estufa de calefacción para conservar uniforme la temperatura de la mezcla asfáltica durante el proceso de mezclado.

El proceso de Compactación y Curado es inmediatamente posterior al proceso de mezclado, se deben tener ya listas a temperaturas aproximadas  $149^\circ\text{C}$  los siguientes elementos: el molde cilíndrico con su collar, la placa de base, la placa superior, se coloca la mezcla recién fabricada en el molde previamente lubricado con un aceite o grasa, golpeándose vigorosamente con una espátula caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior.

La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación ( $137\text{-}142^\circ\text{C}$ ), (Figura A.7).

Sobre un pedestal de compactación, de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando el martillo de compactación con una caída libre de 457 mm (18"), manteniéndose el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación, se aplican (75) golpes por una cara, inmediatamente se retira la placa de base y el collar e invirtiéndose; se vuelve a montar el molde, y se aplica el mismo número de golpes (75) a la cara invertida de la muestra, terminando aquí el proceso de compactación.

Las probetas son marcadas, para su identificación durante de los respectivos ensayos de caracterización. Luego de la compactación se almacenan en un lugar seguro donde la probeta alcance la temperatura ambiente para realizar su extracción.

Luego de la compactación se deja curando las probetas por un tiempo de 48 horas, con el fin de conservar las características de fabricación de las

diferentes probetas y obtener uniformidad en los resultados de cada probeta, en los respectivos ensayos de caracterización.

Figura 4. Curado de probetas



### 2.2.2 Caracterización de mezclas asfálticas

En este proceso se estudian las propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales, aportando informes valiosos a la presente investigación.

#### 2.2.2.1 Peso Específico Aparente (Densidad **Bulk**)

Se determina el peso específico aparente de especímenes de mezclas asfálticas compactadas, el cual se emplea para calcular su peso unitario, igualmente es útil para calcular el porcentaje de vacíos con aire a que se refiere la Norma INV E – 736.

Terminado el tiempo de curado, a temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ), se toma el peso en el aire, en gramos de cada espécimen. Llámese (A) a este peso.

Se toma el peso en gramos de cada espécimen sumergido en agua ( $25^{\circ}\text{C}$ ). Désígnese este peso como (C).

Los especímenes se sumergen durante 5 minutos en agua a ( $25^{\circ}\text{C}$ ), se sacan, se secan con paño húmedo de modo que pueda de inmediato tomar el peso en gramos de cada espécimen con su superficie seca. Désígnese este peso como (B).

$$PESO\ ESPECIFICO\ APARENTE = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Peso del espécimen en el aire, gr.

C = Peso del espécimen en agua, gr.

B= Peso del espécimen con superficie seca luego de permanecer 5 minutos sumergido en agua, gr.

### 2.2.2.2 Estabilidad y Flujo

Se utiliza un recipiente de acero o cualquier material inalterable en las condiciones de la caracterización, se llena con agua hasta un nivel suficiente para sumergir los especímenes (muestras de laboratorio), se lleva el agua a una temperatura constante de 60 °C, se sumergen en el baño de agua regulado a  $60^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos (Figura 5). Finalizado este período, se saca del baño, determinando a continuación su resistencia a compresión y deformación de acuerdo con la norma INV E-748.

Figura 5. Inmersión de probetas



La estabilidad se expresa en Libras (lb), unidad de fuerza.

El flujo se expresa en unidad de pulgadas (pulg.), unidad de longitud.

El informe de a caracterización contiene: tipo de muestra ensayada, valor promedio de la máxima carga en (lb), de por lo menos tres especímenes corregido, valor promedio del flujo, en 0.25 mm (0.01") de tres especímenes y temperatura de caracterización.

#### 2.2.2.3 Peso específico máximo teórico (Gmm)

En la presente caracterización se disponen de los especímenes ya fallados en la prensa Marshall, se introducen en un horno, calentándolos hasta que se puedan manipular y separar manualmente sus aglomeraciones en cohesión, de modo que no se fracturen los agregados.

Con la bomba de vacíos o aspirador de agua, provisto de los elementos necesarios para el control de mediciones, volúmenes y extracción de vacíos, se lleva a cabo la caracterización como sigue: se toma el peso en gramos del matraz y se registra este valor, se le adiciona agua al matraz hasta un nivel fijo deseado y se toma su peso en gramos, se adiciona una cantidad determinada de muestra seca al matraz y se registra este peso en gramos, la diferencia entre el peso del matraz + la muestra y el peso del matraz es el peso en gramos de la muestra seca, al matraz + la muestra se le adiciona agua hasta un nivel poco inferior del orificio lateral, se conecta el matraz al sistema de la bomba de vacíos, agitando el matraz para facilitar la extracción de vacíos durante de 5 minutos, se vuelve adicionar agua hasta el nivel fijo deseado (apoyado de una pipeta de precisión), tomando el peso en gramos de este último paso.

$$PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO = A/(A + C - E)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gr.

C = Peso del recipiente lleno con agua a 25°C (77°F), gr.

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C (77°F), gr.

#### 2.2.2.4 Vacíos con aire

El porcentaje de vacíos con aire en una mezcla asfáltica es uno de los criterios utilizados tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos.

Vacíos con aire: son las bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto, en una mezcla asfáltica compactada.

Mezcla asfáltica densa: es una mezcla asfáltica en la cual, una vez compactada, los vacíos con aire son menores del 10%.

El porcentaje de vacíos con aire en una mezcla asfáltica compactada, en la siguiente forma:

$$\text{PORCENTAJE DE VACIOS CON AIRE} = 100 \times \left[ 1 - \frac{\text{PESO ESPECIFICO APARENTE}}{\text{PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO}} \right]$$

### 2.3 PREPARACION DE PROBETAS CON ADICION DE CAL

Se presenta el acondicionamiento del agregado grueso (grava) y agregado fino (gravilla), que a través la variación de los porcentajes de cada grupo de agregados, con combinación de 22% de grava y 78% de gravilla (respecto al total de agregados tradicionales), logrando el ajuste la granulometría, definida por la norma. El peso total de cada probeta es de 1.200 gramos, I.N.V. E-748.

La Cal se adiciona en porcentajes respecto al peso de los agregados totales (grava + gravilla + Cal Hidratada), esto hace que las propiedades granulométricas cambien.

En el proceso de mezclado, en la variación de los diferentes porcentajes de Cal Hidratada (1,0%, 1,5%, 2,0%), se establece la elaboración de mínimo 3 especímenes por cada uno de estos porcentajes; de tal manera que los resultados de los diferentes ensayos de caracterización se puedan graficar en curvas que permitan establecer el porcentaje óptimo de Cal Hidratada, con el que se fabrican los especímenes para realizar el estudio de susceptibilidad de la mezcla al agua.

Cada uno de los especímenes se prepara individualmente, limitando las cantidades en peso, según la formulación de mezcla para las diferentes probetas a partir de la respectiva granulometría detallada.

Se continúa el proceso de Mezclado, Compactación y Curado, como se hizo con las mezclas asfálticas tradicionales.

### 2.4 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS CON CAL

#### 2.4.1 Caracterización de mezclas asfálticas con Cal Hidratada

El proceso de las caracterizaciones de mezclas asfálticas con Cal Hidratada es el mismo a las realizadas para mezclas asfálticas sin Cal.

#### 2.4.2 Análisis de caracterizaciones entre mezclas tradicionales y mezclas con Cal Hidratada

Se tabulan y grafican los promedios de los diferentes resultados de las caracterizaciones, para determinar la cantidad óptima de agregado estabilizante, para realizar la caracterización de la susceptibilidad al agua a través del ensayo de inmersión-compresión.

### 2.5 SELECCIÓN DE MEZCLA PARA CONSTRUIR TRAMO DE PRUEBA 33

#### 2.5.1 Preparación de probetas de diámetro (4") y altura (4")

Se fabrica 10 especímenes de 0% de Cal Hidratada, determinado el peso específico aparente para cada uno, se forma dos grupos de 5 probetas de modo que ambos tengan el mismo peso específico aparente promedio aproximado.

Del mismo modo se fabrica 10 especímenes con el porcentaje óptimo determinado de Cal Hidratada, determinado el peso específico aparente para cada uno, se forma dos grupos de 5 probetas de modo que ambos tengan el mismo peso específico aparente promedio aproximado.

La fabricación de especímenes con 0% de Cal Hidratada y con el porcentaje de Cal Hidratada óptima determinada, el cálculo de la masa requerida ( $m = \delta \cdot V$ ), se toma la densidad promedio de los especímenes multiplicado por el volumen de la probeta de diámetro (4") y altura (4"). Continúa el proceso de fabricación de mezcla tradicional o tratada con Cal Hidratada según descripción respectiva, excepto la compactación a martillo por la compresión en la prensa universal y el ensayo de estabilidad en la maquina de Marshall por la Resistencia a compresión simple en la prensa universal.

En la compactación de probetas para ensayo de inmersión- compresión, las mezclas recién fabricadas se dejan enfriar hasta cuando alcancen la temperatura de compactación indicada en el numeral 3.3 del I.N.V. E – 747, se calientan los moldes a temperatura de compactación, se lubrican ligeramente con grasa, se vierte la mezcla en los moldes aplicando 25 golpes distribuidos, con una espátula, 15 en la periferia y 10 al azar, a las dos capas de mezcla aplicadas. A la probeta se le aplica una carga de asentamiento de 1MPa, se descarga y nuevamente se lleva a una carga de 20MPa, tiempo que requiere para esta última carga está entre 2 - 3

minutos, conservando estática la carga por un tiempo de 2 minutos, descargando finalmente para el proceso de curado.

### 2.5.2 Características de la susceptibilidad al agua

Las probetas curadas deben seguir el proceso de Inmersión-Compresión cuerdo al procedimiento No.2. Inmersión a 60°C, del Numeral 3.3, E-738, luego se calcula el valor de la resistencia a compresión simple de cada grupo de probetas (I.N.V. E-747). Con estos valores se calcula el índice de resistencia conservada por medio de la siguiente expresión:

Figura 6. Especímenes sin Cal, de diámetros (4") y alturas (4")



Figura 7. Especímenes con 1,5%, de diámetros (4") y alturas (4")



***INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA, % =  $(R_2/R_1) \times 100$***

$R_1$  = Resistencia a compresión de las probetas no sumergidas. (Grupo 1).

$R_2$  = Resistencia a compresión de las probetas sumergidas. (Grupo 2).

La norma requiere solo las resistencias a compresión simple, sin embargo se tienen en cuenta las densidades Bulk, deformaciones, Gmm y vacíos para estimar comparativos respecto a los ensayos definidos por I.N.V. E – 748.

### 2.5.3 Análisis de características de la susceptibilidad al agua

Con los resultados de los ensayos se comparan las resistencias de las mezclas con y sin Cal Hidratada a través del índice de resistencia conservada I.N.V. E-738. Se procede a solicitar aplicación de un tramo de prueba.

## 2.6 CONSTRUCCION DE TRAMO DE PRUEBA

### 2.6.1 Producción de mezcla asfáltica tratada con Cal Hidratada

Se alimentan la tolva-1 con agregado fino, tolva-2 con Cal Hidratada, tova-3 con agregado grueso. En el centro de control de producción, se establece toda calibración necesaria para la producción de mezclas asfálticas tales como: la caída de los agregados, la cantidad de asfalto de modo que obtenga la relación de porcentajes entre ellos dada por la formulación en laboratorio, y control de temperatura de mezclado. La mezcla preparada es llevada por bandas transportadoras hasta un depósito para su despacho.

### 2.6.2 Aplicación de mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica tratada con Cal Hidratada

Se realiza la localización de la caja a reparar, se prepara levantando la carpeta asfáltica defectuosa, se corrige la base granular (removiendo, rellenando y compactando), se hace riego de liga asfáltica el interior y contorno de la caja, se descarga la mezcla asfáltica efectuando la nivelación y finalmente la compactación con un vibrocompactador.

### 3. FORMULACION DE MEZCLA ASFALTICA

#### 3.1 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS

De la ejecución de los procesos definidos previamente se toman decisiones respectivas de acuerdo a los resultados obtenidos en el transcurso de la formulación.

##### 3.1.1 Formulación de mezclas asfálticas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada

En las muestras de agregados grueso y fino, se determinan la granulometría del material lavado en tamiz pasa 200, estas propiedades en, **Tablas B.1 y B.2,**

Se elaboraron probetas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada de masa 1.200 gramos, I.N.V. E-748, el porcentaje de asfalto aplicado es del 5% respecto al peso total de la mezcla, **Tablas B.3, B11, B.19 y B.27,**

La masa para la fabricación de probetas de mezclas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada de diámetros 4" y alturas 4", I.N.V. E-738, con el porcentaje de asfalto aplicado es del 5% respecto al peso total de la mezcla, **Tabla B.35, B.36 y B.45.**

Se ajustaron a los porcentajes de agregados gruesos en 22% y agregado fino en 78 %, buscando combinación permisible de granulometría para la fabricación de probetas asfálticas MDC-2, Aparte 450.2.1 del ARTÍCULO 450 – 02. **Tablas B.4, B.12, B.20, B.28, B.37 y B.46.**

Se presentan dos cuadros por porcentaje en la fabricación de mezclas asfálticas sin y con Cal Hidratada, en los que se registran la cantidad de agregados asfálticos para la preparación en laboratorio de una sola probeta según la granulometría detallada o a partir de las muestras (grava, gravilla y Cal en casos de mezclas tratadas), **Tablas B.5, B.6, B.13, B.14, B.21, B.22, B.29, B.30, B.38, B.39, B.47 y B.48.**

La granulometría para la fabricación de probetas, también es representarla en la curva logarítmica, localizada entre límites inferior y superior, restricciones para mezclas asfálticas MDC-2, establecidas por el Aparte 450.2.1 del ARTÍCULO 450 – 02. **Figuras B.1, B.2, B.3, B.4, B.10 y B11.**

##### 3.1.2 Propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada.

El cálculo del peso específico aparente se emplea para calcular el peso unitario de la muestra, en Kg/m<sup>3</sup> o Ton/m<sup>3</sup>, igualmente es útil para calcular el porcentaje de vacíos con aire a que se refiere la Norma INV E – 736, **Tablas B.7, B.15, B.23, B.31, B.40 y B.49.**

Los índices de resistencia conserva para probetas tradicionales y probetas tratadas con Cal Hidratada se presentan en, **Tablas B.42 y B.51.**

Determinación en Kg-f de la resistencia a la deformación plástica por el método Marshall de mezclas bituminosas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada. **Tablas B.8, B.16, B.24 y B.32**

Determinación en libras de la resistencia a la deformación plástica a compresión simple con la prensa universal, de mezclas bituminosas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada. **Tablas, B.41 y B.50.**

Determinación del peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas tradicionales sin compactar, **Tablas B.9, B.17, B.25, B.33, B.43 y B.52.**

El porcentaje de vacíos con aire en la mezcla, es uno de los criterios utilizados tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos, es aplicado a mezclas tradicionales y tratadas con Cal Hidratada, **Tablas B.10, B.18, B.26, B.34, B.44 y B.53.**

### 3.2 SELECCIÓN DE LA FORMULA DE TRABAJO

43

En el presente cuadro se recopilan el promedio de las respectivas caracterizaciones desarrolladas en probetas de 1200 gr. de peso.

Tabla1. Resultados de caracterizaciones

% DE CAL HIDRATADA	DENSIDAD	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	Gmm	VACIOS EN LA MEZCLA
	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	Lb-F	<i>Pulg./100</i>		%
0	2,358	3.367,70	11,5	2,463	4,299
1	2,3525	2.820,76	17,8	2,465	4,668
1,5	2,3514	3.168,65	13,0	2,456	4,246
2	2,352	4083,01	15,4	2,461	4,567

En el siguiente cuadro se presentan los rangos admisibles y los resultados de laboratorio de caracterizaciones desarrolladas en probetas de 1200 gr. de peso, para determinar la fórmula de trabajo.

Tabla 2. Cuadro de normas y resultados de laboratorio

ENSAYO	NORMA (I.N.V.)	RANGOS ADMISIBLES		RESULTADOS			
		INFERIOR	SUPERIOR	PROBETA TRADICIONAL	PROBETA CON 1,0% DE CAL HIDRATADA	PROBETA CON 1,5% DE CAL HIDRATADA	PROBETA CON 2,0% DE CAL HIDRATADA
DENSIDAD (E-733)				2,358 gr/cm <sup>3</sup>	2,3525 gr/cm <sup>3</sup>	2,351 gr/cm <sup>3</sup>	2,352 gr/cm <sup>3</sup>
ESTABILIDAD MÍNIMA (E-748)	Aparte 450.4.2 del Artículo 450-02	900 Kg-F.					
	Aparte 450.4.2 del Artículo 450-02	2092,50 Libras		3367,70 Libras.	2820,76 Libras.	3168,65 Libras.	4083,01 Libras.
FLUJO (E-748)	Aparte 450.4.2 del Artículo 450-02	2,0 mm.	3,5 mm.	11,50 pulg./100	17,80 pulg./100	13,00 pulg./100	15,40 pulg./100
		8 pulg./100	14 pulg./100				
Gmm (E-735)				2,463	2,465	2,456	2,461
VACIOS EN LA MEZCLA (E-736)	Aparte 450.4.2 del Artículo 450-02	4,0 %	6,0 %	4,3 %	4,7 %	4,2 %	4,6 %

El I.N.V. define los requisitos mínimos para la fabricación de mezclas asfálticas, se rige la norma al las caracterizaciones realizadas.

Estabilidad: para muestras tradicionales, se obtiene un valor muy superior al mínimo exigido por la norma, para muestras con 1,0% de Cal Hidratada, la estabilidad disminuye, pero aun esta muy por encima del mínimo, para muestras con 1,5% de Cal, se obtienen valores un poco bajos a los obtenidos de las muestras tradicionales, para muestras con 2,0% de Cal, la estabilidad presenta el mayor valor, que me define hasta el momento el porcentaje de Cal Hidratada.

Flujo: las caracterizaciones que arrojan resultados dentro la norma son probetas tradicionales y con 1,5% de Cal Hidratada, mientras los de 1,0% y 2,0% de Cal Hidratada arrojan valores por encima del máximo admisible.

Vacios con aire: todos los ensayos aportan valores dentro de lo exigido por la norma.

El criterio de selección del porcentaje de Cal Hidratada, queda reducido a las probetas tradicionales y las tratadas con 1,5% de Cal Hidratada, es notable que para probetas sin tratamiento tienen valores mas alejados de los rangos permisibles, que los obtenidos de probetas tratadas con 1,5% de Cal Hidratada, definiéndome que los mejores resultados son aportados por las probetas elaboradas sin tratamiento de Cal Hidratada.

Sin embargo para las probetas tratadas con 1,5% de Cal Hidratada, todas sus caracterizaciones presentan valores dentro de la norma, validando la posibilidad de escoger este porcentaje de Cal Hidratada como fórmula de trabajo para realizar el estudio de susceptibilidad de la mezcla al agua.

### 3.3 ESTUDIO DE SUCEPTIBILIDAD DE LA MEZCLA AL AGUA

La formulación y propiedades de probetas en estudio de susceptibilidad, de diámetro 4" y altura de 4" cumple con los mismos parámetros trazados para los de diámetro 4" y altura de 2,5", excepto la compactación a martillo por la compresión en la prensa universal, la inmersión definida por el I.N.V 738 y la caracterización de la estabilidad en la maquina de Marshall por la Resistencia a compresión simple en la prensa universal.

Tabla 3. Resultados de caracterizaciones

	INMERSION-COMPRESION				
	ENSAYO	0%		1,5%	
		GRUPO1	GRUPO2	GRUPO1	GRUPO2
Densidad	I.N.V. E-733	2,224	2,224	2,229	2,229
Estabilidad corregida. promedio [ libras ]	-	-	-	-	-
Estabilidad promedio [ libras ]	I.N.V. E-747	2827,91	2381,40	3106,98	3665,12
Flujo promedio, pulg/100	I.N.V. E-747	14,18	18,70	13,80	18,20
Gmm, promedio	I.N.V. E-745	2,47	2,46	2,46	2,46
Vacio en la mezcla %	I.N.V. E-746	9,81	9,61	9,31	9,48
R1, libras/pulg <sup>2</sup>	I.N.V. E-747	225,04		247,24	
R2, libras/pulg <sup>2</sup>	I.N.V. E-747		189,50		291,66
Índice de Resistencia Conservada 100 = ( R2 / R1 ) *	I.N.V. E-738	84,2 %		118 %	

Todas las probetas para la caracterización de susceptibilidad al agua, fueron fabricadas en las mismas condiciones, en búsqueda de resultados uniformes.

Para especímenes fabricados con 0% de Cal Hidratada, se organizaron dos grupos de de 5 probetas cada uno, buscando pesos específicos aparentes promedios aproximadamente iguales, el mismo proceso se hizo para especímenes fabricados con 1,5% de Cal Hidratada.

Se esperaba una disminución en los pesos específicos de probetas fabricadas con 1,5 % de Cal Hidratada respecto a las fabricadas con 0% de Cal Hidratada, sin embargo se presentó un leve aumento de 5 milésimas.

Luego del ensayo de compresión simple, en la sección de falla se observa fracturación de los agregados, agregados recubiertos con asfalto (falla del asfalto por cohesión) y agregados no fracturados pero descubiertos (falla en la adherencia entre el agregado y al asfalto).

En la (figura 8). En las dos tomas de registro, se observa falla por cohesión en el agregado, sin embargo las probetas tratadas con 1,5 % de Cal Hidratada, no sumergidas (grupo 1), respecto a las no tratadas con Cal Hidratada (grupo 1), presentan un incremento del 8,98 % de resistencia. Estos resultados permiten interpretar el efecto químico de la Cal Hidratada sobre el asfalto, mejorando sus características en cuanto a la cohesión y de paso aumentando su adhesión con los agregados pétreos, igualmente reflejado en la disminución de la deformación.

**Figura 8.** Falla cohesión del agregado, en probetas sin Cal y 1,5% de Cal



Las probetas tratadas con 1,5 % de Cal Hidratada, sumergidas (grupo 2), respecto a las no tratadas con Cal Hidratada (grupo 2), presentan un incremento del 35,02 % de resistencia. Resultados favorables para aplicar en campo mezclas asfálticas tratadas con Cal Hidratada, solucionando los problemas de su susceptibilidad a la humedad y deformación permanente.

En el ensayo de Inmersión-Compresión, para probetas fabricadas con 0,0 % de Cal Hidratada, se presenta disminución de la resistencia en los especímenes sumergidos (grupo 2), respecto a las no sumergidas (grupo 1), en un 15,8 %, es decir, un Índice de Resistencia Conservada de 84,2 %, que cumple con los requisitos de adhesión entre el asfalto y los agregados, Tabla 400.1 del Artículo 450-20 del I.N.V.

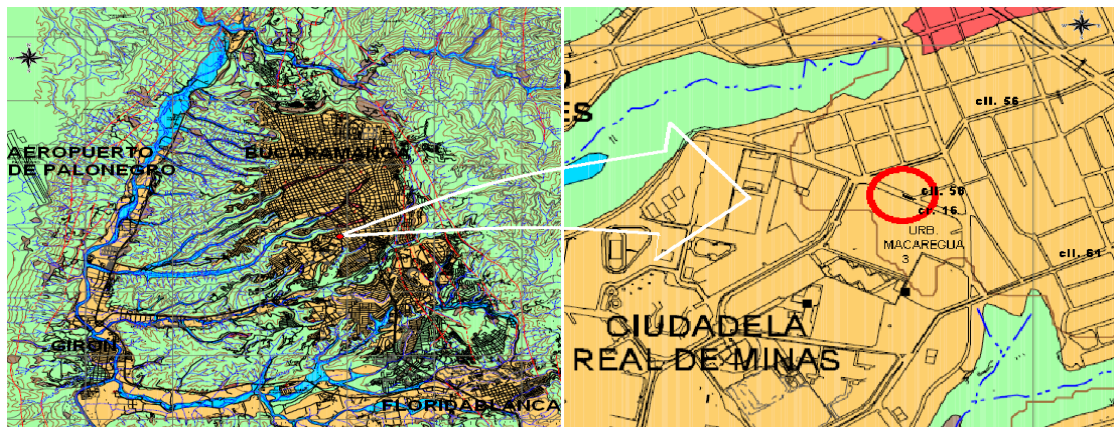
En la caracterización de susceptibilidad al agua, para probetas fabricadas con 1,5 % de Cal Hidratada, se presenta aumento de la resistencia en los especímenes sumergidos (grupo 2), respecto a las no sumergidas (grupo 1), en un 18 %, es decir, un Índice de Resistencia Conservada de 118 %. Los resultados esperados entre especímenes no sumergidos (grupo 1) y los sumergidos (grupo 2), en la ejecución la caracterización de susceptibilidad al agua, son la disminución de la resistencia del (grupo 2) respecto al (grupo 1); pero el tratamiento con Cal Hidratada aumenta su resistencia al sumergir las probetas en agua, mejorando las características de los materiales, debido a la disminución de las tensiones superficiales entre el cemento asfáltico y el agua.

Con el aumento de la resistencia, la disminución en la deformación y el aumento de la adhesión al tratar mezclas asfálticas con 1,5 % de Cal Hidratada, se puede concluir que a la mezcla asfáltica se le ha mejorado sus propiedades, dando paso a un producto mejorado y con la posibilidad de comprobar luego de la aplicación en campo, para que se pueda llevar un registro de su comportamiento frente a las exigencias por el tráfico, intemperismo e incidencia por parte del agua.

## 4. APLICACIÓN DE UN TRAMO DE PRUEBA

### 4.1 LOCALIZACIÓN

Figura 9. Localización para aplicación del tramo de prueba



Microzonificación de Bucaramanga

El tramo de prueba se aplicó en la ciudad de Bucaramanga, barrio Gómez Niño, Cr. 16 entre calles (56 y 58).

### 4.2 DELIMITACIÓN Y LEVANTAMIENTO DEL PAVIMENTO DETERIORADO

La carpeta asfáltica deteriorada es delimitada y levantada (espesor 9 cm.), hasta encontrar la base granular, la cual es corregida con material nuevo en lugares requeridos.

Figura 10. Caja para aplicación de mezcla asfáltica con 0,0% y 1,5% de Cal



### 4.3 COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR

Este proceso se realiza con un vibrocompactador por toda área a pavimentar hasta obtener un suelo firme y apto para la aplicación de la mezcla asfáltica.

Figura 11. Compactación de la Base



### 4.4 ELABORACIÓN DE LOS AGREGADOS TRITURADOS

#### 4.4.1 Equipo

La planta cuenta con un equipo de trituración de rocas en frío y sistema de mallas que seleccionan las partículas fragmentadas (gravas o gravilla), transportándolas a través de bandas hasta montones independientes.

#### 4.4.2 Clasificación de los agregados

La planta produce agregado grueso que comprende la porción del agregado que pasa por el tamiz 5/8 y retenido en el tamiz de 4.75 mm (No.4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 9,51 mm y pasa 75  $\mu\text{m}$  (No.3/8 y pasa No.200), llenante mineral el que pase el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

#### 4.4.3 Equipo para el transporte

En el transporte de agregados, la planta utiliza una volqueta y dos cargadores, carretillas y bandejas para transporte de muestras de agregados o mezcla asfáltica hasta el laboratorio.

Figura 12. Equipo de transporte en la planta



TECNOPAVIMENTOS



TECNOPAVIMENTOS

#### 4.4.4 Almacenamiento de agregados

Luego de la trituración, los agregados son almacenados en montones a una distancia relativamente corta, de modo que la alimentación de las tolvas sea más práctica y económica.

#### 4.5 ALMACENAMIENTO DE ASFALTO

Figura 13. Tanques de almacenamiento de Asfalto



Planta de mezclas asfálticas de TECNOPAVIMENTOS

#### 4.6 PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CON 1,5% DE CAL HIDRATADA

##### 4.6.1 Alimentación de Tolvas

Figura 14. Tolvas para alimentación de agregados



Planta de mezclas asfálticas de TECNOPAVIMENTOS

#### 4.6.2 Bandas de transporte de agregados

Figura 15. Bandas de transporte de los agregados



Planta de mezclas asfáltica de TECNOPAVIMENTOS

#### 4.6.3 Alimentación del Tanque de mezclado

Figura 16. Alimentación del Tanque de mezclado



Planta de mezclas asfáltica de TECNOPAVIMENTOS

#### 4.6.3.1 Agregados (1,5% de Cal hidratada incluido)

Figura 17. Mezcla uniforme de Agregados con 1,5% de Cal hidratada



#### 4.6.3.2 Asfalto (60-70)

La planta de producción cuenta con dos sistemas de tuberías de conducción, uno de calefacción que se activa, para llevar el asfalto a temperatura de fluidez y el segundo sistema para transportar y poder suministrar el asfalto al tanque de mezclado.

Figura 18. Sistema de calefacción y transporte del asfalto



Planta de mezclas asfáltica de TECNOPAVIMENTOS

#### 4.6.3.3 Temperatura.

La temperatura suministrada al tanque de mezclado por medio de un conducto interno al tanque de mezclado donde se inyecta la llama, propulsada por un ventilador, pero esta no entra en contacto directo con la mezcla asfáltica. La temperatura es regulada por el centro de monitoreo, el control a través de sensores térmicos y termómetros instalados a la salida de la mezcla asfáltica y en el centro de monitoreo.

#### 4.6.4 Mezcla Asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada.

Figura 19. Mezcla Asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada



#### 4.6.5 Transporte de Mezcla Asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada

La mezcla asfáltica es transportada a la tolva de almacenamiento por la banda de transporte No 6.

Figura 20. Transporte de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada



#### 4.6.6 Almacenamiento en tolva para la entrega

El almacenamiento en Tolva – 4, para la entrega final de la mezcla asfáltica, cuenta con sistema de control de temperatura a través de tuberías de calefacción, capacidad de 7 m³.

Figura 21. Tolva de almacenamiento de mezcla asfáltica



#### 4.6.7 Calidad de la mezcla y producto terminado

Basado en informes de laboratorio, de TECNOPAVIMENTOS, Anexo 9 y Anexo 10 para Tabla 63 y Tabla 64 respectivamente, la calidad de la mezcla de acuerdo al Artículo 450-02, numerales 450.5.2.4 y 450.5.2.5.

Tabla 4. Calidad y producto terminado MDC-2 sin Cal Hidratada

ESTABILIDADES Kg	$E_m \geq 0.9 E_t$	$1312,1 \geq 0.9 * 1443,6$	$1312,1 \geq 1299,28$	OK
	$E_1 \geq 0.8 E_m$	$1282,47 \geq 0.8 * 1312,1$	$1282,47 \geq 1049,7$	OK
	$E_2 \geq 0.8 E_m$	$1341,79 \geq 0.8 * 1312,2$	$1341,79 \geq 1049,7$	OK
FLUJO mm	$0.85 F_t \leq F_m$ $F_m \leq 1.15 F_t$	$0.85 * 2,921 \leq 3,05 \leq 1.15 * 2,921$	$2,48 \leq 3,05 \leq 3,36$	OK
DENSIDAD	$D_m \geq 0.98 D_e$	NO DETERMINADA $\geq 0.98 D_e$		
	$D_i \geq 0.97 D_m$	$D_i \geq 0.97 * \text{NO DETERMINADA}$		
VACIOS %	$4,0 \leq V_m \leq 6,0$	$4,0 \leq 4,6 \leq 6,0$		OK

**Tabla 5. Calidad y producto terminado MDC-2 con 1,5 % de Cal Hidratada**

ESTABILIDADES Kg	$Em \geq 0.9 Et$	$1492,8 \geq 0.9 * 1349$	$1492,8 \geq 1214,09$	OK
	$E1 \geq 0.8 Em$	$1563,06 \geq 0.8 * 1492,8$	$1563,06 \geq 1194,204$	OK
	$E2 \geq 0.8 Em$	$1422,45 \geq 0.8 * 1492,9$	$1422,45 \geq 1194,204$	OK
FLUJO mm	$0.85 Ft \leq Fm$ $Fm \leq 1.15 Ft$	$0.85 * 3,302 \leq 3,5 \leq 1.15 * 3,302$	$2,807 \leq 3,5 \leq 3,797$	OK
DENSIDAD	$Dm \geq 0.98 De$	NO DETERMINADA $\geq 0.98 De$		
	$Di \geq 0.97 Dm$	$Di \geq 0.97 * NO DETERMINADA$		
VACIOS %	$4,0 \leq Vm \leq 6,0$	$4,0 \leq 4,367 \leq 6,0$		OK

Las mezclas producidas pueden ser aplicadas ya que cumplen con la norma en cuanto a la Estabilidad, Fluido y Vacíos.

#### 4.7 APLICACIÓN DE MDC-2 CON 1,5% DE CAL HIDRATADA

##### 4.7.1 Cargue y transporte

Figura 22. Cargue y transporte de mezcla asfáltica



#### 4.7.2 Aplicación de liga asfáltica

La caja tiene un área aproximada de 83,3 m<sup>2</sup>, espesor promedio de 9cm.

Figura 23. Aplicación de liga



#### 4.7.3 Descarga de mezcla asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada

Figura 24. Descarga de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada



#### 4.7.4 Nivelación de mezcla asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada

Los 7m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica cubre un área aproximada de 64,8m<sup>2</sup>.

Figura 25. Nivelación de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada



#### 4.7.5 Nivelación de mezcla asfáltica sin Cal Hidratada

La caja fue completada con 2m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica con 0,0% de Cal Hidratada, para cubrir los 18,5m<sup>2</sup> del área restante de la caja, dando un total de 83,3 m<sup>2</sup> área total de carpeta asfáltica aplicada para el presente estudio.

Figura 26. Nivelación de mezcla asfáltica con 0,0% de Cal Hidratada



#### 4.7.6 Compactación

Se realiza la compactación simultánea con vibrocompactador de rodillo, a las mezclas con 0,0% y 1,5 % de Cal Hidratada.

Figura 27. Compactación de mezclas con 0,0% y 1,5% de Cal Hidratada



Al final de la compactación se verifica que el nivel de la caja pavimentada y el de la vía sean el mismo buscando comodidad y seguridad cuando ésta entre en servicio.

Figura 28. Tramo de prueba compactado



## RECOMENDACIONES

Llevar en registro permanente del comportamiento del tramo de prueba para corroborar los resultados de laboratorio, este proceso se puede llevar a cabo por estudiantes de pregrado de ingeniería civil, por estudio a través de estudiantes en proyectos de grado.

Se hace deseable la necesidad de desarrollar el diseño de mezcla asfáltica con 1,5% de Cal Hidratada, buscando la optimización del cemento asfáltico.

## CONCLUSIONES

En el estudio se observa el mejoramiento de la resistencia y disminución en las deformaciones, de la mezcla asfáltica MDC-2 tratada con Cal Hidratada.

La cantidad de Cal Hidratada aplicada a 1m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica es de 25,65 Kg, a un costo de cuatro mil pesos por 10 kilogramos (400,00 \$/Kg), precio comercial actual, incrementando en \$ 10.260,00 el costo de la fabricación de 1m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica en caliente.

La fabricación de la mezcla asfáltica con 1,5 % de Cal Hidratada, se desarrollo sin inconvenientes, debido a la confiable operación por parte del centro de control y operarios en general de la planta de producción, se modificó los porcentajes de 26% triturado y 74%gravilla, buscando la granulometría que se asimilara a la establecida en laboratorio.

Las mezclas asfálticas sin Cal y con 1,5 % de Cal Hidratada, aplicadas en el tramo de prueba cumplen con la norma en cuanto a la Estabilidad, Fluido y Vacios.

El aporte de este proyecto estimula la necesidad de seguir investigando sobre el comportamiento del concreto asfáltico tratado con Cal Hidratada, de modo que en el futuro se logre implementar mezclas asfálticas tratadas con Cal Hidratada en las vías de mayor vulnerabilidad por incidencia permanente de humedad y deformación permanente debido al gran volumen de tráfico pesado.

## BIBLIOGRAFIA

- Encarta 2007.
- Estudio del Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente de la Carretera Panamericana de San Ramón - Barranca en Costa Rica
- GOOGLE. Efectos de la cal hidratada con el medio ambiente, registrocdt - Bio Bio - INACESA - Cal.
- GOOGLE.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , hidróxido cálcico - wikipedia, la enciclopedia libre.
- Guía para la Definición y Clasificación de Residuos Peligrosos (internet).
- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION.
- MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos: fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogotá, tercera edición 2006.

ANEXOS A  
RECOPIACION BIBLIOGRAFICA

Tabla A.1. Tipo de cemento asfáltico por emplear en mezclas en caliente

TRANSITO DE DISEÑO (10 <sup>6</sup> EJES DE 80 kN)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA REGION		
	Más de 24°C	15-24°C	Menos de 15°C
Más de 5	60-70	60-70	80-100
0.5 a 5	60-70	60-70 u 80-100	80-100
Menos de 0.5	60-70	60-70 u 80-100	80-100

Tabla 400.2 del Artículo 400-02.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la norma, el material que se produce debe conservar la uniformidad y evitar cambios bruscos en la curva entre gradaciones adyacentes.

Tabla A.2. Gradación permisible para MDC-2

TAMIZ	TAMIZ	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
mm.	Pulg.	PASA	PASA
		%	%
24,5	1	100	100
19,05	3/4	100	100
12,7	1/2	80	100
9,51	3/8	70	88
4,76	4	49	65
2	10	29	45
0,42	40	14	25
0,177	80	8	17
0,075	200	4	8
	pasa 200	0	0

Aparte 450.2.1 del ARTÍCULO 450 – 02.

Tabla A.3. Criterios para Diseño de mezcla y obtención de fórmula de trabajo


CARACTERISTICAS		TRANSITO DE DISEÑO (N) Ejes equivalentes de 80 kN		
		>5 x 10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>5</sup> -5x10 <sup>6</sup>	<5 x 10 <sup>5</sup>
Compactación, golpes/cara		75	75	75
Estabilidad mínima	kg	900	750	600
Flujo	mm	2-3.5	2-4	2-4
Vacíos con aire:				
Capa de rodadura	%	4-6	3-5	3-5
Base asfáltica	%	4-8	4-8	4-8
Vacíos mínimos en agregados minerales:				
Gradación MDC-0	%	14	14	14
Gradación MDC-1	%	14	14	14
Gradación MDC-2	%	15	15	15
Gradación MDC-3	%	16	16	16
Vacíos llenos de asfalto	%	65-75	65-78	65-80

Aparte 450.4.2 del Artículo 450-02

Tabla A.4. Factor de Corrección para determinar Estabilidad Corregida

ESPESOR DE BRIQUETA	VOLUMEN DE BRIQUETA	FACTOR DE CORRECCION
cm	cm <sup>3</sup>	
5,4	408 - 450	1,32
5,56	451 - 463	1,25
5,72	464 - 475	1,19
5,87	476 - 488	1,14
6,03	489 - 501	1,09
6,19	502 - 514	1,04
6,35	515 - 527	1
6,51	528 - 540	0,96
6,67	541 - 551	0,93
6,8	552 - 566	0,89
6,99	567 - 580	0,86
7,14	581 - 593	0,83

**Figura A.1. Determinación del porcentaje de caras fracturadas, laboratorio de suelos y pavimentos TECNOPAVIMENTOS**

	LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS TECNOPAVIMENTOS S.A.	TECNO -FL-04	REVISIÓN : 1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS																																										
OBRALocalización : <u>Planta Tecnopavimentos/Km 4 Via Zapatocha</u> SONDEO N° : <u>MUESTRA N° : PRUFUNDIDAD :</u> PESO DE LA MUESTRA : <u>2265 gr.</u> TIPO DE MATERIAL: <u>Triturado pasa 3/4 de Pescadero</u>		Solicitó : <u>Control de Calidad</u> Elaboró : <u>Luis Fernando Gil S.</u> Revisó : <u>Ing. Silvia Johanna Camargo G.</u> Fecha del Ensayo : <u>Junio 4 de 2007</u>																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TAMAÑO DEL AGREGADO</th> <th>A (gramos)</th> <th>B (gramos)</th> <th>C (B/A)*100</th> <th>D (%)</th> <th>E (C*D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PASA REtenido EN TAMIZ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td style="text-align: center;">354,8</td> <td style="text-align: center;">324</td> <td style="text-align: center;">91,3</td> <td style="text-align: center;">38,4</td> <td style="text-align: center;">3506,7</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">38,4</td> <td style="text-align: center;">3506,7</td> </tr> </tbody> </table>				TAMAÑO DEL AGREGADO	A (gramos)	B (gramos)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)	PASA REtenido EN TAMIZ						1 1/2"	0					1"	0					3/4"						1/2"	354,8	324	91,3	38,4	3506,7	TOTAL				38,4	3506,7
TAMAÑO DEL AGREGADO	A (gramos)	B (gramos)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)																																								
PASA REtenido EN TAMIZ																																													
1 1/2"	0																																												
1"	0																																												
3/4"																																													
1/2"	354,8	324	91,3	38,4	3506,7																																								
TOTAL				38,4	3506,7																																								
A PESO MUESTRA, gramos B PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, gramos C PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS D PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL E PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS																																													
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS : $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$ 91,3%																																													

REQUISITOS INVIAS	
M. ASF	75% MIN
BASE G	50% MIN
SUBBASE	NO APLICA

S.A.

**Figura A.2. Índice de Aplanamiento y Alargamiento, laboratorio de suelos y pavimentos TECNOPAVIMENTOS S.A.**

TECNO PAVIMENTOS S.A.		LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS TECNOPAVIMENTOS S.A.		TECNO-FL-05						
		INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO		REVISIÓN : 1						
FUENTE/LOCALIZACION: Pescadero/Planta Tecnopavimentos		SOLICITÓ: Control de Calidad								
SONDEO N°: MUESTRA N°: 2265.0		ELABORÓ: Luis Fernando Gil S.								
PESO DE LA MUESTRA: 2265.0		REVISÓ: Ing. Silvia Johanna Camargo G.								
TIPO DE MUESTRA: Triturado Pasa 3/4		FECHA DEL ENSAYO: Junio 4 de 2007								
				REQUISITOS INVIAS						
				M. ASF 30% MAX						
				BASE GR 35% MAX						
				SUBBASE NO APLICA						
TAMAÑO DEL AGREGADO	INDICE DE APLANAMIENTO					INDICE DE ALARGAMIENTO				
PASA TAMIZ	A (grs)	B (grs)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)	A (grs)	B (grs)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)
2 1/2"										
2"										
1 1/2"										
1"										
3/4"										
1/2"										
3/8"	354,8	34,9	9,8	38,4	377,7	354,8	29,7	8,4	38,4	321,4
3/8"	185,8	23,2	12,5	56,5	705,5	185,8	70	37,7	56,5	2128,6
# 4				94,9	1083,2				94,9	2450,1
TOTAL										
A PESO MUESTRA										
B PESO DE LAS PARTICULAS QUE PASAN POR LA RANURA										
C INDICE DE APLANAMIENTO/ ALARGAMIENTO										
D PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL										
E PROMEDIO DE INDICE DE APLANAMIENTO / ALARGAMIENTO										
INDICE DE APLANAMIENTO										
TOTAL E / TOTAL D = 11,4										
INDICE DE ALARGAMIENTO										
TOTAL E / TOTAL D = 25,8										

**Figura A.3. Equivalente de Arena, laboratorio de suelos y pavimentos TECNOPAVIMENTOS S.A.**





	LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS TECNOPAVIMENTOS S.A.  EQUIVALENTE DE ARENA	TECNO-FL-06  REVISIÓN: 1	 										
FUENTE / LOCALIZACION : Planta de Tecnopavimentos S.A. SONDEO N° : MUESTRA N° : PROFUNDIDAD : PESO DE LA MUESTRA : DESCRIPCION : Gravilla de pescadero triturada en planta		SOLICITÓ : Control de Calidad ELABORÓ : Luis Fernando Gil S. REVISÓ : Ing. Silvia Johanna Camargo G. FECHA DEL ENSAYO : Mayo 31 de 2007											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">EQUIVALENTE DE ARENA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">PRUEBA No</td> <td style="width: 70%;">1                      2</td> </tr> <tr> <td>LECTURA DE ARCILLA</td> <td>120                      117</td> </tr> <tr> <td>LECTURA DE ARENA</td> <td>81                      78</td> </tr> <tr> <td>EQUIVALENTE DE ARENA</td> <td>67,5                      66,7</td> </tr> </tbody> </table>				EQUIVALENTE DE ARENA		PRUEBA No	1                      2	LECTURA DE ARCILLA	120                      117	LECTURA DE ARENA	81                      78	EQUIVALENTE DE ARENA	67,5                      66,7
EQUIVALENTE DE ARENA													
PRUEBA No	1                      2												
LECTURA DE ARCILLA	120                      117												
LECTURA DE ARENA	81                      78												
EQUIVALENTE DE ARENA	67,5                      66,7												
<b>RESULTADOS TOTALES</b> EQUIVALENTE DE ARENA    67,1		<b>REQUISITOS INVIAS</b> MEZCLAS ASFÁLTICAS: 50 % MIN SUBBASE GRANULAR: 25% MIN BASE GRANULAR: 30% MIN.											
OBSERVACIONES :													



Figura A.5. Informe de ensayo, resistencias de mezclas asfálticas, método Marshall, laboratorio de ingeniería civil, CONCRESERVICIOS (resultados de ensayos)

CONCRESERVICIOS Laboratorio de Ingeniería Civil																
INFORME DE ENSAYO																
RESISTENCIAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS																
MÉTODO MARSHALL																
LOCALIZACIÓN: BUCARAMANGA																
PLANTA: TECNOPAVIMENTOS																
DESCRIPCIÓN: MEZCLA DE AGREGADOS PARA DISEÑO MDC-2 CON ASFALTO 60-70																
MÉTODO DE ENSAYO DE REFERENCIA INVE 748																
Peso específico de agregados para diseño: 2.631 g/cm <sup>3</sup> Peso específico del asfalto: 1.000 g/cm <sup>3</sup>																
Briqueta No.	% de Asfalto	Espesor Briqueta cm	Peso Briqueta con aire parafina (g)	Peso Briqueta En agua (g)	Bulk Máximo Teórico	Máximo Medido	Asfalto Absorbido %	Volumen - % Total Agregados con aire	Vacios en Asfalto efectivo	% Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	% Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad Medida kg	Correg. mm	Flujo 0.01 pulg.	
1	3.5	7.00	1239.0	1259.0	693.0	2.276							1138	1058	2.4	9.4
2	3.5	6.70	1237.0	1256.0	691.0	2.272							1108	1031	2.4	9.4
3	3.5	7.00	1254.0	1276.0	700.0	2.271							1270	1130	2.5	9.8
PROM.						2.273	0.13	83.4	8.9	7.7	16.6	3.4	46.2	1073		9.6
4	4.0	7.20	1297.0	1317.0	721.0	2.259							1275	1071	2.6	10.2
5	4.0	7.20	1282.0	1304.0	726.0	2.310							1343	1195	2.6	10.2
6	4.0	7.00	1272.0	1290.0	720.0	2.311							1232	1098	2.6	10.2
PROM.						2.293	0.22	83.7	7.7	8.6	16.3	3.8	52.8	1121		10.2
7	4.5	7.10	1261.0	1282.0	718.0	2.330							1310	1219	2.8	11.0
8	4.5	6.90	1262.0	1282.0	718.0	2.327							1342	1248	2.8	11.0
9	4.5	7.20	1294.0	1315.0	732.0	2.310							1282	1086	2.8	11.0
PROM.						2.322	0.25	84.3	5.8	9.9	15.7	4.3	63.0	1184		11.0
10	5.0	6.90	1263.0	1279.0	720.0	2.332							1386	1288	3.2	12.6
11	5.0	6.70	1268.0	1285.0	724.0	2.334							1323	1230	3.2	12.6
12	5.0	7.00	1285.0	1299.0	733.0	2.333							1239	1103	3.0	11.8
PROM.						2.333	0.13	84.2	4.4	11.4	15.8	4.9	72.2	1207		12.3
13	5.5	6.70	1243.0	1256.0	711.0	2.341							1216	1167	3.4	13.4
14	5.5	6.50	1198.0	1213.0	680.0	2.316							1144	1144	3.4	13.4
15	5.5	6.60	1233.0	1244.0	702.0	2.326							1156	1110	3.5	13.8
PROM.						2.328	0.18	83.6	4.0	12.4	16.4	5.3	75.8	1140		13.5


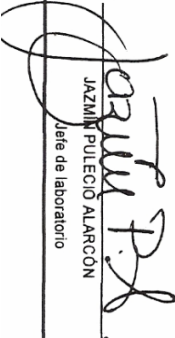
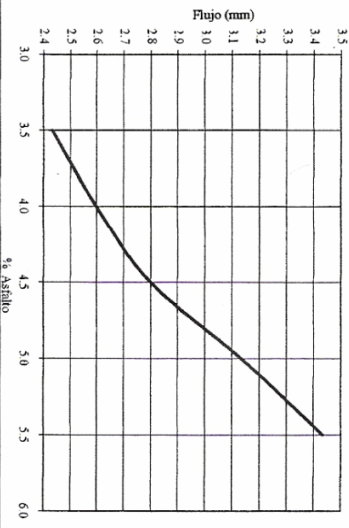
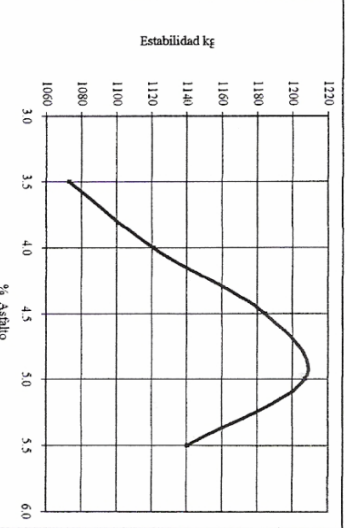
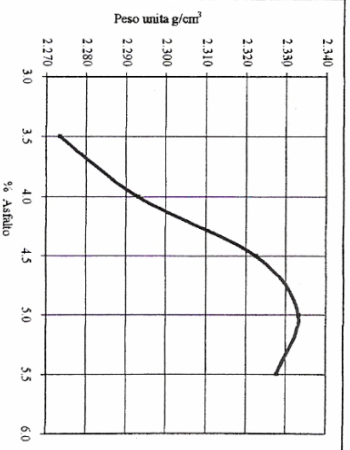
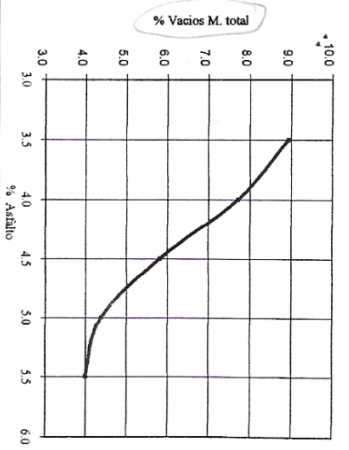
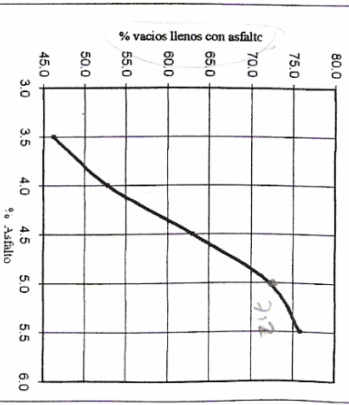
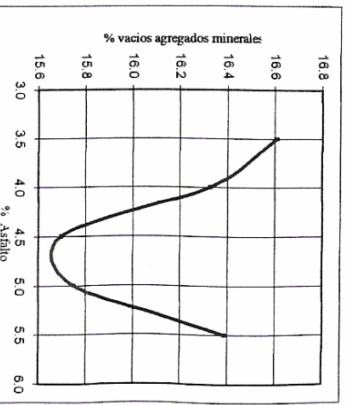
OBSERVACIONES:

REVISÓ:  JAZMIN PULLEJO ALARCON Jefe de Laboratorio

RECIBIO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE FORMARIO SIN LA PREVIA AUTORIZACION DEL DIRECTOR DE CALIDAD

Figura A.6. Informe de ensayo, resistencias de mezclas asfálticas, método Marshall, laboratorio de ingeniería civil, CONCRESERVICIOS (análisis de resultados)

	<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>RESISTENCIA MEZCLAS ASFALTICAS</b> <b>METODO MARSHALL</b>	Cód: F8030/00 INF N°: 047/2007 FECHA: 04/11/2006
LOCALIZACIÓN: BUCARAMANGA PLANTA: TECNOPAVIMENTOS DESCRIPCIÓN: MEZCLA DE AGREGADOS PARA DISEÑO MDC-2 CON ASFALTO 60-70		N° MUESTRA: 1028-2 FECHA DE ENSAYO: 22/02/2007
CR: 1028-2		
ESTABILIDAD: <u>1207</u> kg PESO UNITARIO: <u>2.333</u> g/cm <sup>3</sup> FLUJO: <u>3.1</u> (mm) VACIOS CON AIRE: <u>4.4</u> %	VACIOS AGREG. MIN % <u>15.7</u> VACIOS LLENOS ASFALTO % <u>72.00</u> CONTENIDO OPTIMO ASFALTO % <u>5.0</u>	REVISÓ:  JAZMIN PULECIO ALARCÓN Jefe de laboratorio
		
		

## Figura A.7. Certificado de Análisis Bitumen 60-70 SPOT



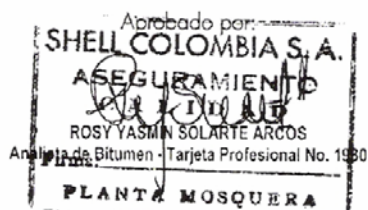
### Certificado de Análisis

#### BITUMEN 60-70 SPOT

**CLIENTE:** TECNOPAVIMENTOS S.A.  
**DOCUMENTO:** Pedido No. SM 7000459      **LOTE:** 23255  
**PLACAS:** XVH 609      **FECHA:** Febrero 13 de 2007

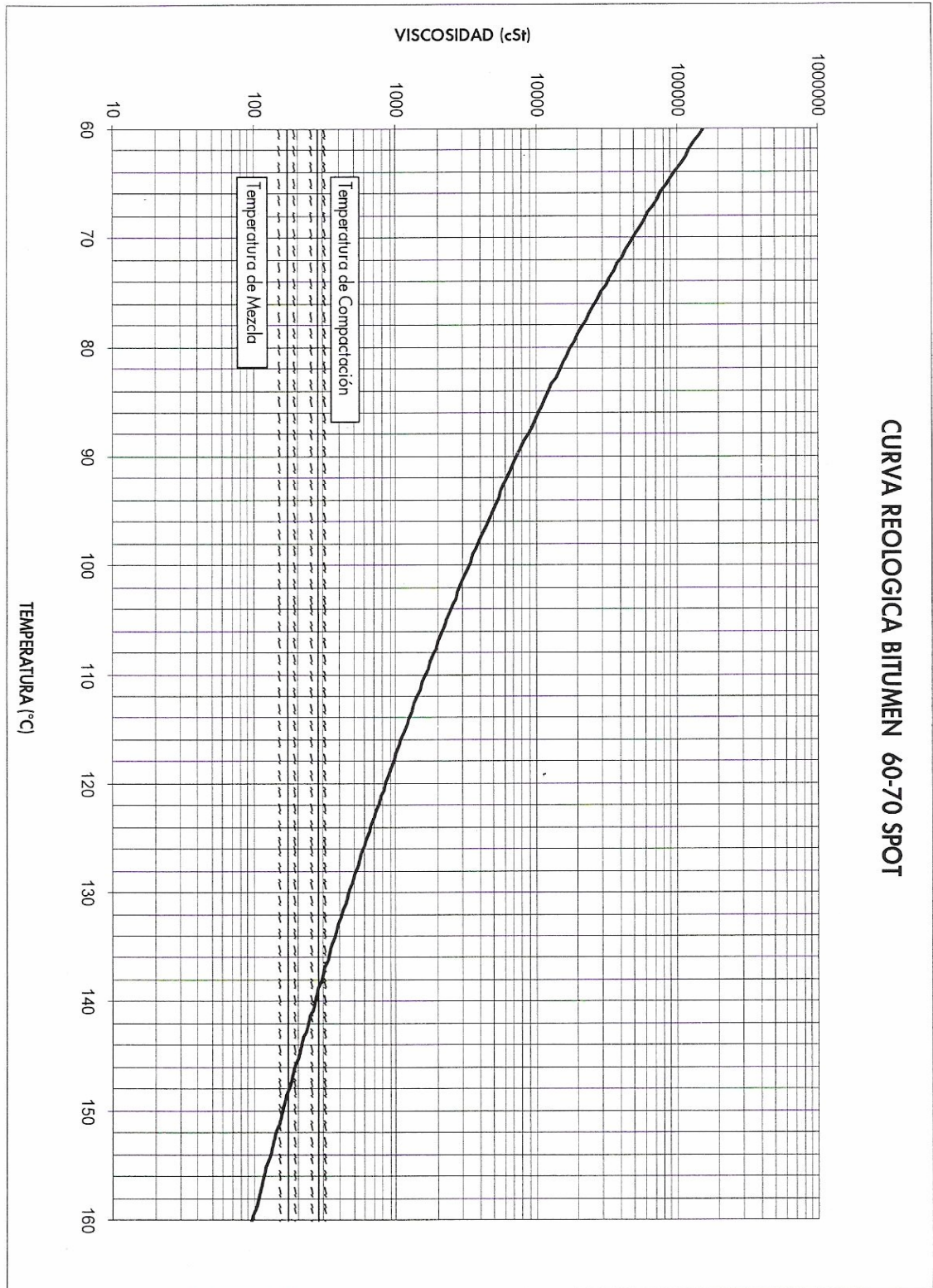
ENSAYO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO
		Min.	Máx.	
Penetración, 25°C, 5s, 100g (mm/10)	ASTM D-5	60	70	61
Punto de Ablandamiento (°C)	ASTM D-36	Reportar		49.7
Índice de Penetración	NLT-181	-1	+1	-0.8
Viscosidad Dinámica a 60°C (P)	ASTM D-4402	1500		1630
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min (cm)	ASTM D-1113	100		>105
Punto de Chispa (°)	ASTM D-92	230		261
Peso específico a 25°C	ASTM D-71	Reportar		1.023
Contenido de Agua (%)	ASTM D-95		0.2	<0.1
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	ASTM D-2042	99		99.7
Temperatura de Mezcla *(°C)	ASTM D-1559	Reportar		145 - 151
Temperatura de Compactación* (°C)	ASTM D-1559	Reportar		137 - 142
ENSAYO EN HORNO DE PELÍCULA FINA EN MOVIMIENTO, RTFOT, 85 min, 163°C ASTM D-2872				
Pérdida de Masa (%)	ASTM D-2872		1.0	0.2087
Penetración Retenida (%)	ASTM D-5	52		65

- \* Temperatura de Mezcla y Compactación recomendada para el diseño Marshall.
- Temperatura de cargue: 130°C





Shell Colombia S.A.  
 Km. 18.5 Vía Facatativá  
 Mosquera - Colombia  
 Tel (573) 1-640 4000 Ext: 3401  
 Fax (573) 1-8292966

Figura A.8. Curva reológica Bitumen 60-70 SPOT



**Figura A.9. Control de diario de calidad de mezcla tradicional MDC-2**

	PROCEDIMIENTO PRODUCCION TECNO PAVIMENTOS S.A.	TECNO-F-16	
	CONTROL DIARIO DE CALIDAD	REVISIÓN : 1	

DÍA DE ENSAYO: 9	MES: Junio	AÑO: 2007
------------------	------------	-----------

TIPO DE MEZCLA	MDC-2
% DE AGREGADOS UTILIZADOS	26 % Triturado - 74 % Gravilla
FUENTE DE LOS AGREGADOS	Pescadero

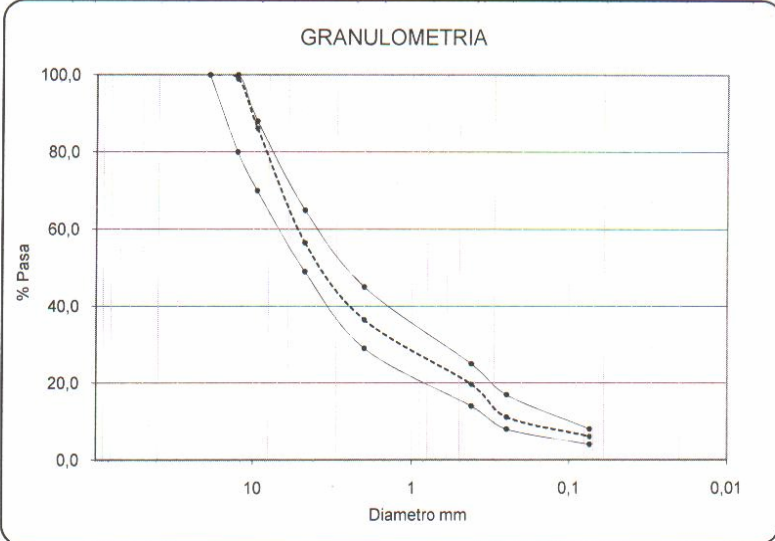
  

GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL:		3308,0 gr			
TAMIZ	Diametro mm	PESO RET.	% RET.	% PASA	NORMA MDC-2
1"	25,4		0,0	100	
3/4"	19,2		0,0	100,0	100
1/2"	12,7	33,7	1,0	99,0	80-100
3/8"	9,52	426,1	12,9	86,1	70-88
Nº 4	4,75	978,2	29,6	56,5	49-65
Nº 10	2	664,5	20,1	36,4	29-45
Nº 40	0,42	554,4	16,8	19,7	14-25
Nº 80	0,25	282,1	8,5	11,2	8-17
Nº 200	0,074	169,5	5,1	6,0	4-8
PASA 200		199,5	6,0	0,0	

ESTABILIDAD MARSHALL		
MUESTRA	1	2
ESPESOR	6,8	6,1
PESO EN EL AIRE (gr.)	1291,4	1163,0
PESO EN EL AGUA (gr.)	742,0	668,3
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	549,4	494,7
DENSIDAD (gr./cm <sup>3</sup> )	2,4	2,4
LECTURA DIAL DE CARGA	370,0	330,0
ESTABILIDAD LEÍDA (Kg.)	1379,0	1231,0
FACTOR DE CORRECCIÓN	0,9	1,1
ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg.)	1282,5	1341,8
FLUJO (mm)	3,2	2,9
% DE VACÍOS	4,6	4,6



EXTRACCIÓN DE ASFALTO	
PESO INICIAL DE LA MEZCLA	1211,4
PESO FINAL LAVADO SECO	1151,7
PESO DEL ASFALTO	59,7
PORCENTAJE DE ASFALTO	4,9

TEMPERATURA DE LA MEZCLA EN LA DESCARGA A LA VOLQUETA  

150 °C

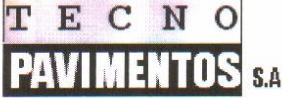

TEMPERATURA MÍNIMA RECOMENDADA AL INICIO DE LA COMPACTACIÓN  

110 °C

ELABORÓ : Luis Fernando Gil S.	REVISÓ : Ing. Silvia Camargo G.
OBSERVACIONES :	

**Figura A.10. Control de diario de calidad de MDC-2 con 1,5% de Cal Hidratada**

	PROCEDIMIENTO PRODUCCION TECNO PAVIMENTOS S.A.	TECNO-F-16	
	CONTROL DIARIO DE CALIDAD	REVISIÓN : 1	

DÍA DE ENSAYO: 9	MES: Junio	AÑO: 2007
------------------	------------	-----------

TIPO DE MEZCLA	MDC-2 con 1,5 % de Cal Hidratada
% DE AGREGADOS UTILIZADOS	26 % Triturado - 74 % Gravilla
FUENTE DE LOS AGREGADOS	Pescadero

GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL:		2596,0 gr			
TAMIZ	Diametro mm	PESO RET.	% RET.	% PASA	NORMA MDC-2
1"	25,4		0,0	100	
3/4"	19,2		0,0	100,0	100
1/2"	12,7	17,6	0,7	99,3	80-100
3/8"	9,52	374,8	14,4	84,9	70-88
Nº 4	4,75	741,2	28,6	56,3	49-65
Nº 10	2	488,5	18,8	37,5	29-45
Nº 40	0,42	460,0	17,7	19,8	14-25
Nº 80	0,25	196,2	7,6	12,2	8-17
Nº 200	0,074	152,1	5,9	6,4	4-8
PASA 200		165,6	6,4	0,0	

ESTABILIDAD MARSHALL		
MUESTRA	CAL 1	CAL 2
ESPESOR	6,2	6,1
PESO EN EL AIRE (gr.)	1200,1	1174,6
PESO EN EL AGUA (gr.)	689,4	674,1
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	510,7	500,5
DENSIDAD (gr./cm <sup>3</sup> )	2,3	2,3
LECTURA DIAL DE CARGA	385,0	350,0
ESTABILIDAD LEÍDA (Kg.)	1434,0	1305,0
FACTOR DE CORRECCIÓN	1,1	1,1
ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg.)	1563,1	1422,5
FLUJO (mm)	3,4	3,6
% DE VACÍOS	4,3	4,4

GRANULOMETRIA	
100,0	10
80,0	1
60,0	0,1
40,0	0,01
20,0	
0,0	

Diametro mm

EXTRACCIÓN DE ASFALTO	
PESO INICIAL DE LA MEZCLA	1204,3
PESO FINAL LAVADO SECO	1143,8
PESO DEL ASFALTO	60,5
PORCENTAJE DE ASFALTO	5,0

TEMPERATURA DE LA MEZCLA EN LA DESCARGA A LA VOLQUETA

150 °C

TEMPERATURA MÍNIMA RECOMENDADA AL INICIO DE LA COMPACTACIÓN

110 °C

ELABORÓ : Luis Fernando Gil S.	REVISÓ : Ing. Silvia Camargo G.
OBSERVACIONES :	

ANEXO B  
FORMULACION

Tabla B.1. Muestras de agregados pétreos tradicionales

Agregado seco	gr:
Peso de muestra del agregado grueso (grava).	1000
Peso de muestra agregado grueso (grava) luego de lavado en tamiz 200.	999,5
Peso de pasa 200	0,5
Peso de muestra agregado fino (gravilla).	1000
Peso de muestra agregado fino (gravilla) luego de lavado en tamiz 200.	929,8
Peso de pasa 200	70,2

El análisis granulométrico se efectúa con materiales pétreos secos. Tomando las cantidades de agregados registrados en el la Tabla B.1,

Tabla B.2. Granulometría de las muestras secas sin Cal Hidratada

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO FINO		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%
1	0	0,00	100,00	0	0,00	100,0
3/4	0	0,00	100,00	0	0,00	100,0
1/2	<b>181,8</b>	18,18	81,82	0	0,00	100,0
3/8	<b>530,4</b>	53,04	28,78	<b>4,3</b>	0,43	99,6
4	<b>287,3</b>	28,73	0,05	<b>252,3</b>	25,23	74,3
10	0	0,00	0,05	<b>256,5</b>	25,65	48,7
40	0	0,00	0,05	<b>256,5</b>	25,65	23,0
80	0	0,00	0,05	<b>89,7</b>	8,97	14,1
200	0	0,00	0,05	<b>70,5</b>	7,05	7,0
pasa 200	<b>0,5</b>	0,05		<b>70,2</b>	7,02	
	<b>1000</b>	<b>100,00</b>		<b>1000</b>	<b>100,0</b>	
	1000	100		1000	100	

Tabla B.3. Preparación de probeta tradicional

Peso de la probeta	<b>1200</b>	gr.
% Agregados totales en la mezcla	95	%
%Agregados sin Cal en la mezcla	95,00	%
%Cal hidratada respecto al peso del agregado	<b>0</b>	%
%Asfalto en la mezcla	<b>5</b>	%
Agregados sin Cal para la mezcla	<b>1140,00</b>	gr.
Agregado: Cal Hidratada	0,00	gr.
Agregados totales en la mezcla	1140,00	gr.
Asfalto para la mezcla	60	gr.
Comprobación del peso de la probeta seca	1200	gr.

Tabla B.4. Propiedad granulométrica de agregados tradicionales totales

TAMIZ	PROPIEDAD DEL AGREGADO GRUESO			PROPIEDAD DEL AGREGADO FINO			PROPIEDAD DE AGREGADOS TRACIONALES TOTALES		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%	gr	%	%
1	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
3/4	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
1/2	45,60	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	45,60	4,00	96,0
3/8	133,02	53,04	28,78	3,82	0,43	99,57	136,85	12,00	84,0
4	72,05	28,73	0,05	224,35	25,23	74,34	296,40	26,00	58,0
10	0,00	0,00	0,05	228,08	25,65	48,69	228,08	20,01	38,0
40	0,00	0,00	0,05	228,08	25,65	23,04	228,08	20,01	18,0
80	0,00	0,00	0,05	79,76	8,97	14,07	79,76	7,00	11,0
200	0,00	0,00	0,05	62,69	7,05	7,02	62,69	5,50	5,5
pasa 200	0,13	0,05		62,42	7,02		62,55	5,49	0,0
	250,80	100,00		889,20	100,00		1140,0	100,00	
	250,8	100,00		889,2	100,00				
		<b>22%</b>			<b>78%</b>				

Tabla B.5. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada

TAMIZ	COMBINACIÓN DE MUESTRAS A PARTIR DE GRANULOMETRÍA DETALLADA		
1	0,00	gr.	1140,00 gr.
3/4	0,00	gr.	
1/2	45,60	gr.	
3/8	136,85	gr.	
4	296,40	gr.	
10	228,08	gr.	
40	228,08	gr.	
80	79,76	gr.	
200	62,69	gr.	
pasa 200	62,55	gr.	
Cal Hidratada	0,00	gr.	
Asfalto	60,00	gr.	
<b>Peso total de la probeta</b>	<b>1200,00</b>	<b>gr.</b>	

Tabla B.6. Fabricación de probeta a partir de muestras: (grava y gravilla)

Agregado grueso	250,8 gr.	20,9 %
Agregado fino	889,2 gr.	74,1 %
Cal Hidratada	0,0 gr.	0,0 %
Asfalto	60,0 gr.	5,0 %
<b>Peso total de la probeta</b>	<b>1200,0 gr.</b>	<b>100,0 %</b>

Tabla B.7. Densidad **Bulk**

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA		
	1	2	3
1. Peso probeta al aire, gr.	1181,8	1185,3	1187,6
2. Peso probeta en agua, gr.	681,5	684,4	684
3. Peso probeta al aire luego de 5 min. en agua, gr.	1182,9	1186,4	1188,4
4. Diferencia (paso 3 - paso 1 )	1,1	1,1	0,8
5. Densidad , gr/cm <sup>3</sup>	2,357	2,361	2,354
6. Densidad promedio, g/cm <sup>3</sup>	2,358		

Tabla B.8. Estabilidad y Flujo

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA			
	1	2	3	PROMEDIO
1. Estabilidad libras= kg-f / 0,430	3258,14	2913,95	3402,33	3191,5
2. Peso probeta al aire, gr.	1181,8	1185,3	1187,6	
3. Peso probeta en agua, gr.	681,5	684,4	684	
4. Volumen de la probeta (cm³)=2-3	500,3	500,9	503,6	
5. Factor de corrección por volumen	1,04	1,09	1,04	
6. Estabilidad corregida libras	3388,47	3176,21	3538,42	3367,7
7. Estabilidad corregida kg.= lbs. * 0,430	1457,04	1365,77	1521,52	1443,6
8. Flujo pulg./100	12,00	11,50	11,00	11,50

Tabla B.9. Gmm

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA		
	1	2	3
1. Muestra, gr.	1000	1000	1000
2. Peso de matraz, gr:	913,9	913,9	913,9
3. Peso de matraz + agua, gr.	2023,2	2023,2	2023,2
4. Tiempo de vacio, min.	5	5	5
5. Peso de matraz + muestra + agua, gr.	2617,5	2616,8	2617,5
6. Gmm,	2,465	2,461	2,465
7. Gmm promedio	2,46		

Tabla B.10. Vacíos en la mezcla

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA		
	1	2	3
1. Densidad, gr/cm³	2,3570	2,3612	2,3545
2. Gmm	2,46	2,46	2,46
3. Vacíos con aire en la mezcla %	4,38	4,04	4,48
4. Vacíos, promedio %	4,30		

Tabla B.11. Mezcla con 1.0 % Cal Hidratada

Peso de la probeta	1200	gr.
% Agregados totales en la mezcla	95	%
%Agregados sin Cal en la mezcla	94,05	%
%Cal hidratada respecto al peso del agregado	1	%
%Asfalto en la mezcla	5	%
Agregados sin cal para la mezcla	1128,60	gr.
Agregado: Cal Hidratada	11,40	gr.
Agregados totales en la mezcla	1140,00	gr.
Asfalto para la mezcla	60	gr.

Comprobación del peso de la probeta seca	1200	gr.
--	------	-----

Tabla B.12. Propiedad granulométrica de los agregados totales con 1,0% Cal Hidratada

TAMIZ	PROPIEDAD DEL AGREGADO GRUESO			PROPIEDAD DEL AGREGADO FINO			PROPIEDAD DE AGREGADOS TOTALES (INCLUIDO LA CAL HIDRATADA)		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%	gr.	%	%
1	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2	45,14	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	45,14	3,96	96,04
3/8	131,69	53,04	28,78	3,79	0,43	99,57	135,48	11,88	84,16
4	71,33	28,73	0,05	222,10	25,23	74,34	293,44	25,74	58,42
10	0,00	0,00	0,05	225,80	25,65	48,69	225,80	19,81	38,61
40	0,00	0,00	0,05	225,80	25,65	23,04	225,80	19,81	18,80
80	0,00	0,00	0,05	78,96	8,97	14,07	78,96	6,93	11,88
200	0,00	0,00	0,05	62,06	7,05	7,02	62,06	5,44	6,43
pasa 200	0,12	0,05		61,80	7,02		73,32	6,43	0,00
	248,29	100,00		880,31	100,00		1140,0	100,00	
	248,29	100,00		880,31	100,00				
		22 %			78 %				

Tabla B.13. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada

TAMIZ	COMBINACIÓN DE MUESTRAS A PARTIR DE GRANULOMETRÍA DETALLADA		
1	0,0	gr.	1128,6 gr.
3/4	0,0	gr.	
1/2	45,1	gr.	
3/8	135,5	gr.	
4	293,4	gr.	
10	225,8	gr.	
40	225,8	gr.	
80	79,0	gr.	
200	62,1	gr.	
pasa 200	61,9	gr.	
Cal Hidratada	11,4	gr.	
Asfalto	60,0	gr.	

Peso total de la probeta	1200,00	gr.
--------------------------	---------	-----

Tabla B.14. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava -gravilla-Cal Hidratada)

Agregado grueso(grava)	248,3 gr.	20,69 %
agregado fino (gravilla)	880,3 gr.	73,36 %
Cal Hidratada	11,4 gr.	0,95 %
Asfalto	60,0 gr.	5,00 %
Peso total de la probeta	1200,0 gr.	100,00 %

Tabla B.15. Densidad **Bulk**

	PROBETA 1% CAL HIDRATADA				
	1	2	3	4	5
1. Peso probeta al aire, gr.	1180,5	1173,1	1177,9	1180,1	1184,6
2. Peso probeta en agua, gr.	680,5	675,8	681,3	682,7	680,2
3. Peso probeta al aire luego de 5 min. en agua, gr.	1183,0	1176,3	1181	1180,6	1186
4. Diferencia (paso 3 - paso 1 )	2,5	3,2	3,1	0,5	1,4
5. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,349	2,343	2,357	2,3702	2,342
6. Densidad promedio, gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,35</b>				

Tabla B.16. Estabilidad y Flujo

	PROBETA 1.0% CAL HIDRATADA			
	1	2	3	PROMEDIO
1. Estabilidad libras= kg-f / 0,430	2425,11	2711,45	2753,30	<b>2630,0</b>
2. Peso probeta al aire, gr.	1173,1	1177,9	1184,6	
3. Peso probeta en agua, gr.	675,8	681,3	680,2	
4. Volumen de la probeta (cm <sup>3</sup> )=2-3	497,3	496,6	504,4	
5. Factor de corrección por volumen	1,09	1,09	1,04	
6. Estabilidad corregida libras	2643,37	2955,48	2863,44	<b>2820,8</b>
7. Estabilidad corregida kg.= lb * 0,430	1136,65	1270,86	1231,28	<b>1251,1</b>
8. Flujo pulg./100	17,40	18,50	17,50	<b>17,80</b>

### 3.2.2.3 Peso específico máximo teórico (Gmm)

El objeto de este método se refiere a la determinación del peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar, con 1,0% de Cal Hidratada.

Tabla B.17. Gmm.

	PROBETA 1% CAL HIDRATADA				
	1	2	3	4	5
1. Muestra, gr.	1000	1000	1000	1000	1000
2. Peso de matraz, gr:	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9
3. Peso de matraz + agua, gr.	2023,7	2023,7	2023,7	2023,7	2023,7
4. Tiempo de vacio, min.	5	5	5	5	5
5. Peso de matraz + muestra + agua, gr	2619,3	2618,5	2618,4	2619,5	2616,6
6. Gmm	2,47	2,47	2,47	2,47	2,46
7. Gmm, promedio	2,47				

Tabla B.18. Vacios en la mezcla

	PROBETA 1.0% CAL HIDRATADA				
	1	2	3	4	5
1. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,3493	2,3439	2,3572	2,3702	2,3420
2. Gmm	2,47	2,47	2,47	2,47	2,46
3. Vacios con aire en la mezcla %	4,996	5,027	4,462	4,198	4,656
4. Vacios, promedio, %	4,668				

Tabla B.19. Mezcla con 1.5 % Cal Hidratada

Peso de la probeta	<b>1200</b>	gr.
% Agregados totales en la mezcla	95	%
%Agregados sin Cal en la mezcla	93,58	%
%Cal Hidratada respecto al peso del agregado	<b>1,5</b>	%
%Asfalto en la mezcla	<b>5</b>	%
Agregados sin Cal para la mezcla	1122,90	gr.
Agregado: Cal Hidratada	17,10	gr.
Agregados totales en la mezcla	1140,00	gr.
Asfalto para la mezcla	60	gr.
Comprobación del peso de la probeta seca	1200	gr.

Tabla B.20. Propiedad granulométrica de agregados totales con Cal Hidratada

TAMIZ	PROPIEDAD DEL AGREGADO GRUESO			PROPIEDAD DEL AGREGADO FINO			PROPIEDAD DE AGREGADOS TOTALES (INCLUIDO LA CAL HIDRATADA)		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%	gr.	%	%
1	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2	44,91	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	44,91	3,94	96,06
3/8	131,03	53,04	28,78	3,77	0,43	99,57	134,80	11,82	84,24
4	70,97	28,73	0,05	220,98	25,23	74,34	291,95	25,61	58,63
10	0,00	0,00	0,05	224,66	25,65	48,69	224,66	19,71	38,92
40	0,00	0,00	0,05	224,66	25,65	23,04	224,66	19,71	19,21
80	0,00	0,00	0,05	78,56	8,97	14,07	78,56	6,89	12,32
200	0,00	0,00	0,05	61,75	7,05	7,02	61,75	5,42	6,90
pasa 200	0,12	0,05		61,49	7,02		78,71	6,90	0,00
	247,04	100,00		875,86	100,00		1140,0	100,00	
	247,04	100,00		875,86	100,00				
		22			78				

Tabla B.21. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada

TAMIZ	COMBINACIÓN DE MUESTRAS A PARTIR DE GRANULOMETRÍA DETALLADA		
1	0,00	gr.	1122,90 gr.
3/4	0,00	gr.	
1/2	44,91	gr.	
3/8	134,80	gr.	
4	291,95	gr.	
10	224,66	gr.	
40	224,66	gr.	
80	78,56	gr.	
200	61,75	gr.	
pasa 200	61,61	gr.	
Cal Hidratada	17,10	gr.	
Asfalto	60,00	gr.	

Peso total de la probeta	1200,00	gr.
--------------------------	---------	-----

Tabla B.22. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava -gravilla-Cal Hidratada)

Agregado grueso(grava)	247,0 gr.	20,59 %
agregado fino (gravilla)	875,9 gr.	72,99 %
Cal Hidratada	17,1 gr.	1,43 %
Asfalto	60,0 gr.	5,00 %
Peso total de la probeta	1200,0 gr.	100,00 %

Tabla B.23. Densidad **Bulk**

	PROBETA 1.5% CAL HIDRATADA		
	4	5	6
1. Peso probeta al aire, gr.	1186,9	1188,8	1186,1
2. Peso probeta en agua, gr.	684,7	682,9	682,1
3. Peso probeta al aire luego de 5 min. en agua, gr.	1187,6	1190	1186,9
4. Diferencia (paso 3 - paso 1 )	0,7	1,2	0,8
5. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,360	2,344	2,350
6. Densidad promedio, gr/cm <sup>3</sup>	2,351		

Tabla B.24. Estabilidad y Flujo

	PROBETA 1.5% CAL HIDRATADA			
	2	5	6	PROMEDIO
1. Estabilidad libras= kg-f / 0,430	2964,76	2988,99	3044,05	2999,3
2. Peso probeta al aire, gr.	1186,9	1188,8	1186,1	
3. Peso probeta en agua, gr.	686,7	682,9	682,1	
4. Volumen de la probeta (cm <sup>3</sup> )=2-3	500,2	505,9	504,0	
5. Factor de corrección por volumen	1,09	1,04	1,04	
6. Estabilidad corregida libras	3231,59	3108,55	3165,81	3168,6
7. Estabilidad corregida kg.= lbs. * 0,430	1389,58	1336,67	1361,30	1349,0
8. Flujo pulg./100	14,00	12,00	13,00	13,00

### 3.3.2.3 Peso específico máximo teórico (GMM)

Tabla B.25. Gmm.

	PROBETA 1.5% CAL HIDRATADA				
			3	4	5
1. Muestra, gr.			1000	1000	1000
2. Peso de matraz, gr:			913,9	913,9	913,9
3. Peso de matraz + agua, gr.			2023,7	2023,7	2023,7
4. Tiempo de vacio, min.			5	5	5
5. Peso de matraz + muestra + agua, gr.			2617,6	2615,4	2616,4

6. Gmm			2,462	2,449	2,455
7. Gmm, promedio				2,456	

Tabla B.26. Vacios en la mezcla

	PROBETA 1,5% CAL HIDRATADA		
	4	5	6
1. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,3601	2,3443	2,3496
2. Gmm	2,46	2,45	2,46
3. Vacios con aire en la mezcla %	4,156	4,28	4,30
4. Vacios, promedio, %	4,25		

Tabla B.27. Mezcla con 2.0 % Cal Hidratada

Peso de la probeta	1200	gr.
Agregados totales en la mezcla	95	%
Agregados sin Cal en la mezcla	93,10	%
Cal Hidratada respecto al peso del agregado	2	%
Asfalto en la mezcla	5	%
Agregados sin Cal para la mezcla	1117,20	gr.
Agregado: Cal Hidratada	22,80	gr.
Agregados totales en la mezcla	1140,00	gr.
Asfalto para la mezcla	60	gr.
Comprobación del peso de la probeta seca	1200	gr.

Tabla B.28. Propiedad granulométrica de agregados totales con Cal Hidratada

TAMI Z	PROPIEDAD DEL AGREGADO GRUESO			PROPIEDAD DEL AGREGADO FINO			PROPIEDAD DE AGREGADOS TOTALES (INCLUIDO LA CAL HIDRATADA)		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%	gr.	%	%
1	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
3/4	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
1/2	44,68	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	44,68	3,92	96,08
3/8	130,36	53,04	28,78	3,75	0,43	99,57	134,11	11,76	84,32
4	70,61	28,73	0,05	219,86	25,23	74,34	290,47	25,48	58,84
10	0,00	0,00	0,05	223,52	25,65	48,69	223,52	19,61	39,23
40	0,00	0,00	0,05	223,52	25,65	23,04	223,52	19,61	19,62
80	0,00	0,00	0,05	78,17	8,97	14,07	78,17	6,86	12,77
200	0,00	0,00	0,05	61,43	7,05	7,02	61,43	5,39	7,38
pasa 200	0,12	0,05		61,17	7,02		84,10	7,38	0,00
	245,78	100,00		871,42	100,00		1140,00	100,00	

245,78	100,00	871,42	100,00		
	22		78		

Tabla B.29. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada

TAMIZ	COMBINACIÓN DE MUESTRAS A PARTIR DE GRANULOMETRÍA DETALLADA		
1	0,0	gr.	1117,2 gr.
3/4	0,0	gr.	
1/2	44,7	gr.	
3/8	134,1	gr.	
4	290,5	gr.	
10	223,5	gr.	
40	223,5	gr.	
80	78,2	gr.	
200	61,4	gr.	
pasa 200	61,3	gr.	
Cal Hidratada	22,8	gr.	
Asfalto	60,0	gr.	
<b>Peso total de la probeta</b>	<b>1200,0</b>	<b>gr.</b>	

Tabla B.30. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava- gravilla-Cal Hidratada)

Agregado grueso(grava)	245,8 gr.	20,48 %
agregado fino (gravilla)	871,4 gr.	72,62 %
Cal Hidratada	22,8 gr.	1,90 %
Asfalto	60,0 gr.	5,00 %
<b>Peso total de la probeta</b>	<b>1200,0 gr.</b>	<b>100,00 %</b>

Tabla B.31. Densidad **Bulk**

	PROBETA 2,0% CAL HIDRATADA		
	4	5	6
1. Peso probeta al aire, gr.	1188,5	1190,8	1184,5
2. Peso probeta en agua, gr.	685,9	686,1	679,8
3. Peso probeta al aire luego de 5 min. en agua, gr.	1189,6	1191,7	1185,7
4. Diferencia (paso 3 - paso 1 )	1,1	0,9	1,2
5. Densidad, , gr/cm <sup>3</sup>	2,360	2,355	2,341
6. Densidad promedio, , gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,35</b>		

Tabla B.32. Estabilidad y Flujo

	PROBETA 2.0% CAL HIDRATADA				
	1	2	3	4	PROMEDIO
Estabilidad, libras= kg-f / 0,430	3948,75	3665,25	4161,38	3928,50	3926,0
Peso probeta al aire, gr.	1188,5	1190,8	1184,5	1185,1	
Peso probeta en agua, gr.	685,9	686,1	679,8	679,7	
Volumen de la probeta (cm <sup>3</sup> )=2-3	502,6	504,7	504,7	505,4	
Factor de corrección por volumen	1,04	1,04	1,04	1,04	
Estabilidad corregida, libras	4106,70	3811,86	4327,83	4085,64	4083,0
Estabilidad corregida, kg.= lbs. * 0,430	1765,88	1639,10	1860,97	1756,83	1755,7
Flujo pulg./100	17,50	15,20	13,50	12,50	15,40

### 3.4.2.3 Peso específico máximo teórico (Gmm)

El objeto de este método se refiere a la determinación del peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar, con 2,0% de Cal Hidratada.

Tabla B.33. Gmm.

	PROBETA 2% CAL HIDRATADA			
	1	2	3	4
1. Muestra, gr.	1000	1000	1000	1000
2. Peso de matraz, gr:	913,9	913,9	913,9	913,9
3. Peso de matraz + agua, gr.	2023,7	2023,7	2023,7	2023,7
4. Tiempo de vacio, min.	5	5	5	5
5. Peso de matraz + muestra + agua, gr.	2617,7	2617,3	2616,6	2617,7
6. Gmm	2,46	2,46	2,46	2,46
7. Gmm, promedio	2,46			

El porcentaje de vacíos con aire en la mezcla asfáltica con 2,0% de Cal Hidratada, es uno de los criterios utilizados tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos.

Tabla B.34. Vacios en la mezcla

PROBETA 2.0% CAL HIDRATADA			
1	2	3	4

1. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,3595	2,3552	2,3414	2,3375
2. Gmm	2,46	2,46	2,46	2,46
3. Vacios con aire en la mezcla, %	4,20	4,28	4,68	5,10
4. Vacios, promedio, %	4,57			

Tabla B.35. Volumen y masa del espécimen, sin y con 1,5% de Cal Hidratada

h = altura del cilindro		4	pulg.	
		10,16	cm	
d = diámetro del cilindro		4	pulg.	
		10,16	cm	
AREA DE LA PROBETA = $A_p = \frac{\pi * d^2}{4}$		12,57	pulg <sup>2</sup>	
		81,07	cm <sup>2</sup>	
		0,00810732	m <sup>2</sup>	
VOLUMEN DE LA PROBETA = $V_p = \frac{\pi * d^2}{4} * h$		50,26548246	pulg <sup>3</sup>	
		823,703678	cm <sup>3</sup>	
		0,000823704	m <sup>3</sup>	
% CAL HIDRATADA	$\delta \left[ \frac{ton}{m^3} \right]$	$\delta \left[ \frac{Kg}{cm^3} \right]$	m[Kg]	DIFERENCIA DE MASAS EN GRAMOS
0%	2,3575	0,002357545	1,9419	
1,5%	2,3545	0,002354496	1,93941	

Tabla B.36. Mezcla con sin Cal Hidratada

Peso de la probeta seca	1941,9	gr.
Agregados totales en la mezcla	95	%
Agregados sin Cal en la mezcla	95,00	%
Cal Hidratada respecto al peso del agregado	0	%
Asfalto en la mezcla	5	%
Agregados sin Cal para la mezcla	1844,82	gr.
Agregado: Cal Hidratada	0,00	gr.
Agregados totales en la mezcla	1844,82	gr.
Asfalto para la mezcla	97,09594289	gr.

Comprobación del peso de la probeta seca	1941,9	gr.
--	--------	-----

Tabla B.37. Propiedad granulométrica de agregados totales sin Cal Hidratada

TAMI Z	PROPIEDAD DEL AGREGADO GRUESO			PROPIEDAD DEL AGREGADO FINO			PROPIEDAD DE AGREGADOS TRADICIONALES TOTALES		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%	gr.	%	%
1	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
3/4	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
1/2	73,79	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	73,79	4,00	96,0
3/8	215,27	53,04	28,78	6,19	0,43	99,57	221,46	12,00	84,0
4	116,60	28,73	0,05	363,05	25,23	74,34	479,65	26,00	58,0
10	0,00	0,00	0,05	369,09	25,65	48,69	369,09	20,01	38,0
40	0,00	0,00	0,05	369,09	25,65	23,04	369,09	20,01	18,0
80	0,00	0,00	0,05	129,07	8,97	14,07	129,07	7,00	11,0
200	0,00	0,00	0,05	101,45	7,05	7,02	101,45	5,50	5,5
pasa 200	0,20	0,05		101,02	7,02		101,22	5,49	0,0
	405,86	100,0		1438,96	100,00		1844,82	100,00	
	405,86	100,0		1438,96	100,00				
		22%			78%				

Tabla B.38. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada

TAMIZ	COMBINACIÓN DE MUESTRAS A PARTIR DE GRANULOMETRÍA DETALLADA		
1	0,00	gr.	1844,8 gr.
3/4	0,00	gr.	
1/2	73,79	gr.	
3/8	221,46	gr.	
4	479,65	gr.	
10	369,09	gr.	
40	369,09	gr.	
80	129,07	gr.	
200	101,45	gr.	
pasa 200	101,22	gr.	
Cal Hidratada	0,00	gr.	
Asfalto	97,10	gr.	
Peso total de la	1942	gr.	

probeta			
---------	--	--	--

Tabla B.39. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava-gravilla)

Diseño de probeta a partir de muestras: (grava -gravilla-Cal Hidratada)		
Agregado grueso(grava)	405,9 gr.	20,90 %
agregado fino (gravilla)	1439,0 gr.	74,10 %
Cal Hidratada	0,0 gr.	0,00 %
Asfalto	97,1 gr.	5,00 %
Peso total de la probeta	1942 gr.	100,00 %

Se emplea para calcular su peso unitario de la muestra sin Cal Hidratada, en Kg/m<sup>3</sup> o Ton/m<sup>3</sup>, igualmente es útil para calcular el porcentaje de vacíos con aire a que se refiere la Norma INV E – 736.

Tabla B.40. Densidad **Bulk**

PROBETA SIN CAL HIDRATADA										
	GRUPO 1					GRUPO 2				
	3	4	5	6	8	1	2	7	9	10
1. Altura de la briqueta cm.	10,7	10,7	10,6	10,6	10,6	10,5	10,7	10,7	10,7	10,7
2. Peso probeta al aire, gr.	1925,3	1936,9	1914,4	1925,4	1906,6	1875,5	1928,8	1917,8	1928,6	1933,9
3. Peso probeta en agua, gr.	1073,0	1075,0	1065,0	1073,0	1063,9	1046,0	1076,2	1068,0	1078,0	1076,6
4. Peso probeta al aire, gr. Luego de 5 min. en agua	1941,4	1948,3	1927,8	1935,2	1917,7	1892,0	1942,7	1931,4	1942,5	1945,6
5. Diferencia	16,10	11,40	13,40	9,80	11,10	16,50	13,90	13,60	13,90	11,70
6. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,217	2,218	2,219	2,233	2,233	2,217	2,226	2,221	2,231	2,225
7. Densidad promedio, gr/cm <sup>3</sup>	2,224					2,224				

Procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas compactadas en caliente.

Tabla B.41. Estabilidad y Flujo

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA									
	GRUPO1					GRUPO 2				
	3	4	5	6	8	1	2	7	9	10
Estabilidad, kg-f=2,325lb.	1290	1160	1170	1190	1270	1010	1090	960	1150	910
Estabilidad, libras=0,430 kg-f	3000,0	2697,67	2720,93	2767,44	2953,49	2348,84	2534,88	2232,56	2674,42	2116,28
Flujo, pulg/100	13,70	13,70	16,50	13,00	14,00	19,00	17,00	18,00	20,50	19,00
Estabilidad promedio [ libras ]	2827,9					2381,4				
Flujo promedio, pulg./100	14,18					18,70				

Tabla B.42. Resultados del ensayo Inmersión - Compresión

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA									
	GRUPO1					GRUPO 2				
	3	4	5	6	8	1	2	7	9	10
Carga (libras)	3000,0	2697,67	2720,93	2767,44	2953,49	2348,84	2534,88	2232,56	2674,42	2116,28
Diámetro (pulg.)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Altura (pulg.)	4,21	4,21	4,17	4,17	4,17	4,13	4,21	4,21	4,21	4,21
Área transversal (pulg) <sup>2</sup>	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
Resistencia a compresión (libras/pulg <sup>2</sup> )	238,73	214,67	216,52	220,23	235,03	186,91	201,72	177,66	212,82	168,41
R 1 (libras/pulg <sup>2</sup> )	225,04									
R 2 (libras/pulg <sup>2</sup> )						189,50				
INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA = ( R2 / R1 ) * 100	<b>84,2 %</b>									

Tabla B.43. Gmm.

PROBETA SIN CAL HIDRATADA										
	GRUPO1					GRUPO 2				
	3	4	5	6	8	1	2	7	9	10
1. Muestra, gr.	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2. Peso de matraz, gr:	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9
3. Peso de matraz + agua, gr.	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2
4. Tiempo de vacio, min.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5. Peso de matraz + muestra + agua, gr.	2616	2618,5	2621,3	2615,6	2616,9	2616,4	2617,7	2615,3	2617,5	2617
6. Gmm	2,456	2,471	2,488	2,453	2,461	2,458	2,466	2,452	2,465	2,462
7. Gmm. promedio	<b>2,466</b>					<b>2,461</b>				

Tabla B.44. Vacios en la mezcla

	PROBETA SIN CAL HIDRATADA									
	GRUPO1					GRUPO 2				
	1	3	4	5	8	2	6	7	9	10
Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,217	2,218	2,219	2,233	2,233	2,217	2,226	2,221	2,231	2,225
Gmm	2,456	2,471	2,488	2,453	2,461	2,458	2,466	2,452	2,465	2,462
Vacios con aire en la mezcla %	9,721	10,241	10,826	8,978	9,270	9,816	9,737	9,396	9,493	9,603
Vacios, promedio, %	9,807 %					9,609 %				

Tabla B.45. Mezcla con 1,5% Cal Hidratada

Gramos de mezcla	<b>1939,41</b> gr.
Agregados totales en la mezcla	95,0 %
Agregados sin Cal en la mezcla	93,6 %
Cal Hidratada respecto al peso del agregado	<b>1,5</b> %
Asfalto en la mezcla	<b>5,0</b> %
Agregados sin Cal para la mezcla	1814,8 gr.
Agregado: Cal Hidratada	27,6 gr.
Agregados totales en la mezcla	1842,4 gr.
Asfalto para la mezcla	97,0 gr.
Comprobación del peso de la probeta seca	1939,4 gr.

Tabla B.46. Propiedad granulométrica de agregados totales con Cal Hidratada

TAMIZ	PROPIEDAD DEL AGREGADO GRUESO			PROPIEDAD DEL AGREGADO FINO			PROPIEDAD DE AGREGADOS TOTALES (INCLUIDO LA CAL HIDRATADA)		
	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA	RETENIDO		PASA
	gr.	%	%	gr.	%	%	gr.	%	%
1	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
3/4	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,0
1/2	72,49	18,18	81,82	0,00	0,00	100,00	72,49	3,94	96,06
3/8	211,48	53,04	28,78	6,08	0,43	99,57	217,56	11,82	84,24
4	114,55	28,73	0,05	356,67	25,23	74,34	471,22	25,61	58,63
10	0,00	0,00	0,05	362,60	25,65	48,69	362,60	19,71	38,92
40	0,00	0,00	0,05	362,60	25,65	23,04	362,60	19,71	19,21
80	0,00	0,00	0,05	126,80	8,97	14,07	126,80	6,89	12,32
200	0,00	0,00	0,05	99,66	7,05	7,02	99,66	5,42	6,90
pasa 200	0,20	0,05		99,24	7,02		127,04	6,90	0,00
	398,72	100,0		1413,66	100,00		1839,98	100,00	
	398,72	100,0		1413,66	100,00				
		<b>22</b>			<b>78</b>				

Tabla B.47. Fabricación de probeta a partir de granulometría detallada

TAMIZ	COMBINACIÓN DE MUESTRAS A PARTIR DE GRANULOMETRÍA DETALLADA		
1	0,00	gr.	1814,8 gr.
3/4	0,00	gr.	
1/2	72,58	gr.	
3/8	217,85	gr.	
4	471,85	gr.	
10	363,09	gr.	
40	363,09	gr.	
80	126,97	gr.	
200	99,80	gr.	
pasa 200	99,57	gr.	
Cal Hidratada	27,64	gr.	
Asfalto	96,97	gr.	
<b>Peso total de la probeta</b>	<b>1939,4</b>	<b>gr.</b>	

Tabla B.48. Fabricación de probeta a partir de muestras (grava-gravilla-Cal Hidratada)

Diseño de probeta a partir de muestras: (grava -gravilla-Cal Hidratada)		
Agregado grueso(grava)	399,3 gr.	20,59 %
agregado fino (gravilla)	1415,5 gr.	72,99 %
Cal Hidratada	27,6 gr.	1,43 %
Asfalto	97,0 gr.	5,00 %
<b>Peso total de la probeta</b>	<b>1939,4 gr.</b>	<b>100,00 %</b>

Tabla B.49. Densidad **Bulk**

PROBETA 1,5 % CAL HIDRATADA										
GRUPO1					GRUPO 2					
	1	3	4	5	8	2	6	7	9	10
1. Altura de la briqueta cm.	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,3	10,4
2. Peso probeta al aire, gr.	1834,4	1860,4	1850,5	1838,3	1855,3	1843,6	1852,5	1872,1	1868,4	1866,1
3. Peso probeta en agua, gr.	1025,0	1041,0	1036,0	1018,0	1039,0	1022,0	1037,0	1040,0	1046,0	1043,0
4. Peso probeta al aire, gr. Luego de 5 min. en agua	1848,5	1874,6	1863,8	1846,6	1869,7	1851,5	1866,9	1884,3	1881,70	1877,10
5. Diferencia	14,10	14,20	13,30	8,30	14,40	7,90	14,40	12,20	13,30	11,00
6. Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,228	2,232	2,235	2,219	2,233	2,223	2,232	2,217	2,236	2,237
7. Densidad promedio gr/cm <sup>3</sup>	2,229					2,229				

Procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas compactadas en caliente.

Tabla B.50. Estabilidad y Flujo

	PROBETA 1,5 % CAL HIDRATADA									
	GRUPO 1					GRUPO 2				
	1	3	4	5	8	2	6	7	9	10
Estabilidad, kg-f=2,325lb.	1310	1320	1430	1440	1180	1650	1440	1410	1620	1760
Estabilidad, libras=0,430 kg-f	3046,51	3069,77	3325,58	3348,84	2744,19	3837,21	3348,84	3279,07	3767,44	4093,02
Flujo, pulg./100	14,00	11,50	13,00	13,00	17,50	16,50	20,00	17,50	18,00	19,00
Estabilidad promedio [ libras ]	3107,0					3665,1				
Flujo promedio, pulg./100	13,80					18,20				

La norma requiere solo las resistencias a compresión simple, sin embargo se tiene en cuenta las deformaciones para estimar comparativos respecto a los ensayos definidos por I.N.V. E – 748.

Tabla B.51. Resultados de ensayo Inmersión-Compresión

	PROBETA 1,5% CAL HIDRATADA									
	GRUPO1					GRUPO 2				
	1	3	4	5	8	2	6	7	9	10
Carga (libras)	3046,51	3069,77	3325,58	3348,84	2744,19	3837,21	3348,84	3279,07	3767,44	4093,02
Diámetro (pulg.)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Altura (pulg.)	4,02	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,09	4,06	4,09
Área transversal (pulg.) <sup>2</sup>	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
Resistencia a compresión (libras/pulg <sup>2</sup> )	242,43	244,28	264,64	266,49	218,37	305,35	266,49	260,94	299,80	325,71
R 1 (libras/pulg <sup>2</sup> )	247,24									
R 2 (libras/pulg <sup>2</sup> )						291,66				
INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA = ( R2 / R1 ) * 100	<b>118,%</b>									

El objeto de este método se refiere a la determinación del peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar, con 1,5% de Cal Hidratada.

Tabla B.52. Gmm

	PROBETA 1,5% CAL HIDRATADA									
	GRUPO 1					GRUPO 2				
	1	3	4	5	8	2	6	7	9	10
1. Muestra, gr.	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2. Peso de matraz, gr:	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9	913,9
3. Peso de matraz + agua, gr.	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2	2023,2
4. de vacio, min.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5. Peso de matraz + muestra + agua, gr.	2614,7	2617,3	2615,1	2618	2616,8	2617,4	2616,8	2617,4	2616,7	2617,2
6. Gmm	2,448	2,464	2,450	2,468	2,461	2,464	2,461	2,464	2,460	2,463
7. Gmm promedio	2,458					2,462				

Tabla B.53. Vacios en la mezcla

	PROBETA 1,5% CAL HIDRATADA									
	GRUPO 1					GRUPO 2				
	1	3	4	5	8	2	6	7	9	10
1.Densidad, gr/cm <sup>3</sup>	2,228	2,232	2,235	2,219	2,233	2,223	2,232	2,217	2,236	2,237
2. Gmm	2,448	2,464	2,450	2,468	2,461	2,464	2,461	2,464	2,460	2,463
3.Vacios con aire en la mezcla, %	9,004	9,413	8,772	10,104	9,234	9,809	9,284	10,020	9,118	9,167
4.Vacios, promedio, %	9,305 %					9,480 %				

Figura B.1. Curva logarítmica de granulometría sin Cal Hidratada

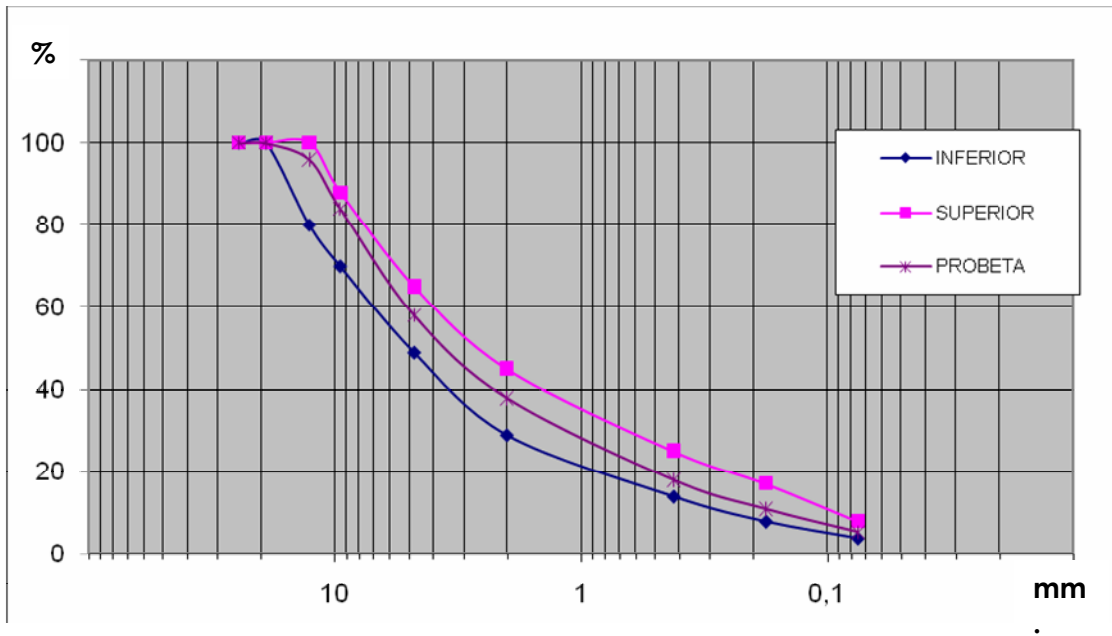


Figura B.2. Curva logarítmica de granulometría con 1,0 % de Cal Hidratada

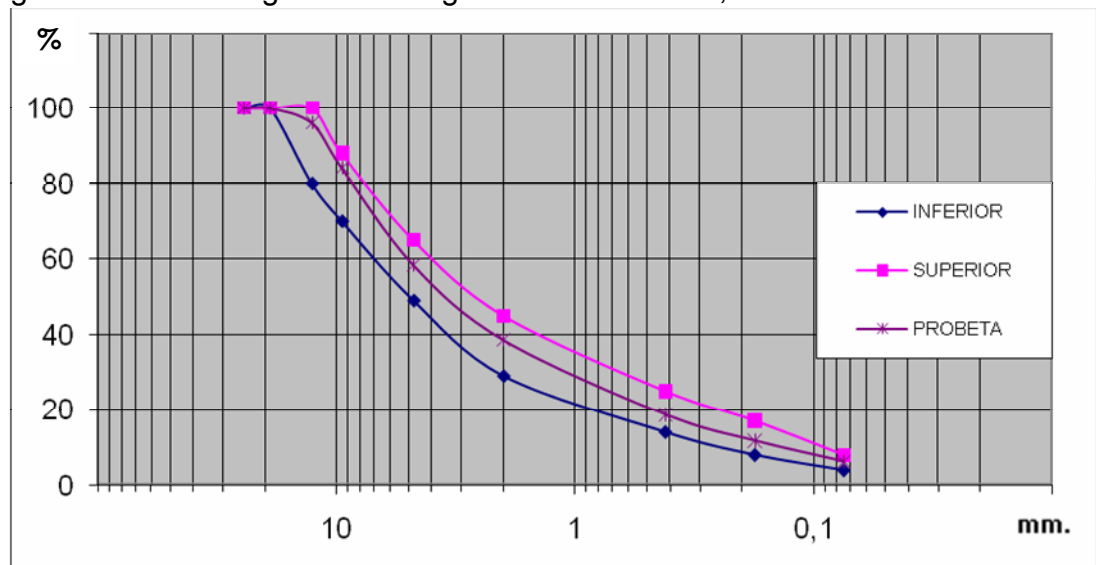


Figura B.3. Curva logarítmica de granulometría con 1,5 % de Cal Hidratada

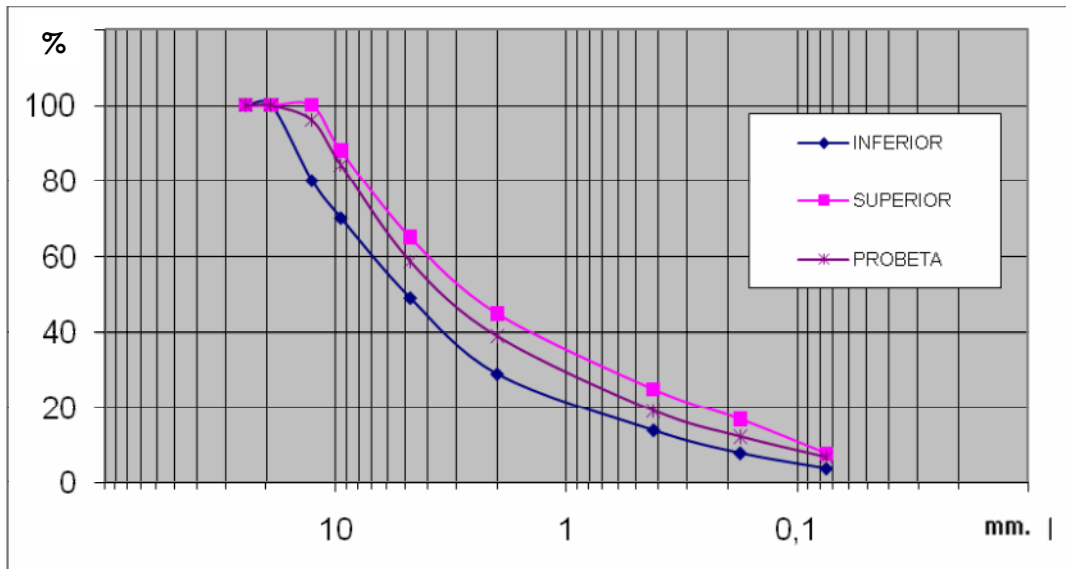


Figura B.4. Curva logarítmica de granulometría con 2,0 % de Cal Hidratada

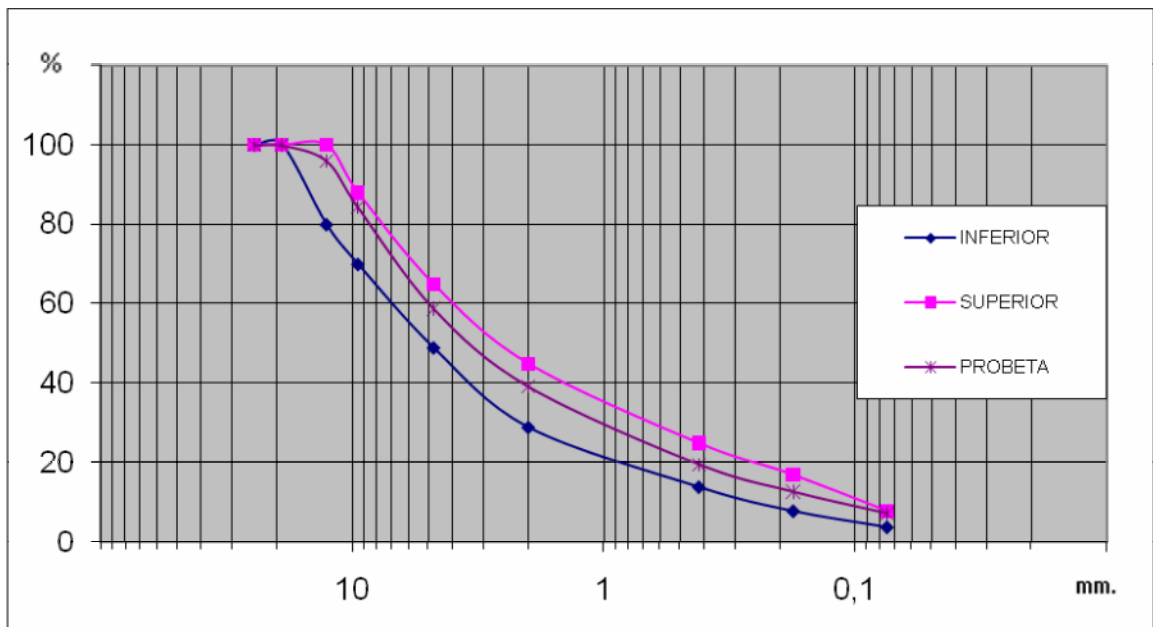


Figura B.5. Densidad Vs Cal

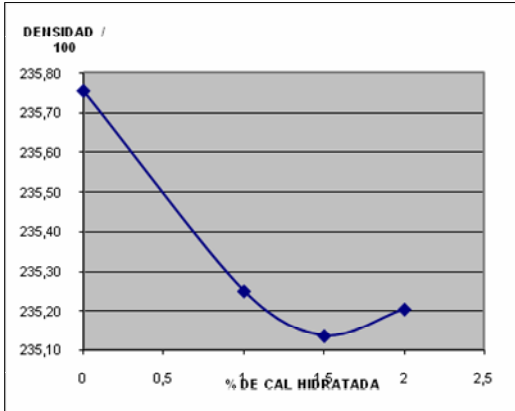


Figura B.6. Estabilidad Vs Cal

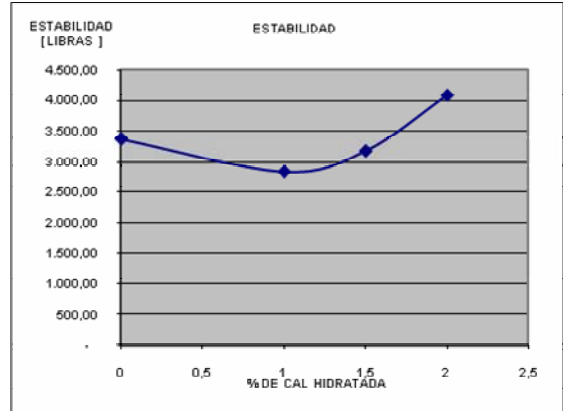


Figura B.7. Flujo.Vs.Cal

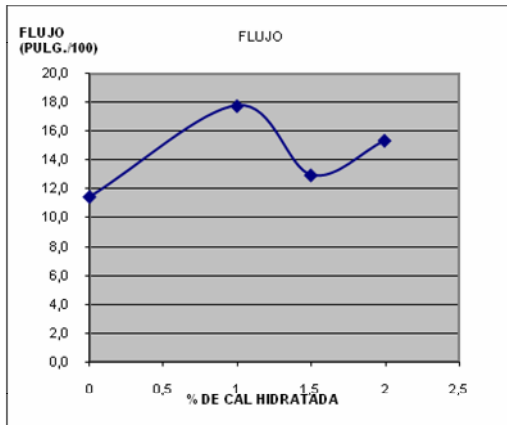


Figura B.8. Gmm Vs Cal

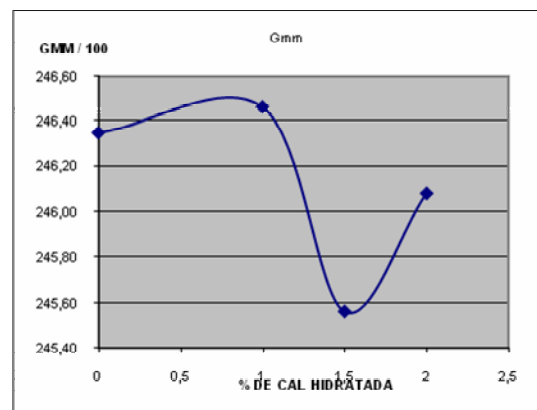


Figura B.9. Vacio en la mezcla Vs Cal

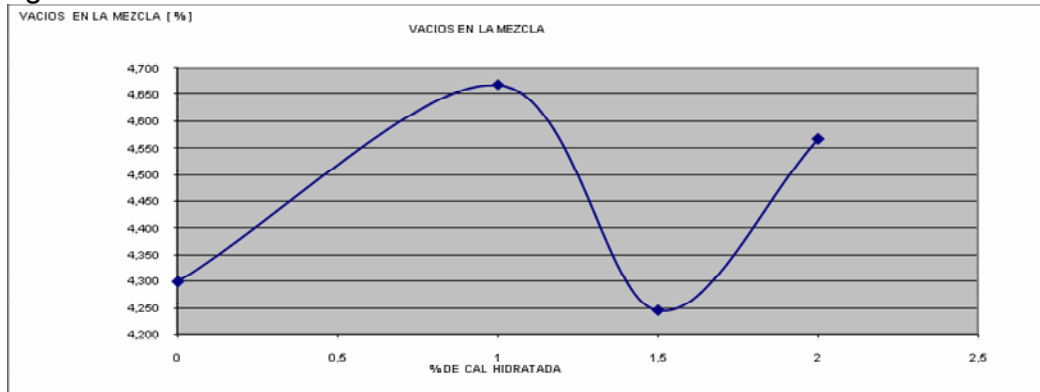


Figura B.10. Curva logarítmica de granulometría sin Cal Hidratada

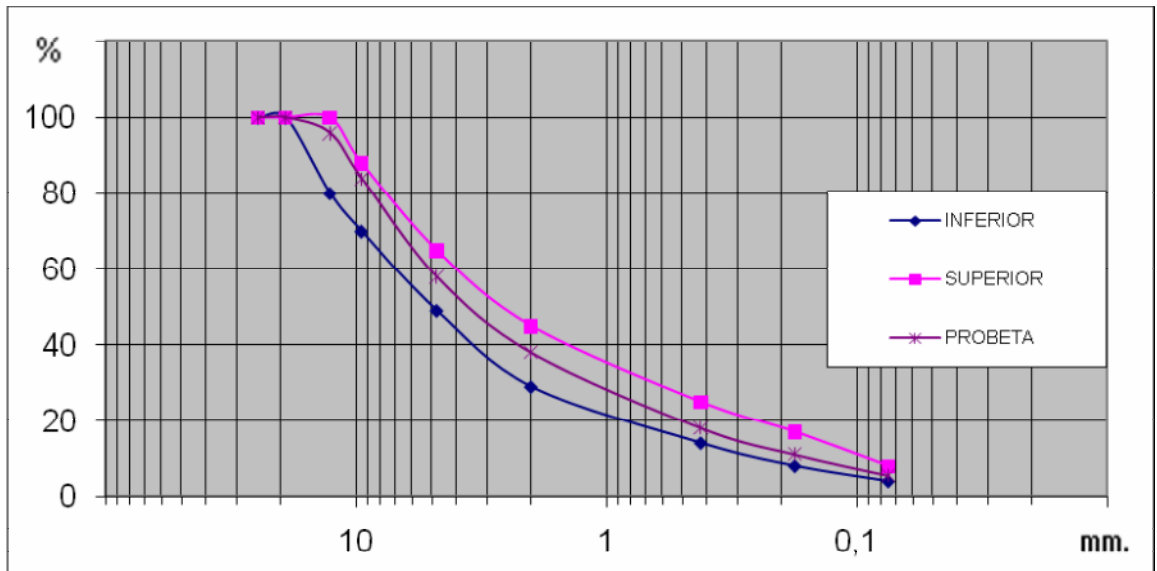


Figura B.11. Curva logarítmica de granulometría con 1,5 % de Cal Hidratada

