



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**UTILIZACIÓN DE HORMIGÓN RECICLADO (RCA) COMO ÁRIDO PARA  
MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS EN FRÍO DESTINADOS A TRATAMIENTOS  
DE MANTENCIÓN DE PAVIMENTOS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**SEBASTIÁN ANDRÉS GARCÍA GALARCE**

**PROFESOR GUÍA:**

**FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

**GABRIELA MUÑOZ ROJAS  
NÁYADE RAMÍREZ PALMA**

**SANTIAGO DE CHILE  
OCTUBRE 2012**

## RESUMEN

“Utilización de hormigón reciclado (rca) como árido para microaglomerados asfálticos en frío destinados a tratamientos de mantención de pavimentos”.

El continuo crecimiento demográfico ha traído emparejado una creciente demanda de materiales para satisfacer las necesidades de los proyectos de construcción lo que ha generado impactos ambientales tanto por la sobre explotación de recursos naturales como por el acelerado aumento de los volúmenes de residuos y desechos derivados de estas actividades.

Considerando la abundancia de hormigones de desechos que actualmente se disponen en vertederos de la Región Metropolitana y la posibilidad de procesarlos para la obtención de áridos, IDIEM se encuentra desarrollando una línea de investigación para evaluar el comportamiento de hormigones y mezclas asfálticas obtenidas a partir de RCA, entre los que se encuentra el presente estudio sobre microaglomerados asfálticos en frío para tratamiento de mantención de carpetas asfálticas de tráfico medio/liviano.

Los microaglomerados asfálticos en frío se diseñaron ajustando la banda granulométrica de los áridos reciclados, disponibles en IDIEM, a la banda de 10 mm de tamaño máximo, recomendada por normas internacionales, junto a diferentes emulsiones asfálticas que resultaron compatibles con estos áridos. La caracterización del comportamiento de los distintos microaglomerados evaluados en este estudio se efectuó según lo establecido en el Manual de Carreteras Vol, 5 y 8. De forma de poder comparar los resultados obtenidos, se confeccionaron microaglomerados utilizando un árido natural de características granulométricas similares a las del árido reciclado.

Se concluyó que el comportamiento de los microaglomerados con áridos reciclados, utilizando la emulsion CQS-1H (EA), es comparable al del microaglomerado con árido natural, cumpliendo incluso de mejor forma los plazos de apertura al tráfico. Se plantea continuar la investigación desarrollando emulsiones asfálticas que logren una completa compatibilidad con los áridos y una posterior construcción de cancha de prueba.

## **AGRADECIMIENTOS**

Probablemente estos son los párrafos más difíciles de escribir de este trabajo de investigación y de lo largo de mi carrera universitaria. Representan un cierre simbólico de los mejores años de mi vida como estudiante, el cual siempre estuvo lleno de grandes personas.

Quiero agradecer el apoyo incondicional de mis padres Ana María y Juan Carlos a quienes siempre estaré agradecido por la educación y los valores que me han entregado, sin duda son un gran ejemplo a seguir, esto es para ustedes.

A mis hermanos Gonzalo y Carlos por su constante apoyo, confianza y cariño, como lo he escuchado por ahí: “estamos condenaos al éxito”.

Al resto de mi familia los cuales siempre estuvieron apoyándome y con quienes nos hacemos mucho más grande en los momentos difíciles, esto también es para ti Betito.

A ti mi amor, por estar acompañándome en todo momento, por el apoyo, la comprensión y amor que me has brindado en todos estos años, gracias Valita.

Agradezco los grandes amigos que fui creando a lo largo de la carrera, sin duda los mejores recuerdos de la universidad vienen de los momentos pasados con mis amigos, los cuales espero me acompañen el resto de la vida.

Finalmente quisiera agradecer a todas aquellas personas que colaboraron para que este trabajo tuviera buen término, en especial a Don Federico Delfín, Náyade Ramírez, Gabriela Muñoz, Alicia, Don Max, Don Luis y Juan Pablo.

**GRACIAS TOTALES!!!**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	10
1.1. Introducción .....	10
1.2. Objetivos .....	11
1.2.1. Objetivo general .....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. Alcances .....	11
Capítulo 2. Antecedentes .....	13
2.1. Árido reciclado .....	13
2.1.1. Tipos de residuos y su composición .....	13
2.1.2. Características del árido reciclado .....	18
2.1.3. Importancia del árido reciclado .....	19
2.2. Microaglomerados en frío .....	19
2.2.1. Introducción.....	19
2.2.2. Composición de los microaglomerados en frío .....	20
2.2.2.1. Árido .....	20
2.2.2.2. Emulsión Asfáltica .....	22
2.2.2.3. Agua .....	23
2.2.3. Uso de micropavimentos .....	24
2.2.4. Ventajas frente a mezclas en caliente .....	25

2.3. Experiencias previas.....	27
<b>Capítulo 3. Programa Experimental .....</b>	<b>29</b>
3.1. Introducción .....	29
3.2. Variables a estudiar .....	29
3.3. Diseño del micropavimento .....	29
3.3.1. Cálculo óptimo teórico .....	29
3.3.1.1. Caracterización de áridos .....	29
3.3.1.2. Caracterización emulsión .....	30
3.3.1.3. Óptimo teórico .....	31
3.3.2. Obtención óptimo de diseño .....	31
3.3.2.1. Confección de probetas.....	31
3.3.2.2. Ensayo probetas.....	31
3.3.2.3. Óptimo de diseño .....	32
3.3.3. Ensayo al óptimo de diseño .....	32
3.3.4. Programa de ensayos .....	32
<b>Capítulo 4. Diseño de micropavimentos .....</b>	<b>34</b>
4.1. Materiales .....	34
4.1.1. Árido .....	34
4.1.1.1. Obtención del árido reciclado .....	34
4.1.1.2. Caracterización árido reciclado y natural .....	38
4.1.1.3. Elección banda granulométrica.....	42
4.1.2. Emulsión.....	46
4.1.2.1. Caracterización emulsión .....	46
4.1.2.2. Elección de emulsiones .....	52
4.2. Cálculo del óptimo teórico .....	53

4.3. Obtención óptimo de diseño .....	55
4.3.1. Confección de probetas.....	55
4.3.2. Ensayos de probetas .....	57
4.3.3. Óptimo de diseño .....	60
4.3.4. Ensayo al óptimo de diseño .....	61
4.3.5. Equipos .....	64
4.3.6. Definición de muestras.....	66
<b>Capítulo 5. Presentación de resultados.....</b>	<b>68</b>
5.1. Diseño del micropavimento .....	68
5.1.1. Cálculo óptimo teórico .....	68
5.1.1.1. Caracterización de áridos .....	68
5.1.1.2. Óptimo teórico .....	70
5.1.2. Obtención óptimo de diseño .....	71
5.1.2.1. Confección de probetas.....	71
5.1.2.2. Ensayo probetas.....	80
5.1.2.3. Óptimo de diseño .....	83
5.1.2.4. Ensayo al óptimo de diseño.....	90
5.1.2.5. Comparación de muestras.....	98
<b>Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>102</b>
Conclusiones .....	102
Recomendaciones.....	105
<b>Bibliografía .....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo A .....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Granulometría del árido natural. ....	41
Gráfico 2. Granulometría del árido reciclado. ....	42
Gráfico 3. Granulometría de trabajo del árido reciclado. ....	44
Gráfico 4. Granulometría de trabajo del árido reciclado. ....	45
Gráfico 5. Variación del contenido de agua para el set de probetas M1. ....	74
Gráfico 6. Variación del contenido de agua para el set de probetas M2. ....	75
Gráfico 7. Variación del contenido de agua para el set de probetas M3. ....	76
Gráfico 8. Variación del contenido de agua para el set de probetas M4. ....	77
Gráfico 9. Variación del contenido de agua para el set de probetas M5. ....	78
Gráfico 10. Variación del contenido de agua para el set de probetas M6. ....	79
Gráfico 11. Variación del contenido de agua para el set de probetas M7. ....	80
Gráfico 12. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M1. ....	83
Gráfico 13. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M2. ....	84
Gráfico 14. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M3. ....	85
Gráfico 15. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M4. ....	86
Gráfico 16. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M5. ....	87
Gráfico 17. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M6. ....	88
Gráfico 18. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M7. ....	89
Gráfico 19. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M1. ....	91
Gráfico 20. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M2. ....	92
Gráfico 21. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M3. ....	93
Gráfico 22. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M4. ....	94
Gráfico 23. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M5. ....	95
Gráfico 24. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M6. ....	96
Gráfico 25. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M7. ....	97
Gráfico 26. Variación del contenido de agua para los diferentes sets de muestras. ....	98
Gráfico 27. Curva de curado y de apertura al tráfico de los diferentes sets de muestras. ....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de los distintos tipos de Residuos en la RM, 2006. ....	13
Tabla 2: Consumo estimado de áridos en el país. ....	17
Tabla 3. Granulometría para microaglomerados en frio. ....	21
Tabla 4. Energía usada en secar y calentar áridos húmedos. ....	26
Tabla 5. Comportamiento del árido según valor de azul de metileno. ....	40
Tabla 6. Granulometría del árido natural. ....	41
Tabla 7. Granulometría del árido reciclado. ....	42
Tabla 8. Granulometría de trabajo del árido reciclado. ....	44
Tabla 9. Granulometría de trabajo del árido reciclado. ....	45
Tabla 10. Caracterización de la emulsión ERCM, Probisa. ....	46
Tabla 11. Caracterización de la emulsión CQS-1H (EW), Química Latinoamericana. ...	47
Tabla 12. Caracterización de la emulsión CQS-1H (EA), Química Latinoamericana. ....	48
Tabla 13. Caracterización de la emulsión BITUFLEX LC, Asfalchile. ....	49
Tabla 14. Caracterización de la emulsión CQS-1H, ENEX. ....	50
Tabla 15. Caracterización de la emulsión CSS-1H, ENEX. ....	51
Tabla 16. Caracterización de la emulsión CRS-2, ENEX. ....	52
Tabla 17. Factores de área superficial. ....	53
Tabla 18. Caracterización del árido reciclado de hormigón. ....	68
Tabla 19. Caracterización del árido natural. ....	69
Tabla 20. Área Superficial de los áridos ....	70
Tabla 21. Equivalente centrífugo de kerosene ....	71
Tabla 22. Óptimo teórico de las muestras ....	71
Tabla 23. Adherencia método estático. ....	72
Tabla 24. Adherencia método Riedel-Weber. ....	72
Tabla 25. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M1. ....	73
Tabla 26. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M2. ....	74
Tabla 27. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M3. ....	75
Tabla 28. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M4. ....	76
Tabla 29. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M5. ....	77
Tabla 30. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M6. ....	78



Tabla 31. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M7. ....	79
Tabla 32. Ensayos mecánicos del set de probetas M1.....	80
Tabla 33. Ensayos mecánicos del set de probetas M2.....	81
Tabla 34. Ensayos mecánicos del set de probetas M3.....	81
Tabla 35. Ensayos mecánicos del set de probetas M4.....	81
Tabla 36. Ensayos mecánicos del set de probetas M5.....	82
Tabla 37. Ensayos mecánicos del set de probetas M6.....	82
Tabla 38. Ensayos mecánicos del set de probetas M7.....	82
Tabla 39. Contenido óptimo de diseño set de probetas M1.....	84
Tabla 40. Contenido óptimo de diseño set de probetas M2.....	85
Tabla 41. Contenido óptimo de diseño set de probetas M3.....	85
Tabla 42. Contenido óptimo de diseño set de probetas M4.....	86
Tabla 43. Contenido óptimo de diseño set de probetas M5.....	87
Tabla 44. Contenido óptimo de diseño set de probetas M6.....	88
Tabla 45. Contenido óptimo de diseño set de probetas M7.....	89
Tabla 46. Desgaste por abrasión, set óptimo M1. ....	90
Tabla 47. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set óptimo M1. ....	90
Tabla 48. Desgaste por abrasión set óptimo M2. ....	91
Tabla 49. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M2. ....	91
Tabla 50. Desgaste por abrasión set óptimo M3. ....	92
Tabla 51. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M3. ....	92
Tabla 52. Desgaste por abrasión set óptimo M4. ....	93
Tabla 53. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M4. ....	93
Tabla 54. Desgaste por abrasión set óptimo M5. ....	94
Tabla 55. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M5. ....	95
Tabla 56. Desgaste por abrasión set óptimo M6. ....	95
Tabla 57. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M6. ....	96
Tabla 58. Desgaste por abrasión set óptimo M7. ....	96
Tabla 59. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M7. ....	97
Tabla 60. Contenido de los óptimos de diseño.....	99
Tabla 61. Resultado de los ensayos mecánicos a los óptimos de diseños.....	100
Tabla 62. Contenido del diseño de mezcla.....	100

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Distribución porcentual de la generación de residuos, según su origen. ....	14
Figura 2. Composición de los residuos de la construcción. ....	15
Figura 3. Proyección de uso de áridos en el país. ....	17
Figura 4. Vaciado de los cubos de hormigón en el chancador primario. ....	34
Figura 5. Chancado de probetas. ....	35
Figura 6. Vista de la planta de áridos. ....	36
Figura 7. Acopio de árido reciclado en Planta Quilín. ....	37
Figura 8. Acopio de árido reciclado en dependencias de IDIEM en Cerrillos. ....	37
Figura 9. Centrífuga eléctrica para ensayo del ECK. ....	54
Figura 10. Ensaye de consistencia. ....	56
Figura 11. Curva de desgaste mediante el ensayo Abrasión Medio Húmedo. ....	57
Figura 12. Probetas. ....	58
Figura 13. Probeta en el equipo de ensayo. ....	58
Figura 14. Curva de adhesión de arena (Sa). ....	59
Figura 15. Probetas de ensaye adhesión de arena. ....	60
Figura 16. Elección del porcentaje óptimo real de emulsión. ....	61
Figura 17. Equipo utilizado en el ensayo del cohesiómetro. ....	62
Figura 18. Clasificación de mezclas en función del par de torsión y del tiempo de curado. ....	62
Figura 19. Equipo de ensayo. ....	64
Figura 20. Equipo ensayo rueda de carga. ....	65
Figura 21. Ensayo Riedel-Weber a los áridos. ....	72
Figura 22. Probetas ensayadas por abrasión a los 6 días sumergida en agua. ....	101
Figura 23. Probetas confeccionadas con diferente árido y una misma emulsión. ....	101

# Capítulo 1. Introducción y objetivos

## 1.1. Introducción

Para Diciembre del 2010, el 86% de la red vial pavimentada en Chile, correspondía a pavimento asfáltico (Departamento de Gestión Vial, 2010). Este tipo de pavimento flexible, consta de un sistema tricapa, cuya capa superior es de concreto asfáltico, el cual al ser sometido a una carga puede sufrir deformación. Se caracteriza por ser económicamente competitivo, de rápida ejecución y estar en servicio inmediatamente después de su construcción. Sin embargo, este tipo de pavimento es más propenso a sufrir deterioros a edades más tempranas que el hormigón, por lo que requiere mayor mantención.

El deterioro del pavimento se inicia al terminar su construcción y se agrava según las cargas a las que se encuentra expuesto y de las condiciones climáticas; así dependiendo del tipo de daño, nivel de severidad y cantidad o densidad del mismo, se puede clasificar en Fisuras y Grietas, Deterioro Superficiales y Otros Deterioros (Manual de Carretera Vol. 7, 2008).

Existen numerosas alternativas de materiales y de procedimientos utilizados para tratamientos de mantención de un pavimento, entre ellos destaca la utilización de emulsiones asfálticas para la fabricación de microaglomerados en frío. Esta técnica consiste en la aplicación superficial de mezclas fluidas en pequeños espesores, de 3 a 20 mm, compuesta de materiales pétreos seleccionados, emulsión asfáltica modificada con polímeros de quiebre controlado y aditivos, mediante máquinas especialmente diseñadas para su colocación, lo que produce poco o ningún incremento estructural de la carpeta.

Desarrollado en Europa a mediados de los años 70's, y utilizado por primera vez en Kansas, Estados Unidos en 1980, el microaglomerado en frío es actualmente una técnica masivamente utilizada en países de Europa, América del Norte y parte de Sudamérica. En Chile fue aplicado por primera vez en 1991, en la mantención de la carretera Presidente Eduardo Frei Montalva, más conocida como Carretera del Cobre o Carretera El Cobre (H-25), la cual es una importante vía que permite la conexión entre Rancagua y los yacimientos cupríferos de El Teniente. Hoy en día es utilizado

ampliamente en autopistas, donde se aplican de forma preventiva para la conservación de las carpetas asfálticas.

La construcción eco-amigable o eficiente en el uso de recursos, de a poco se ha transformado en requisito para la construcción, de esta forma la incorporación y reutilización de materiales reciclados hoy en día es una tendencia a nivel mundial, minimizando los impactos dañinos al medio ambiente y la creación de ambientes más saludables para la población.

Así, en este trabajo de título, se estudiará la utilización de hormigones reciclados como áridos para microaglomerados asfálticos en frío destinados a tratamientos de mantención de pavimentos.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Estudiar la factibilidad técnica de uso de áridos marginales, como los provenientes de hormigón reciclado (RCA), con el fin de ser utilizados en microaglomerados asfálticos en frío para la rehabilitación y/o construcción de carpetas asfálticas para condiciones de tránsito liviano y medios.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el comportamiento de distintas mezclas de microaglomerados en frío, elaboradas con material reciclado de hormigón (RCA) y emulsiones asfálticas modificadas con polímeros, frente a las solicitudes que establece el Manual de Carreteras.

## **1.3. Alcances**

- (a) Para la elaboración de los micropavimentos en frío se utilizó desechos de hormigón provenientes de los laboratorios de IDIEM, los cuales son probetas cúbicas de resistencia H30, las que posteriormente se chancaron por la empresa de áridos Quilín.

(b) Se utilizaron emulsiones disponibles en el mercado, las cuales pertenecen a las siguientes empresas:

- Empresa Nacional de Energía ENEX S.A.
- Productos Bituminosos S.A.
- Asfaltos Chilenos S.A.
- Química Latinoamericana S.A.

(c) Para la caracterización de los materiales y diseño de las mezclas, se utilizará los Volúmenes N° 5 y N°8 del Manual de Carreteras, junto a recomendaciones internacionales como la International Slurry Surfacing Association (ISSA).

## Capítulo 2. Antecedentes

### 2.1. Árido reciclado

#### 2.1.1. Tipos de residuos y su composición

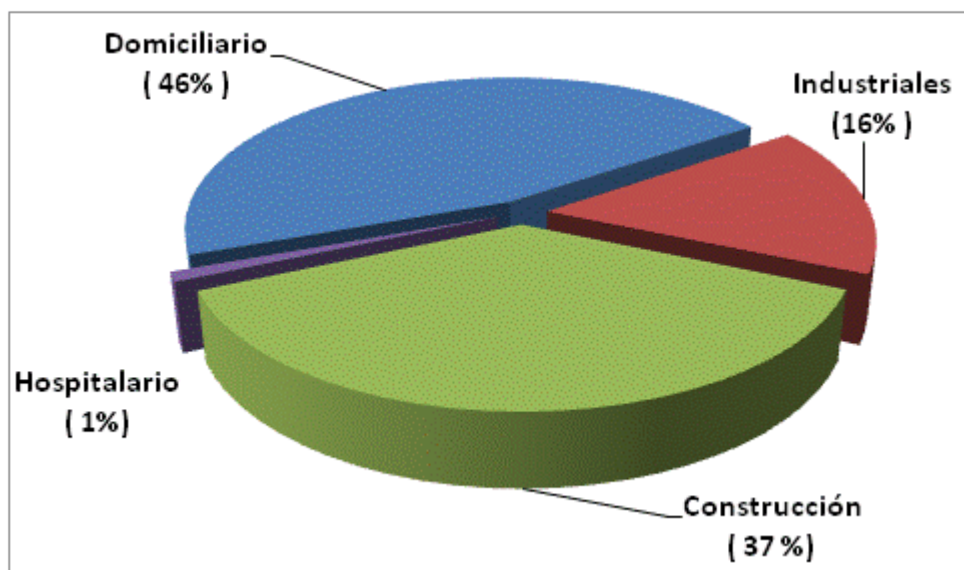
En la Región Metropolitana, se genera sobre el 50% de todos los residuos producidos en el país, los cuales en su mayoría son recogidos y transportados para ser depositados en vertederos autorizados. Los residuos, en los vertederos son clasificados según su origen en Residuos Domiciliarios, Industriales, de Construcción u Hospitalarios, para posteriormente ser pesados. Según estadísticas oficiales, para el año 2006, en la Región Metropolitana se produjeron 2,13 millones de toneladas de residuos de construcción, lo que corresponde al 37% del total producido. En la Tabla 1 se muestra las cantidades de los distintos tipos de residuos producidos en la Región Metropolitana.

Tabla 1: Cantidad de los distintos tipos de Residuos en la RM, 2006.

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Cantidad Total t/año</b>	<b>Porcentaje %</b>
Domiciliario	2.645.966	46
Industriales	920.336	16
Construcción	2.128.277	37
Hospitalario	57.521	1
<b>Total</b>	<b>5.752.100</b>	<b>100</b>

Fuente: Secretaría Regional Ministerial, SEREMI.

En la **Figura 1** se muestra la distribución porcentual de la generación de residuos en la Región Metropolitana.

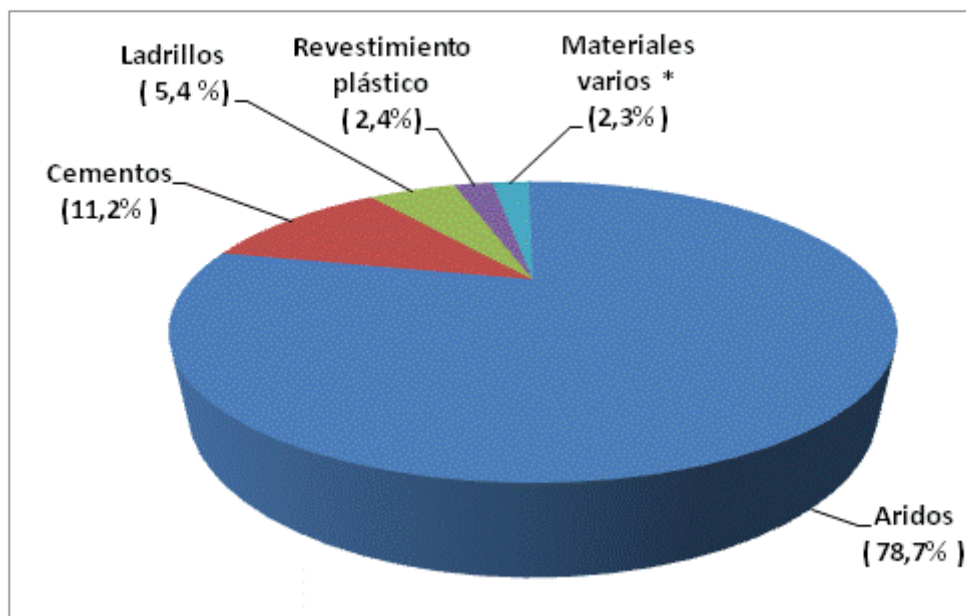


**Figura 1. Distribución porcentual de la generación de residuos, según su origen.**

Fuente: Secretaría Regional Ministerial, SEREMI.

El terremoto del 27 de febrero del 2010 sufrido en la zona centro-sur de Chile, registró grandes daños en kilómetros de infraestructuras del país, destrucción de miles de viviendas y severos daños en edificaciones públicas y privadas. Como secuela de esto, se acumularon cientos de miles de toneladas de escombros producto del colapso y posterior demolición de viviendas, produciendo una gran problemática ambiental. Las autoridades municipales dispusieron de centros de acopios de forma provisoria, acumulando grandes volúmenes de material, en sectores que antes estaban destinados a recreación, esparcimiento o deportes. Así también se produjeron acopios irregulares a los costados de caminos rurales y urbanos, logrando una gran contaminación visual.

Los materiales y escombros de la construcción pueden ser catalogados como peligrosos, los cuales generan efectos ambientales adversos al interactuar con el medio ambiente, entre ellos se encuentran: metales pesados, tintas y solventes, productos basados en alquitrán, yeso, etc. o catalogados como inertes, entre los cuales destacan: áridos, vidrios, maderas no contaminadas con pinturas o solventes, ladrillos, cerámicas, etc. los cuales podrían ser reutilizados, según las condiciones en que se encuentren. A continuación en la **Figura 2** se detalla la composición porcentual de los residuos de la construcción.



**Figura 2. Composición de los residuos de la construcción.**

Fuente: Revista electrónica año 2010, Universidad Central. El megasismo y la gestión de escombros y materiales de construcción.

(\*) *Materiales varios: Madera, yeso, fierro, cañerías de cobre, masisa, parquet, tejas, cerámicas, clavos y tornillos, alambre, pizarreño, baldosa, tubos de fierro, flexit, planchas de zinc, azulejos, tubos de PVC, bloques, alfombra.*

El 78% de los residuos generados, corresponde a áridos, estos materiales pétreos son provenientes de hormigones, asfaltos y pavimentos bituminosos, a los cuales se le podrían destinar como acondicionamientos de caminos y carreteras, rellenos de zanjas, pozos, construcción de suelos artificiales, defensas costeras, protecciones o muros de contención de taludes, entre otros, logrando una notable disminución de los vertederos o centros de acopio.

Estos usos resultan ser las alternativas más viables para el manejo de residuos, ya que a la falta de conciencia ambiental en la sociedad se le suma los grandes vacíos legales o leyes genéricas en materia de alternativas de manejo y gestión de residuos sólidos, los que están provocando grandes contaminaciones.

La utilización de áridos reciclados ayudaría a disminuir la extracción irracional de materiales pétreos, lo cual conlleva impactos en el medio ambiente como también sobre la salud de las personas.



Entre los principales impactos ambientales producidos por proyectos asociados a la extracción, procesamiento y transporte de áridos destacan:

- Emplazamiento sobre sitio arqueológico, histórico o de importancia ambiental.
- Emplazamiento en sectores protegidos ambientalmente en cuanto a Flora y Fauna.
- Amenazas a especies en alguna categoría de conservación.
- Emplazamiento cercano a sitios poblados.
- Alteración de cauces.
- Alteración de condiciones hidráulicas para bocatomas de sectores aguas abajo.
- Emanaciones de polvo, tanto en faena como en transporte.
- Emisión de ruido, tanto en faena como en transporte.
- Emisión de gases, tanto en faena como en transporte.
- Emisión de riles o contaminación difusa por derrames de contaminantes.
- Emisión de residuos sólidos.
- Afectación de sectores agrícolas por emanaciones de cualquier tipo.
- Daños en caminos.
- Afección la calidad de aguas.

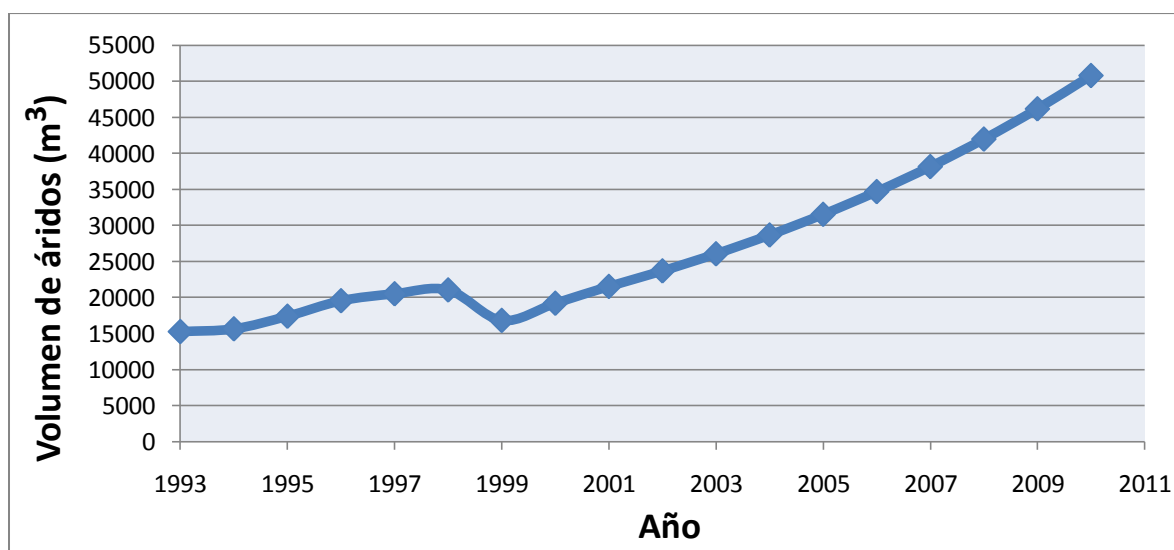
Estos impactos se ven directamente relacionados con la demanda de áridos, a continuación se detalla el consumo estimado de áridos en el país.

Tabla 2: Consumo estimado de áridos en el país.

Año	Consumo estimado de áridos en el país según consumos de pitch asfáltico (miles de m <sup>3</sup> ).	Consumo estimado de áridos en el país según consumos de cemento (miles de m <sup>3</sup> ).	Consumo estimado totales de áridos en el país (miles de m <sup>3</sup> ).
1993	998	14.288	15.286
1994	1.496	14.167	15.663
1995	1.945	15.472	17.417
1996	2.394	17.169	19.563
1997	2.693	17.836	20.529
1998	2.793	18.267	21.060
1999	2.494	14.342	16.836
2000	2.743	16.473	19.216
2001	3.017	18.532	21.549
2002	3.319	20.385	23.704
2003	3.651	22.424	26.075
2004	4.016	24.666	28.682
2005	4.418	27.133	31.551
2006	4.860	29.846	34.706
2007	5.346	32.830	38.176
2008	5.880	36.113	41.993
2009	6.468	39.725	46.193
2010	7.115	43.697	50.812

Fuente: Industria del árido en Chile. Convenio MOP – MINVU – C.Ch.C (2001).

En los últimos años la demanda de áridos ha presentado un continuo crecimiento, lo cual se aprecia en la **Figura 3**.



**Figura 3. Proyección de uso de áridos en el país.**

Fuente: Industria del árido en Chile. Convenio MOP – MINVU – C.Ch.C.

### **2.1.2. Características del árido reciclado**

La principal diferencia existente entre un árido reciclado del hormigón y un árido natural, radica en la cantidad de mortero adherido al árido chancado, debido a la procedencia de éste. El mortero adherido modifica las propiedades iniciales del árido, manifestándose en un aumento de la absorción de agua, menor densidad, menor resistencia, menor dureza y una menor resistencia a la desfragmentación.

La absorción de agua en áridos reciclados se ve muy por encima de los valores de un árido en condiciones naturales, esto debido al mortero existente. En áridos naturales, la absorción de agua varía entre un 0% a un 4%, mientras que en un árido reciclado oscila entre un 3,3% y un 13%, según diferentes estudios.

La densidad del árido reciclado se ve disminuida, debido que el mortero adherido es de menor densidad que el árido. La fracción fina es la que menor densidad tiene, debido a la mayor cantidad de mortero adherida que poseen sus partículas por unidad de peso. La densidad se ve directamente relacionada al proceso de producción del árido, el tamaño de las fracciones obtenidas y a su grado de contaminación, aunque hoy en día, existen una gran variedad de dispositivos para la eliminación de los contaminantes.

La granulometría del árido reciclado va a depender del tratamiento de chancado utilizado en su producción inicial y los tiempos de tratamiento, dependiendo de éstos, se puede llegar a producir un material con una granulometría deseada. El proceso de producción, se puede realizar mediante el uso de trituradora por impacto, trituradora de cono y machacadoras de mandíbulas.

Durante el procesamiento del material, independiente del equipo de producción, se logra generar mayor cantidad de áridos finos y finos que en el procesamiento de árido natural.

En cuanto a su textura y forma, el árido reciclado posee una textura más rugosa que la de los áridos naturales y presenta mayor porosidad. El coeficiente de forma no presenta mayor variación.

### **2.1.3. Importancia del árido reciclado**

La industria de la construcción es una de las actividades industriales que tienen mayor importancia para el desarrollo de los pueblos, sin embargo, es a su vez una de las actividades que más impactos provoca en el ambiente.

Uno de los aspectos de mayor preocupación es la cantidad y volumen de desechos que se generan con la construcción de nuevas obras, y principalmente con las demoliciones y remodelaciones de estructuras antiguas. Este tipo de desechos está directamente relacionado con el crecimiento demográfico y el estilo de vida de los individuos, pues aspectos tales como el mejoramiento de la calidad de vida, el desarrollo de gran cantidad de construcciones y los progresos tecnológicos han originado un aumento progresivo y no controlado del volumen de desechos producidos principalmente en el entorno urbano.

## **2.2. Microaglomerados en frío**

### **2.2.1. Introducción**

Los microaglomerados en frío o también llamados micropavimentos se definen de manera general como una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado mineral, filler, agua y otros aditivos, en proporciones adecuadas según especificación, mezclados y aplicados sobre una superficie preparada de acuerdo con una especificación.

Esta mezcla debe ser capaz de ser aplicada en secciones longitudinales con espesores variables (surcos, desniveles, cursos y superficies fresadas) el cual, después de curar y una consolidación inicial con tránsito, resista la compactación a través del entero rango de tolerancia de diseño de contenido de bitumen y espesor variable que es encontrado. El producto final deberá mantener una superficie resistente a la fricción (alto coeficiente de fricción en mojado) en secciones de espesores variables a través de la vida útil del micropavimento.

## 2.2.2. Composición de los microaglomerados en frío

### 2.2.2.1. Árido

El árido es parte importante de los micropavimentos, éste provee un esqueleto mineral, resiste la abrasión producida por el tránsito automotor y le brinda una adecuada resistencia al deslizamiento.

El árido representa  $\frac{3}{4}$  partes de la mezcla, y debe presentar las siguientes características:

- **Limpio:** No debe poseer materiales orgánicos o cualquier sustancia perjudicial como los finos, debido que dificultan la unión con el ligante, le otorgan mayor absorción y modifican las propiedades de las emulsiones.
- **Angulares:** Para lograr mejores características mecánicas, se debe utilizar material con partículas 100% chancadas, por lo que se debe evitar partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales para la mezcla.
- **Durables:** Esta característica es esencial cuando el agregado va a estar expuesto a los efectos de la abrasión causada por el tráfico de autos, por lo cual el objetivo es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste.
- **Bien graduado:** La granulometría depende de la utilización que se le dé y de las solicitaciones de tráfico a las cuales se encuentren expuestas. Para micropavimentos los áridos deben cumplir con las bandas Tipo B-1 o Tipo C-1 de la Tabla 3.

Tabla 3. Granulometría para microaglomerados en frío.

Tamiz		BANDAS GRANULOMETRICAS PORCENTAJE EN PESO QUE PASA; %					
mm	ASTM	TIPO A-1		TIPO B-1		TIPO C-1	
25	1"						
20	3/4"						
12,5	1/2"						
10	3/8"			100	100	100	100
4,7	Nº 4	100	100	85	95	70	90
2,3	Nº 8	85	95	62	80	45	70
1,25	Nº 16	60	80	45	65	28	50
0,63	Nº 30	40	60	30	50	18	34
0,315	Nº 50	25	42	18	35	12	25
0,16	Nº 100	15	30	10	24	7	17
0,08	Nº 200	10	20	5	15	5	11

Fuente: Volumen 5, Manual de Carreteras.

Las aplicaciones recomendadas para cada tamaño de áridos son las siguientes:

**Tipo B-1:** Este tipo de micropavimento más usado para pavimentos con tráfico moderado o pesado, se utiliza para sellar, proteger la superficie subyacente del envejecimiento, corregir desintegración moderada de la superficie y mejorar la resistencia al deslizamiento.

**Tipo C-1:** Este tipo de micropavimento es aplicado en vías sujetas a altas solicitaciones de tráfico, se utiliza para corregir imperfecciones severas de los pavimentos, con altas tasas de aplicación, consiguiendo elevados valores de fricción superficial mejorando notablemente la resistencia al deslizamiento.

### 2.2.2.2. Emulsión Asfáltica

Las emulsiones asfálticas son una dispersión de dos fases inmiscibles que al incorporarle una pequeña cantidad de un agente activador de superficie, tenso activo o emulsificante, forma un sistema heterogéneo. El emulsificante mantiene estable el sistema de las fases continuas, que es el agua, y discontinua que son los pequeños glóbulos de asfalto en suspensión, de tamaño entre 1 y 10 micrones.

El agente emulsificante forma una película protectora alrededor de los glóbulos de asfalto otorgándole una determinada polaridad en la superficie, lo que hace que estos se repelan, manteniéndolos estables. Al hacer contacto una emulsión con un agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión llevando a las partículas de asfalto a unirse con el agregado. El agua fluye o se evapora separándose de las piedras recubiertas por el asfalto.

Las características más importantes de las emulsiones son:

- **Polaridad:** El emulsificante le confiere una determinada carga eléctrica a la emulsión, la cual puede ser de polaridad negativa o positiva. Las de carga negativa toman el nombre de aniónicas, y las cuales son a fin con áridos con carga positiva, mientras que las de carga positiva son llamadas catiónicas, y son afines con áridos de cargas negativas.

En su nomenclatura las emulsiones se identifican por una serie de números y letras, la polaridad le otorga en el encabezado letra "C" a una emulsión catiónica, mientras que su ausencia identifica una aniónica.

- **Rotura:** Esta propiedad determina la velocidad en que se produce la separación del cemento asfáltico del agua. En este proceso de desestabilización, la emulsión va perdiendo agua, por lo que pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discontinua. De esta forma las pequeñas gotas de agua al interior del asfalto son eliminadas cuando se deposita la capa de asfalto.

Dependiendo de la velocidad del quiebre, las emulsiones se clasifican en; emulsiones de quiebre rápido RS (Rapid-Setting), de quiebre medio MS (Medium-Setting), quiebre lento SS (Slow-Setting) y de quiebre controlado QS

(Quick-Setting). En particular, para micropavimentos se utilizan solo emulsiones de quiebre controlado.

- **Viscosidad:** Esta propiedad caracteriza la resistencia de un fluido a desplazarse. Está controlada por la cantidad y tipo de asfalto, temperatura y tipo de emulsificante, por lo cual se puede controlar aumentando o disminuyendo la cantidad de asfalto o cambiando el tipo de emulsificante.  
En la nomenclatura de emulsiones, hay números que indican la viscosidad relativa, a mayor número mayor viscosidad. Además de la letra “h” que indica que la base asfáltica es más consistente (“hard” o dura) y la letra “s” que indica una base más blanda (“soft” o blanda).
- **Polímeros:** La adición de polímeros típicamente incrementa la rigidez del asfalto y mejora su susceptibilidad a cambios de temperaturas. Este incremento de rigidez incrementa la resistencia a ahuellamiento en climas cálidos y además permite el uso de emulsiones blandas, la cual provee mejor comportamiento a bajas temperaturas. Las emulsiones con polímeros presentan mejoras en las propiedades de cohesión y adherencia.  
Para microaglomerados es requisito la utilización de emulsiones con polímeros.

### 2.2.2.3. Agua

En microaglomerados, el agua es el principal factor para determinar la consistencia de la mezcla. Ésta proviene de tres fuentes: la humedad propia de los áridos, agua de mezclado y como uno de los principales constituyentes de las emulsiones. La trabajabilidad está directamente relacionada con la cantidad de agua en la mezcla. Para mezclas de microaglomerados, la cantidad de agua fluctúa en el rango del 4 al 12 % respecto al peso seco del agregado. Las mezclas con bajo contenido de humedad resultan complejas para la dispersión y colocación, mientras que un exceso de humedad resulta perjudicial pues favorece la segregación y aumentan los plazos de cohesión.

Generalmente se utiliza agua potable en la elaboración de los micropavimentos.



### 2.2.3. Uso de micropavimentos

Los micropavimentos son una técnica que hoy en día presenta variadas aplicaciones debido a las grandes propiedades que le otorga a las carpetas existentes, entre las que se destacan son las siguientes:

- **Protección:** utilizada como una técnica de mantenimiento preventivo, ya que se logra poco o ningún incremento estructural, sino, solo provee una nueva capa de desgaste, protegiendo las capas inferiores del pavimento. Esta capa puede retardar el deterioro de la carpeta asfáltica sellando grietas superficiales mayores, rejuveneciendo e impermeabilizando la superficie.
- **Retardar aplicaciones de rehabilitación:** la utilización de este producto, preserva y mejora las condiciones funcionales, logrando posponer la rehabilitación o reconstrucción de los pavimentos originales, los cuales resultan ser de mucho mayor costo, dificultad de aplicación y de tiempo de apertura al tráfico.
- **Seguridad:** permite mejorar las características de fricción superficial, siendo usado como sello superficial para corregir irregularidades tales como pérdida de propiedades anti-derramantes, oxidación y desprendimientos en pavimentos.
- **Apariencia y calidad de la superficie:** corrige los deterioros superficiales como la pérdida de árido grueso y fino, cubriendo irregularidades y otorgando superficies uniformes, aportando valor estético al pavimento.
- **Corrección de deformación:** la aplicación de micropavimentos, puede ser utilizada como técnica de mantenimiento correctiva, debido a su capacidad de corregir el ahuellamiento de hasta 50 mm.

#### 2.2.4. Ventajas frente a mezclas en caliente

El continuo desarrollo de la tecnología de las emulsiones asfálticas, manifestado en la mejora del comportamiento de los ligantes, el conocido problema energético, junto a la necesidad de economizar en materias primas y el gran inconveniente de la contaminación, hacen que la tecnología de las mezclas bituminosas en frío sigan una gran tendencia hoy en día en la conservación de carreteras.

El mejoramiento en el desempeño mecánico de estas mezclas hace que los microaglomerados resulten ser la gran alternativa frente al mantenimiento y conservación de pavimentos asfálticos, debido a las grandes ventajas en aplicación en usos viales, rápida apertura al tráfico y sobre todo por el bajo impacto ambiental que presenta en comparación a las mezclas producidas en caliente. A continuación, se detallan las principales ventajas que presenta el uso de esta mezcla en frío:

- **Versatilidad ante climas y materiales:** Para la confección de mezclas en caliente, se requiere el precalentamiento de los áridos a temperaturas muy elevadas, lo que produce un costo energético y contaminación. En cambio en las mezclas con emulsiones asfálticas, los áridos se utilizan húmedos y a temperatura ambiente.

La utilización de emulsiones asfálticas descarta el uso de activantes, los cuales incrementan la adhesividad, incluso en presencia de humedad, y además permite el uso de áridos silicios, los que presentan mejor comportamiento mecánico.

La amplia gama de emulsiones disponibles en el mercado, otorga una gran trabajabilidad en los áridos, incluso en épocas de invierno o en zonas con climas húmedos.

- **Ahorro energético:** El ahorro energético es la principal ventaja frente al uso de mezclas calientes, debido que en la construcción de pavimentos asfálticos en caliente, se requiere un gran gasto energético para el calentamiento del árido, calentamiento del asfalto, mezcla árido-asfalto y para las operaciones de transporte y de colocación, lo que en micropavimento se ahorra debido que todo el proceso se realiza a temperatura ambiente.

En una planta, la energía usada en secar y calentar áridos es la siguiente:

Tabla 4. Energía usada en secar y calentar áridos húmedos.

Porcentaje de humedad del árido	3%	5%	7%
Consumo de combustible [kg/t]	6.5	8.5	10

Fuente: Tecnología en emulsiones asfálticas – slurry seal y micropavimentos. Universidad Nacional de Ingeniería.

A estos altos valores de consumo energético, se les debe adicionar el consumo en el transporte considerando las distancias, manipulación, compactación, etc. La energía consumida en la fabricación de emulsiones es muy pequeña, comparable a la energía utilizada para calentar el ligante de las mezclas asfálticas en caliente.

- **El medio ambiente:** La utilización de emulsiones asfálticas, presenta gran ventaja comparativa frente al uso y preparación de mezclas asfálticas en caliente, en cuanto a problemas del cuidado del medio ambiente. Las principales ventajas son:
  - No genera gases de combustión debido al calentamiento de ligante y áridos, mediante quemadores de combustibles en plantas de asfaltos.
  - No se produce emanación de gases de los cementos asfálticos desde tanques de almacenamiento o calefacción, de las cisternas de transporte y los producidos durante la extensión y compactación de las mezclas.
  - No libera polvo al medio ambiente producto del funcionamiento de los secadores en las plantas asfálticas en caliente.
  - El uso de emulsiones elimina casi por completo los riesgos de enfermedades en el personal que se encuentra en inmediaciones de la obra, como también de operadores, los cuales se encuentran sometidos a la agresión de una serie de compuestos nocivos.

### **2.3. Experiencias previas**

Existen varias publicaciones sobre uso del árido reciclado de hormigón, en su gran mayoría destinadas a la reutilización de este material como un nuevo agregado para nuevos hormigones. En la literatura, no se ha encontrado disponible estudios donde se incorpore este tipo de material a mezclas asfálticas, encontrándose lo más cercano, experiencias narradas por laboratoristas.

En el proyecto de reposición Ruta 68, sector Túnel Zapata-Cruce Viña del Mar, Chile, 1993-1994. Realizado por la empresa Constructora B.C.F. Asociados, se empleó material reciclado de hormigón para la fabricación de mezclas en caliente, destinadas como base asfáltica y capa intermedia. (Información obtenida de Luis Duque, Jefe de laboratorio de asistencia técnica en IDIEM)

Estudios internacionales aceptan la utilización de escoria o agregados artificiales para la fabricación de mezclas densas en frío, según estudios propuestos por el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Thessaloniki de Grecia, en el nuevo método de diseño para mezclas densas en frío. Este método posee un procedimiento que se basa en una modificación del método Marshall y el cual presenta varios criterios de diseños.

Otra alternativa de reciclado, es la reutilización del pavimento asfáltico. Esta técnica de reciclado en frío, posee un muy buen comportamiento y presenta la ventaja de poder ser fabricado tanto en planta como in-situ, abaratando de gran manera los costos de producción.

Para micropavimentos, no existen publicaciones previas donde se describa la utilización de áridos reciclados en su fabricación, sin embargo existen estudios comparativos de áridos chilenos, para el uso en lechadas asfálticas como método de mantención de carreteras nacionales.

- Mantención de la Carretera del cobre, Rancagua, Chile. 1991  
Ubicada a 125 km al sudeste de Santiago, corresponde a la primera carretera nacional, a la cual se le haya implementado una mantención con lechadas asfálticas. En los años 1996-1998 se utilizaba un agregado de tamaño máximo 3/8" con una emulsión asfáltica catiónica elastomérica de quiebre controlado.

Hoy en día es una técnica muy utilizada para la mantención de las autopistas nacionales.

- Reposición de Pavimento Ruta 5 Norte, tramo Los Vientos – Rosario – Varillas, Taltal, Chile. 2008  
Realizado por la empresa constructora Fe Grande S.A. El proyecto consideró la reposición del pavimento, a través del reciclado del pavimento existente con asfalto espumado, una nueva carpeta de asfalto, el ensanche de bermas y la pavimentación de éstas con concreto asfáltico. Finalmente sobre las carpetas la aplicación de un micropavimento en 7 m de ancho.

## **Capítulo 3. Programa Experimental**

### **3.1. Introducción**

Los grandes volúmenes de hormigón desechado junto a la gran demanda de material pétreo, hacen propicio el estudio de la incorporación de este tipo de materiales, los cuales no presentan las mejores características en su estructura, pero a la vez ostenta la gran ventaja que en su composición posee el principal aditivo de este tipo de materiales, como lo es el cemento.

A continuación se analizará el comportamiento del árido reciclado al ser utilizado como material pétreo en la fabricación de micropavimentos, frente a la conducta de un micropavimento elaborado con material natural.

### **3.2. Variables a estudiar**

Para la confección de la mezcla con árido reciclado, se utilizarán emulsiones de quiebre controlado con polímeros, que se encuentren presentes en el mercado. De forma que sean comparables los resultados obtenidos entre el árido natural y el de árido reciclado, se utilizará una granulometría similar a la del árido natural, debido que se trata de un árido de buenas características y el que se ha utilizado para trabajos similares.

### **3.3. Diseño del micropavimento**

#### **3.3.1. Cálculo óptimo teórico**

##### **3.3.1.1. Caracterización de áridos**

Debido que los áridos a utilizar son provenientes del reciclado de probetas de hormigón, se requiere realizar una completa caracterización del material, pues no se conocen sus principales propiedades.

Los principales ensayos que se realizarán tanto al árido natural como al reciclado son:

- Granulometría, M.C Vol. 8 8.102.1 (LNV 105)
- Densidad aparente, M.C. Vol. 8 8.202.19 (LNV 67)
- Densidad real, M.C. Vol. 8 8.202.20 (LNV 68) – M.C. Vol. 8 8.202.21 (LNV 69)
- Densidad neta, M.C. Vol. 8 8.202.20 (LNV 68) – M.C. Vol. 8 8.202.21 (LNV 69)
- Absorción de agua, M.C. Vol. 8 8.202.20 (LNV 68) – M.C. Vol. 8 8.202.21 (LNV 69)
- Cubicidad, M.C. Vol. 8 8.202.6 (LNV 3)
- Índice de plasticidad, M.C. Vol. 8 8.102.4 (LNV 90)
- Equivalente de arena, M.C. Vol. 8 8.202.9 (LNV 71)
- Desgaste Los Ángeles, M.C. Vol. 8 8.202.11 (LNV 75)
- Índice de trituración, M.C. Vol. 8 8.202.8 (LNV 7)
- Desintegración por Sulfato de Sodio, M.C. Vol. 8 8.202.17 (LNV 74)
- Azul de metileno, ISSA T.B N°145
- Adherencia Riedel-Weber, M.C. Vol. 8 8.302.30 (LNV 10)
- Adherencia Método Estático, M.C. Vol. 8 8.302.29 (LNV 9)

### **3.3.1.2. Caracterización emulsión**

Es necesario caracterizar la emulsión para conocer el cumplimiento de los requisitos que presenta una mezcla de micropavimentos según manual de carreteras. A continuación el listado de los ensayos:

- Viscosidad Saybolt Furol (25° C), M.C. Vol. 8 8.302.12 (LNV 39)
- Sedimentación (7 días), M.C. Vol. 8 8.302.5 (LNV 42)
- Tamizado, M.C. Vol. 8 8.302.5 (LNV 42)
- Carga de Partícula, M.C. Vol. 8 8.302.5 (LNV 42)
- Viscosidad Brookfield (60°C), M.C. Vol. 8 8.302.24
- Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0.1 mm, M.C. Vol. 8 8.302.3 (LNV 34)
- Punto de Ablandamiento, M.C. Vol. 8 8.302.16 (LNV 48)
- Ductilidad (25°C), M.C. Vol. 8 8.302.8 (LNV 35)
- Índice de Fraass, M.C. Vol. 8 8.302.17 (LNV 182)

- Recuperación Elástica por Torsión (%), NLT 329/91
- Recuperación Elástica, 13°C, 20 cm, 1h, M.C. Vol. 8 8.302.19

### **3.3.1.3. Óptimo teórico**

Para determinar un óptimo teórico tentativo se utiliza la fórmula de Hveen, la que se basa en los siguientes parámetros:

- Área Superficial, M.C. Vol. 8 8.302.35 (LNV 47)
- Equivalente Centrífugo de Kerosene (ECK), M.C. Vol. 8 8.302.35 (LNV 47)

### **3.3.2. Obtención óptimo de diseño**

#### **3.3.2.1. Confección de probetas**

Para determinar la cantidad de agua de pre mezcla en la confección de probetas será necesario realizar el siguiente ensayo:

- Consistencia de mezcla asfáltica, M.C. Vol. 8 8.302.45

#### **3.3.2.2. Ensayo probetas**

Para determinar el óptimo de diseño, se le deben realizar los ensayos mostrados a continuación:

- Desgaste por Abrasión Medio Húmedo (1 hora sumergida en agua) (AMH), M.C. Vol. 8 8.302.46
- Adhesión de Arena (Sa), M.C. Vol. 8 8.302.53
- Ensayos complementarios



### **3.3.2.3. Óptimo de diseño**

Se realiza un gráfico que contiene los resultados entregados por el ensayo de abrasión y por el de adhesión de arena. Encontrando el óptimo del diseño de la mezcla.

### **3.3.3. Ensayo al óptimo de diseño**

Al óptimo de diseño determinado, se le realizan los siguientes ensayos:

- Desgaste por Abrasión Medio Húmedo (6 días sumergido) (AMH), M.C. Vol. 8 8.302.46
- Cohesión húmeda, ISSA TB-139

### **3.3.4. Programa de ensayos**

El programa de ensayos de este trabajo se divide en dos etapas fundamentales que son la caracterización del árido reciclado de hormigón y el comportamiento de éstos al ser utilizados en el diseño de un micropavimento.

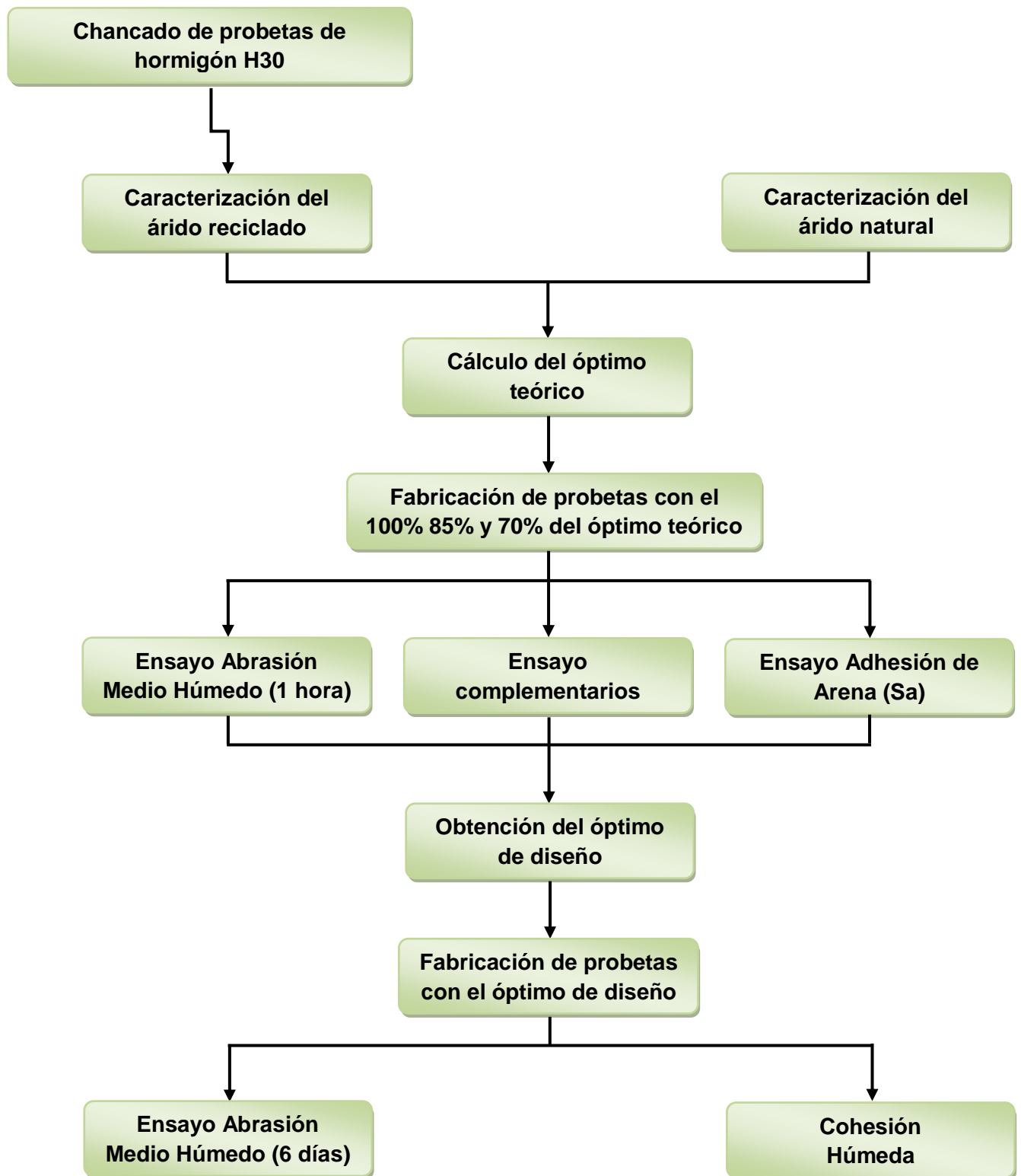
El árido fue obtenido de la trituración de probetas de hormigón H30, las cuales se chancaron en la planta de áridos Quilín, su posterior caracterización y diseño serán realizados en los laboratorios de IDIEM. El ensayo de ECK, será realizado en el laboratorio de EUROCALIDAD S.A. quienes cuentan con los equipos necesarios.

Para el estudio se utilizarán emulsiones presentes en el mercado, que cumplen con los requisitos de diseño y además presentan compatibilidad con el árido.

Para determinar el óptimo de diseño de cada set de muestras, se considerarán diferentes contenidos de emulsión, correspondiente al 100%, 85% y 70% del contenido de emulsión teórico obtenido, en casos en que no se pueda determinar tentativo óptimo de diseño, se realizarán ensayos con el 55% o 115% según corresponda. Para cada contenido, se realizarán 3 probetas para cada uno de los ensayos, el resultado será el promedio de éstos.

Para el estudio de la cohesión, se realizarán medidas del par de torsión, en los siguientes intervalos de tiempo: 30 – 60 – 90 – 120 minutos después del enmoldado.

A continuación se presenta un diagrama de flujo del programa de ensayos:



## Capítulo 4. Diseño de micropavimentos

### 4.1. Materiales

#### 4.1.1. Árido

##### 4.1.1.1. Obtención del árido reciclado

Para el chancado y la obtención del árido reciclado, se utilizaron probetas cúbicas de hormigón H30, debido a que no requiere un tratamiento para retirar armaduras y a su alta resistencia. Estas probetas son fabricadas por el laboratorio de hormigones de IDIEM para ensayos de compresión y posteriormente ser desechadas.

Estas probetas desechadas fueron recolectadas logrando un volumen aproximado a 80 m<sup>3</sup>, las cuales fueron transportadas hasta la planta de áridos de la empresa Pavimentos Quilín, ubicada en la comuna de Peñalolen, donde fueron chancadas.



**Figura 4. Vaciado de los cubos de hormigón en el chancador primario.**

El proceso consistió en primera parte, en introducir las probetas en un chancador primario de mandíbula, el que desintegró gran parte de éstas. A continuación el material

fue pasado por una malla de 12,5 mm ½" donde el material que quedó retenido fue enviado a un chancador secundario de cono, mientras que el material que pasó, fue acopiado, logrando un material chancado menor a ½".



**Figura 5. Chancado de probetas.**



**Figura 6. Vista de la planta de áridos.**

El material se mantuvo por algunos meses en las canchas de acopio de la planta Quilín, para finalmente ser trasladado a las instalaciones de IDIEM en Cerrillos, permaneciendo expuesto a los efectos de vientos y precipitaciones. Estas condiciones no resultan ser las más favorables, para mantener la granulometría inicial del chancado, debido que se produce perdidas del material fino.



**Figura 7. Acopio de árido reciclado en Planta Quilín.**



**Figura 8. Acopio de árido reciclado en dependencias de IDIEM en Cerrillos.**

#### 4.1.1.2. Caracterización árido reciclado y natural

El estudio de caracterización y posterior diseño, se realiza según lo dispuesto en las Normas Chilenas vigentes o bien en normas internacionales especificadas a continuación.

- **Granulometría, M.C. Vol. 8 8.102.1 (LNV 105):** Este método determina, mediante el tamizado del árido, la distribución de las partículas mayores al tamiz N°200 (0,08 mm) de una muestra.
- **Densidad aparente, M.C. Vol. 8 8.202.19 (LNV 67):** Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.
- **Densidad real, M.C. Vol. 8 8.202.20 (LNV 68) – M.C. Vol. 8 8.202.21 (LNV 69):** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas del material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
- **Densidad neta, M.C. Vol. 8 8.202.20 (LNV 68) – M.C. Vol. 8 8.202.21 (LNV 69):** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles
- **Absorción de agua, M.C. Vol. 8 8.202.20 (LNV 68) – M.C. Vol. 8 8.202.21 (LNV 69):** Corresponde a un porcentaje de masa de agua con respecto a la del pétreo seco a masa constante, necesaria para llevar el árido de estado seco a estado saturado superficialmente seco.
- **Cubicidad, M.C. Vol. 8 8.202.6 (LNV 3):** Mediante observación, se determinan las partículas chancadas, rodadas y lajeadas en la fracción retenida en el tamiz N°4 (5 mm). Calculando el porcentaje de cada una de las fracciones retenidas.

- **Índice de plasticidad, M.C. Vol. 8 8.102.4 (LNV 90):** Este ensayo caracteriza el comportamiento de los suelos finos, he indica la consistencia del fino según su humedad. Así el límite plástico es cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.
- **Equivalente de arena, M.C. Vol. 8 8.202.9 (LNV 71):** Establece las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los pétreos que pasan por el tamiz N<sup>o</sup>4 (5 mm).
- **Desgaste Los Ángeles, M.C. Vol. 8 8.202.11 (LNV 75):** Este ensayo determina la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2,5 mm, mediante la utilización de la máquina de Los Ángeles.
- **Índice de trituración, M.C. Vol. 8 8.202.8 (LNV 7):** Este ensayo mide la resistencia a la desintegración física de los áridos, mediante la compresión del árido confinado en un molde y sometido a la acción de una carga gradual de compresión.
- **Desintegración por Sulfato de Sodio, M.C. Vol. 8 8.202.17 (LNV 74):** Este ensayo determina la desintegración de los pétreos mediante soluciones de sulfato de sodio. Provee información que ayuda a juzgar la resistencia de los agregados sujetos a la acción climática, particularmente si es que no existe información estadística de los materiales sujetos a las actuales condiciones climáticas.
- **Azul de metileno, ISSA T.B N<sup>o</sup>145:** Este método se utiliza para cuantificar la cantidad de arcillas nocivas del grupo de la esmectita, materia orgánica e hidróxidos de hierro presentes en un agregado, dando así una indicación general de la actividad superficial. Es utilizado como un ensayo complementario al ensayo de equivalente de arena y además es un indicador del comportamiento de la mezcla.



Tabla 5. Comportamiento del árido según valor de azul de metileno.

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7-12	Marginalmente aceptable
13-19	Problemas/Posible falla
≥ 20	Fallado

Fuente: Valor de azul de metileno en agregados finos y en filler minerales.  
Norma INV E- 235 – 07

- **Adherencia Riedel-Weber, M.C. Vol. 8 8.302.30 (LNV 10):** Este procedimiento establece el grado de adherencia de una película de ligante con el agregado, mediante el uso de carbonato de sodio. La adherencia no es una propiedad propia del asfalto, sino del conjunto formado por el asfalto y otros cuerpos, y representa la resistencia opuesta por el asfalto a despegarse del material una vez que se encuentra en contacto con él.
- **Adherencia Método Estático, M.C. Vol. 8 8.302.29 (LNV 9):** Este procedimiento visual, describe el grado de cubrimiento del ligante asfáltico sobre el agregado, después de mantenerse sumergido en agua durante un periodo determinado de tiempo.

A continuación se presenta las granulometrías obtenidas de los áridos a utilizar:

- **Árido Natural:** Corresponde a un polvo roca 3/8”, facilitado por la empresa de áridos Mix-Vial, el cual es extraído desde la rivera del río Cachapoal, ubicado en la Sexta Región.

Tabla 6. Granulometría del árido natural.

TAMIZ		% PASA
ASTM	mm	
1/2"	12,5	
3/8"	10	100
1/4"	6,3	97
Nº 4	4,7	86
Nº8	2,3	57
Nº16	1,25	39
Nº 30	0,63	27
Nº 50	0,315	20
Nº 100	0,16	14
Nº 200	0,08	10,3

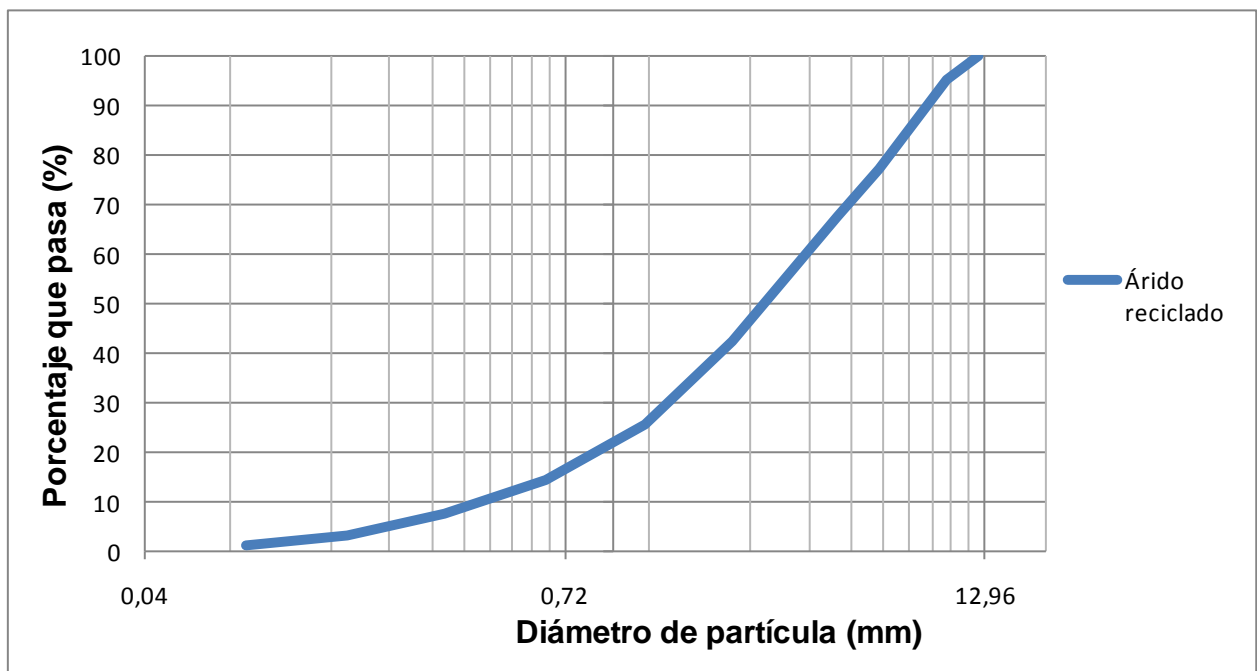


Gráfico 1. Granulometría del árido natural.

- **Árido reciclado:** Corresponde a un polvo roca 1/2", obtenido del chancado de probetas de hormigón H30.

Tabla 7. Granulometría del árido reciclado

TAMIZ		% PASA
ASTM	mm	
1/2"	12,5	100
3/8"	10	95
1/4"	6,3	77
Nº 4	4,7	68
Nº8	2,3	43
Nº16	1,25	26
Nº 30	0,63	14
Nº 50	0,315	8
Nº 100	0,16	3
Nº 200	0,08	1,3

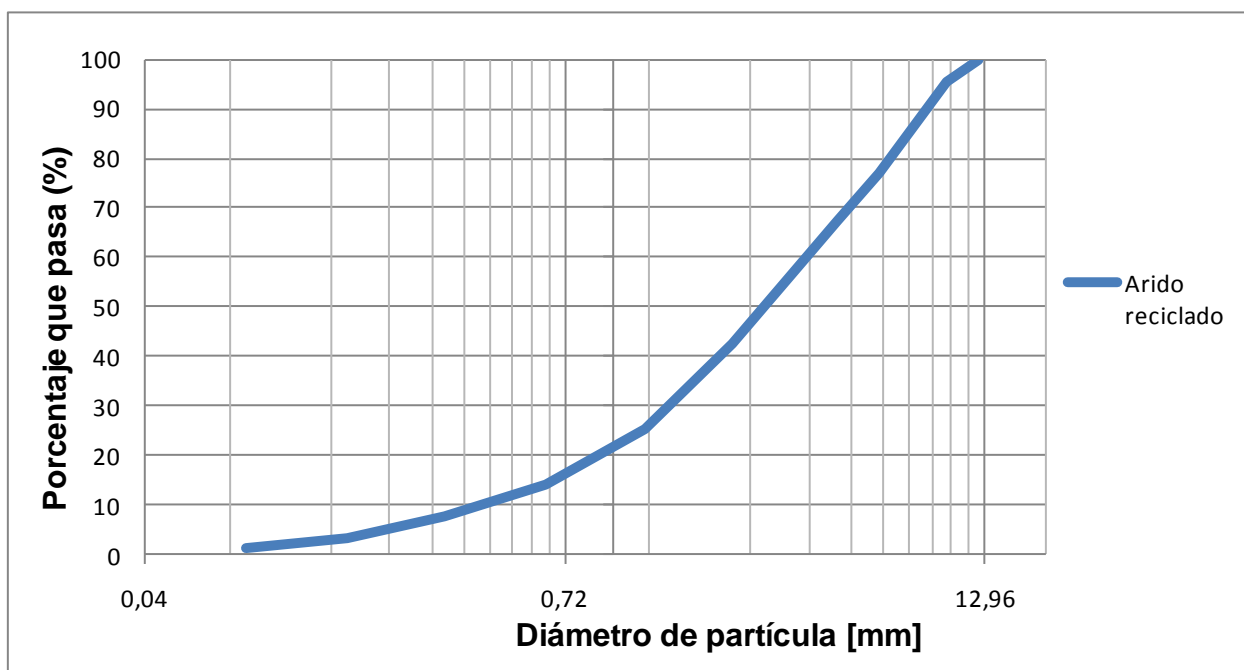


Gráfico 2. Granulometría del árido reciclado.

#### 4.1.1.3. Elección banda granulométrica

De forma que sea comparable el comportamiento de los áridos en el micropavimento, se reproducirá en el árido reciclado una granulometría de similares características a la del árido natural, de esta forma se descartarán posibles errores atribuibles a diferencias granulométricas.

Se considera trabajar el árido reciclado con dos granulometrías similares, considerando en una de ellas, la eliminación del material retenido en malla  $\frac{1}{4}$ " (6,3 mm), debido que no se especifica el requerimiento de éste en el diseño de las bandas.

A continuación se presentan las granulometrías con la cuales se trabajará el árido reciclado:

- **Granulometría árido reciclado, con material en malla 1/4" (Árido Grueso)**

Tabla 8. Granulometría de trabajo del árido reciclado.

TAMIZ		% PASA
ASTM	mm	
1/2"	12,5	
3/8"	10	100
1/4"	6,3	95
Nº 4	4,7	77
Nº8	2,3	55
Nº16	1,25	40
Nº 30	0,63	28
Nº 50	0,315	19
Nº 100	0,16	12
Nº 200	0,08	6,7

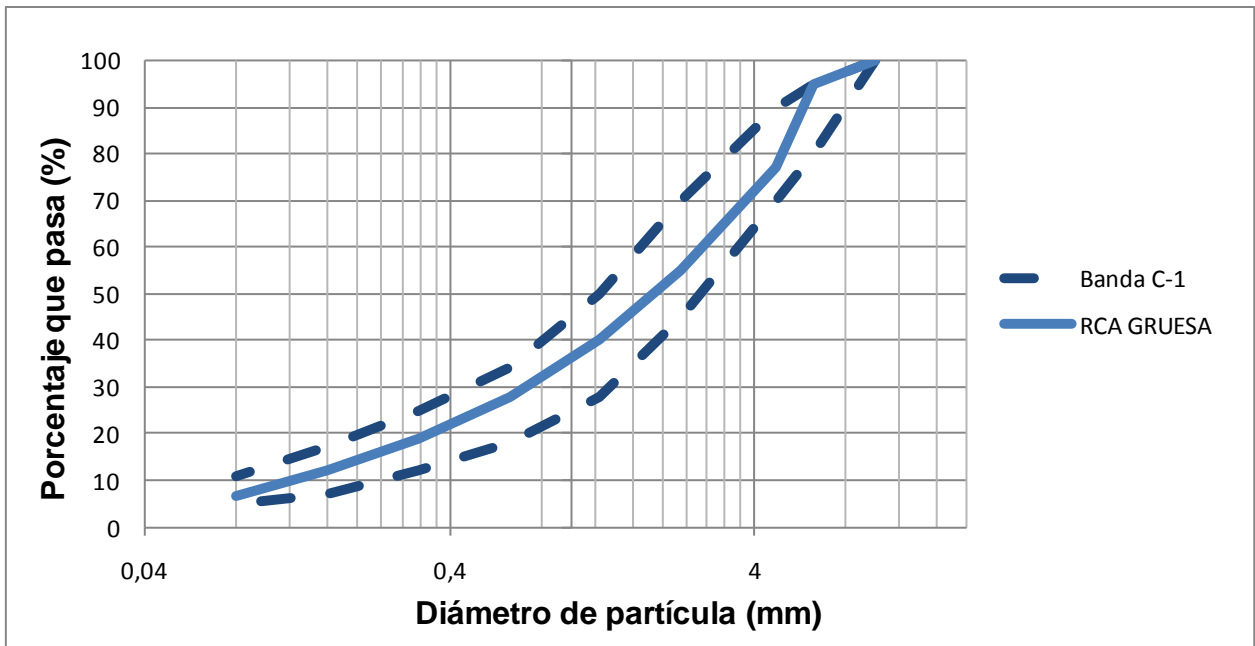


Gráfico 3. Granulometría de trabajo del árido reciclado.

- Granulometría árido reciclado, sin material en malla 1/4" (Árido Fino)

Tabla 9. Granulometría de trabajo del árido reciclado.

TAMIZ		% PASA
ASTM	mm	
1/2"	12,5	
3/8"	10	100
1/4"	6,3	100
Nº 4	4,7	77
Nº8	2,3	55
Nº16	1,25	40
Nº 30	0,63	28
Nº 50	0,315	19
Nº 100	0,16	12
Nº 200	0,08	6,7

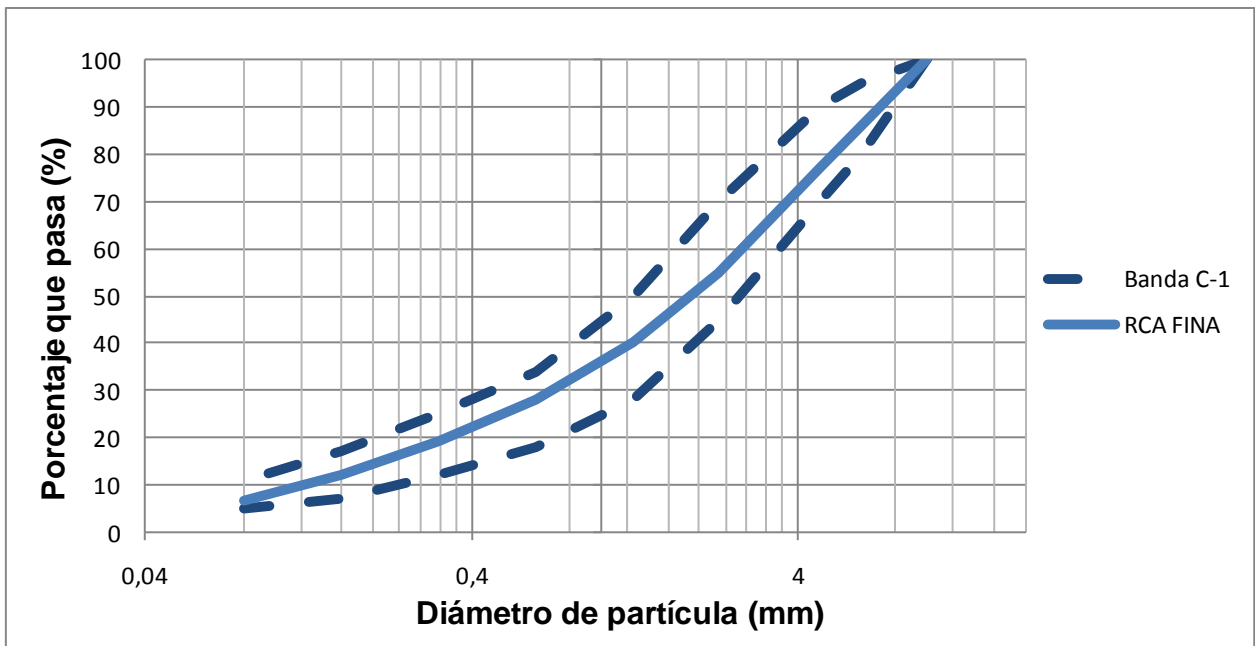


Gráfico 4. Granulometría de trabajo del árido reciclado.

## 4.1.2. Emulsión

### 4.1.2.1. Caracterización emulsión

Las emulsiones facilitadas por las Empresas productoras de asfaltos, presentan sus propios certificados de control de calidad por lo cual no requiere ensayos de caracterización.

En las siguientes tablas se presentan dichos resultados.

- **Emulsión Modificada ERCM, Probisa:** Emulsión catiónica, de quiebre controlado y modificada con polímeros.

Tabla 10. Caracterización de la emulsión ERCM, Probisa.

EMPRESA	PRODUCTOS BITUMINOSOS S.A.
TIPO EMULSIÓN	Emulsión Modificada ERCM
Nº CERTIFICADO	33800

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	41	20-50
SEDIMENTACIÓN, 7 DÍAS (%)	0,2	MÁX. 5%
TAMIZADO	0,05	MÁX. 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	65	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	11200	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	59	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	57	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	95	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-17	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	29	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	-	MÍN. 20%

- **Emulsión Modificada CQS-1H (EW), Química Latinoamericana:** Emulsión catiónica de quiebre controlado, modificada con polímeros y aditivos para obtener un residuo asfáltico con menor susceptibilidad térmica y mayor elasticidad.

Tabla 11. Caracterización de la emulsión CQS-1H (EW), Química Latinoamericana.

EMPRESA	QUÍMICA LATINOAMERICANA S.A.
TIPO EMULSIÓN	Emulsión Modificada CQS-1H (EW)
Nº CERTIFICADO	139

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	49	20-50
SEDIMENTACIÓN, 7 DÍAS (%)	4,5	MÁX 5%
TAMIZADO	0,04	MÁX 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	66,8	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	21300	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	48	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	70	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	40,5	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-17	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	37	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	80	MÍN. 20%



- **Emulsión Modificada CQS-1H (EA), Química Latinoamericana:** Emulsión catiónica de quiebre controlado, modificada con polímeros y aditivos para obtener un residuo asfáltico con menor susceptibilidad térmica y mayor elasticidad.

Tabla 12. Caracterización de la emulsión CQS-1H (EA), Química Latinoamericana.

EMPRESA	QUÍMICA LATINOAMERICANA S.A.
TIPO EMULSIÓN	Emulsión Modificada CQS-1H (EA)
Nº CERTIFICADO	138

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	45	20-50
SEDIMENTACIÓN, 7 DÍAS (%)	-	MÁX 5%
TAMIZADO	0,01	MÁX 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	65,2	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	27900	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	85	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	61	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	45,4	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-17	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	25	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	61,5	MÍN. 20%

- **Emulsión BITUFLEX LC, Asfalchile:** Emulsión asfáltica catiónica, modificada y de quiebre lento. Su base asfáltica se modifica con elastómeros y aditivos, obteniéndose un ligante de mayor rendimiento que los asfaltos convencionales, debido a su mejor comportamiento a altas y bajas temperaturas de servicio.

Tabla 13. Caracterización de la emulsión BITUFLEX LC, Asfalchile.

EMPRESA	ASFALTOS CHILENOS S.A.
TIPO EMULSIÓN	BITUFLEX LC
Nº CERTIFICADO	9020

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	40	20-50
SEDIMENTACIÓN, 7 DÍAS (%)	0	MÁX. 5%
TAMIZADO	0	MÁX. 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	71	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	-	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	66	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	60,5	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	-	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-17	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	-	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	70	MÍN. 20%

- **Emulsión CQS-1H, ENEX:** Emulsión asfáltica catiónica, de quiebre controlado.

Tabla 14. Caracterización de la emulsión CQS-1H, ENEX.

EMPRESA	EMPRESA NACIONAL DE ENERGÍA ENEX S.A.	
TIPO EMULSIÓN	CQS-1H	
Nº CERTIFICADO	7348	

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	29	20-50
SEDIMENTACIÓN, 1 DÍAS (%)	0	MÁX. 5%
TAMIZADO	0	MÁX. 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	66	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	-	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	58	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	-	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	140	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	-	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	-	MÍN. 20%

- **Emulsión CSS-1H, ENEX:** Emulsión asfáltica catiónica, de quiebre lento

Tabla 15. Caracterización de la emulsión CSS-1H, ENEX.

EMPRESA	EMPRESA NACIONAL DE ENERGÍA ENEX S.A.	
TIPO EMULSIÓN	CSS-1H	
Nº CERTIFICADO	8535	

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	35	20-50
SEDIMENTACIÓN, 1 DÍAS (%)	1	MÁX. 5%
TAMIZADO	0	MÁX. 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	64	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	-	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	50	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	-	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	54	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	-	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	-	MÍN. 20%

- **Emulsión CRS-2, ENEX:** Emulsión asfáltica catiónica, de quiebre rápido.

Tabla 16. Caracterización de la emulsión CRS-2, ENEX.

EMPRESA	EMPRESA NACIONAL DE ENERGÍA ENEX S.A.	
TIPO EMULSIÓN	CRS-2	
Nº CERTIFICADO	8551	

ANÁLISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 25°C	164	20-50
SEDIMENTACIÓN, 1 DÍAS (%)	1	MÁX. 5%
TAMIZADO	0	MÁX. 0,1%
CARGA DE PARTÍCULA	POSITIVO	POSITIVA/NEGATIVA
RESIDUO POR EVAPORACIÓN	69	MÍN. 62%

ANÁLISIS AL RESIDUO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
VISCOSIDAD BROOKFIELD (60°C)	-	INFORMAR
PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5seg, (0,1 mm)	130	40-90
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)	-	INFORMAR
DUCTILIDAD (25°C)	150	MÍN. 40 cm
ÍNDICE DE FRASS (°C)	-	MÁX -17°C
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (%)	-	INFORMAR
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 13°C, 20 cm, 1h	-	MÍN. 20%

#### 4.1.2.2. Elección de emulsiones

Se realizaron pruebas de afinidad con todas las emulsiones disponibles, logrando mejores resultados con aquellas emulsiones de quiebre controlado y modificados con polímeros, a continuación se detallan las emulsiones seleccionadas:

- E.A CQS-1H(EA);
- E.A CQS-1H(EW) ;
- E.A.ERCM

En forma particular se estudiará la emulsión E.A. BITUFLEX LC debido que aunque es de quiebre lento, presenta polímeros y es recomendada por el fabricante.

## 4.2. Cálculo del óptimo teórico

Ya determinadas las propiedades de los áridos naturales y reciclados, solo basta establecer mediante un método de trabajo las proporciones y cantidades necesarias de cada uno de los elementos constituyentes, para posteriormente ser ensayadas y analizadas.

Para determinar la cantidad de emulsión teórica necesaria, se utilizará el procedimiento establecido en la sección 8.302.35 del Volumen N°8 del Manual de Carreteras “Método para determinar el contenido de ligante mediante el equivalente centrífugo de kerosene (ECK)”. Este es un método empírico que estima la cantidad porcentual de masa de emulsión necesaria para cubrir las partículas de agregado con un espesor de película asfáltica de 8  $\mu$ , el cual se basa en los siguientes parámetros:

- **Área Superficial, M.C. 8.302.35 (LNV 47):** El cálculo de este parámetro consiste en multiplicar el porcentaje que pasa por cada uno de los tamices por un factor de área superficial, el cual se presenta en la Tabla 17. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** La suma de los productos obtenidos representa el área superficial.

Tabla 17. Factores de área superficial.

Tamiz(mm)	T. Max	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Factor	2	2	4	8	14	30	60	160

- **Equivalente Centrífugo de Kerosene (ECK), M.C. 8.302.35 (LNV 47):** Este procedimiento permite determinar un índice (K), que revela la rugosidad relativa de las partículas y la capacidad superficial basada en la porosidad. Consiste en saturar con kerosene la porción de áridos que pasan por el tamiz N°4 (5mm) y posteriormente centrifugarlos. Se pesa una vez centrifugado y se determina la cantidad de kerosene retenido por porcentaje del árido seco. Si la densidad neta del agregado fino es mayor a 2.700 kg/m<sup>3</sup> se deberá corregir el valor de ECK.



**Figura 9. Centrífuga eléctrica para ensayo del ECK.**

Definidos los parámetros, el contenido de emulsión tentativo se determina con la siguiente fórmula:

$$Et = \frac{0,4346 \times As \times 1000}{\rho_n \times R} + \frac{ECKc}{R}$$

Donde

Et : Contenido de emulsión teórico referido al agregado seco (%).

As : Área superficial del agregado seco (pie<sup>2</sup>/lb).

ECKc : ECK corregido por densidad neta (%).

$\rho_n$  : Densidad neta del agregado (kg/m<sup>3</sup>).

R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

Este resultado debe verificarse en laboratorio, mediante el cálculo de los porcentajes máximos y mínimos obtenidos en ensayos mecánicos.

### 4.3. Obtención óptimo de diseño

El contenido óptimo de emulsión se determina mediante ensayos mecánicos a probetas con diferentes contenidos de emulsión asfáltica respecto del teórico obtenido.

#### 4.3.1. Confección de probetas

La cantidad de agua de premezcla es fundamental para determinar la consistencia de la mezcla, debido que esto le otorgará la trabajabilidad y tiempos de curado, lo que se traducirá en una buena fabricación y puesta en obra.

Para determinar una adecuada consistencia de la mezcla, se utiliza el ensayo del Cono de Consistencia, el cual resulta una buena herramienta para determinar su adecuada trabajabilidad

- **Consistencia de mezclas asfálticas, M.C.8.302.45:** El ensayo consiste en ir variando la cantidad de agua de premezcla, de forma de obtener la cantidad necesaria de agua en la mezcla, que produzca una fluidez entre 2 y 3 cm, una vez que se levanta el molde cónico lleno con mezcla. Esta fluidez se mide en una placa de escurrimiento para ensaye de consistencia.





**Figura 10. Ensaye de consistencia.**

La cantidad de agua total en la mezcla se calcula de la siguiente manera.

$$W = W1 + Et (1 - R)$$

Donde

W : Porcentaje de agua total en la mezcla (%).

W1 : Porcentaje de agua de premezcla referido al agregado seco (%).

Et : Contenido de emulsión teórico referido al agregado seco (%).

R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

### 4.3.2. Ensayos de probetas

Estos ensayos determinan la cantidad mínima de diseño, mediante el ensayo de pérdida por Abrasión por Medio Húmedo (AMH) y el máximo permitido, el cual lo otorga el ensayo de adhesión de arenas (Sa).

- **Desgaste por Abrasión Medio Húmedo (AMH), M.C. 8.302.46:** Este método define la cantidad mínima de emulsión necesaria para obtener un micropavimento con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tráfico.

El procedimiento consiste en ensayar una probeta circular de micropavimento, secada en horno a 60 °C hasta lograr masa constante, la cual se sumerge en un baño de agua a 25 °C durante una hora, para posteriormente ser sometida a la acción abrasiva de un cilindro de goma que roza su superficie en forma orbital. Como resultado del ensaye se obtiene la pérdida de masa que experimenta la probeta.

La pérdida máxima que puede sufrir la probeta es de 540 g/m<sup>2</sup> al estar sumergida durante una hora.

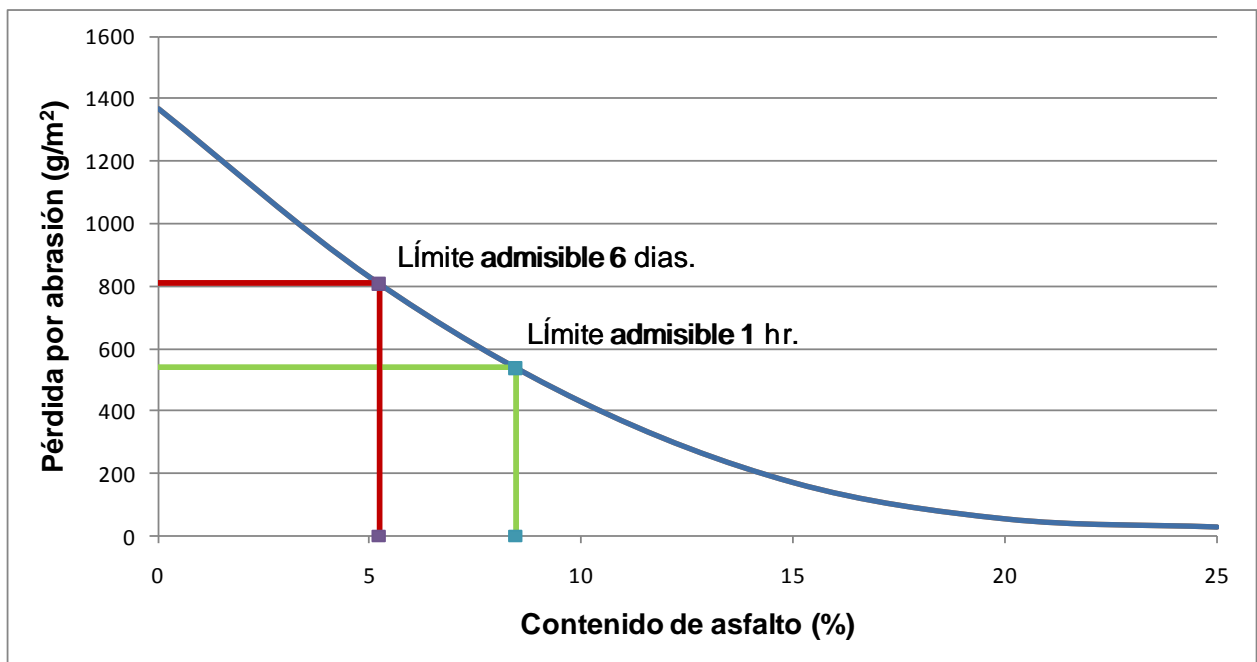


Figura 11. Curva de desgaste mediante el ensayo Abrasión Medio Húmedo.



**Figura 12. Probetas.**

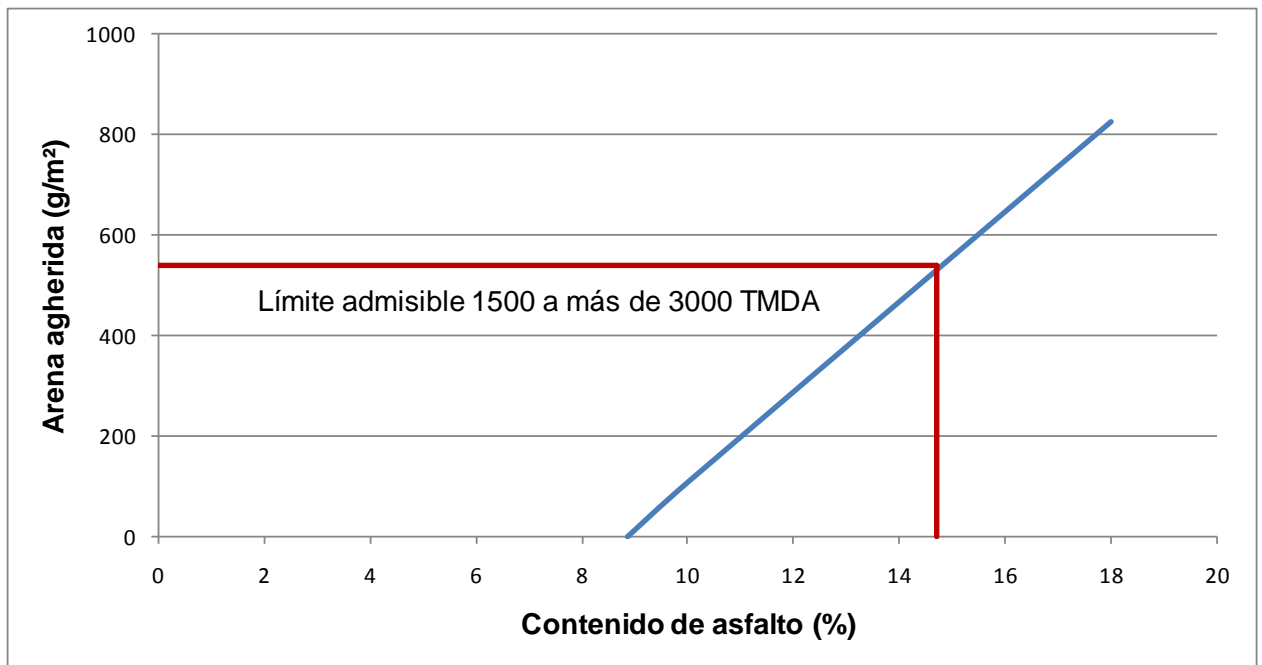


**Figura 13. Probeta en el equipo de ensayo.**

- **Adhesión de arena (Sa), M.C. 8.302.53:** Este método define el porcentaje máximo de ligante en el micropavimento para evitar exudaciones y deformaciones, bajo cargas de tráfico pesado.

El procedimiento consiste en ensayar probetas rectangulares, previamente acondicionadas las cuales se someten al paso repetido de una rueda de goma cargada. Posteriormente se cubren con arena caliente para luego someterlas a nuevos ciclos de carga. La cantidad de arena adherida a la probeta, es un indicador del exceso de ligante que tiene la probeta.

Para microaglomerados se considera una cantidad máxima permisible de arena adherida de  $540 \text{ g/m}^2$ , esto considerando un tráfico medio diario anual de entre 1500 a más de 3000 TMDA.



**Figura 14. Curva de adhesión de arena (Sa).**

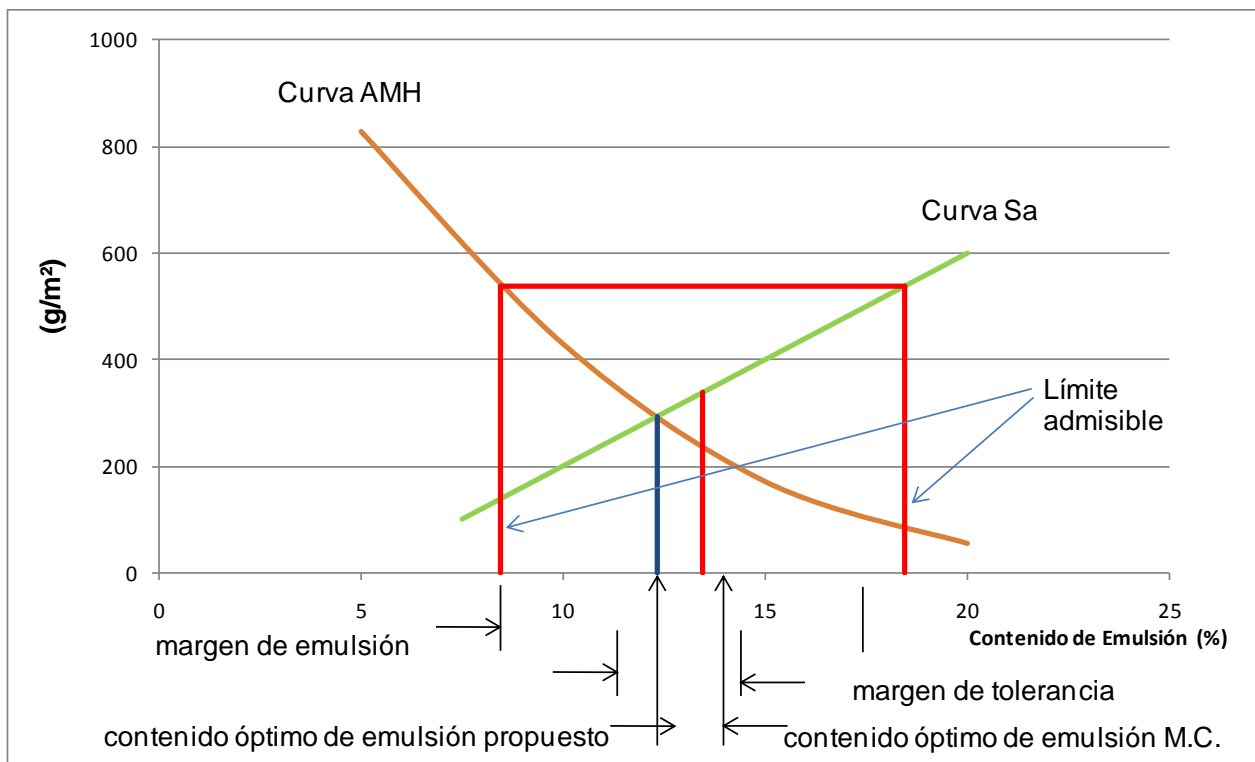


**Figura 15. Probetas de ensaye adhesión de arena.**

- **Ensayos complementarios:** Adicionalmente se realizarán ensayos, que describen el comportamiento físico-químico de la mezcla, estos ensayos son:
  - a) **Desprendimiento, ISSA TB-114.**
  - b) **Desplazamiento lateral, ISSA TB-147.**
  - c) **Tiempo de mezclado (25° C), ISSA TB-113.**

#### **4.3.3. Óptimo de diseño**

Conjugando el porcentaje máximo y mínimo de emulsión dentro de un gráfico, se puede obtener la dosificación óptima del ligante. Si bien el óptimo de emulsión de acuerdo al manual de carreteras se obtiene promediando el máximo permisible determinado por la adhesión de arena y el mínimo determinado por la abrasión por medio húmedo, para este trabajo, se determinará como la intercepción de las curvas, de esta forma nos aseguraremos de lograr un contenido donde tanto la adherencia y la abrasión sean del mismo orden.



**Figura 16. Elección del porcentaje óptimo real de emulsión.**

#### 4.3.4. Ensayo al óptimo de diseño

Una vez determinado el óptimo de la mezcla, es necesario determinarle los tiempos de quiebre y curado, lo cual entregará los plazos de apertura al tránsito, como también su abrasión a un periodo de 6 días sumergido en agua, a continuación se detallan los ensayos a ejecutar:

- **Cohesión húmeda, ISSA TB-139:** El ensayo consiste en la simulación del giro torsional del neumático de un vehículo, que mide el torque necesario para desintegrar una muestra de mezcla, de 6 - 8 mm de espesor por 600 mm de diámetro bajo la acción de un vástago neumático con almohadilla de caucho de 32 mm de diámetro a una presión de 200 kPa.



Figura 17. Equipo utilizado en el ensayo del cohesiómetro.

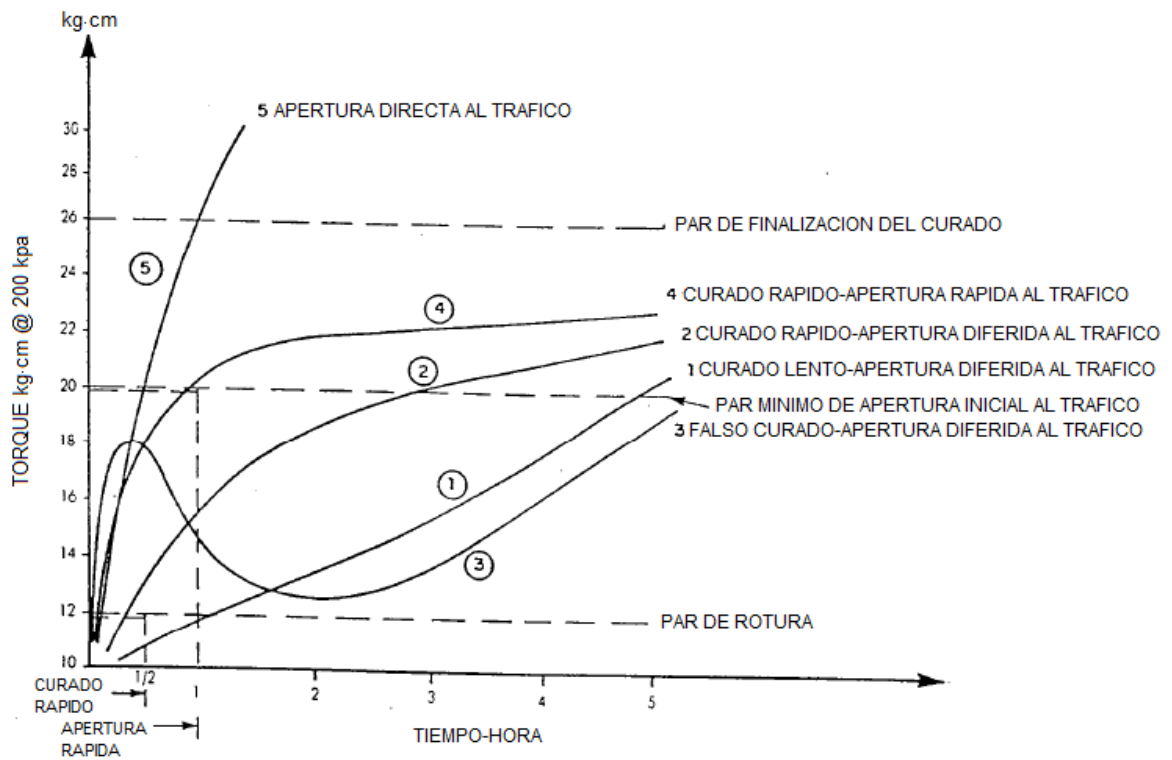


Figura 18. Clasificación de mezclas en función del par de torsión y del tiempo de curado.

Esta curva proporciona información relativa a la evolución de la cohesión de la mezcla, lo que a su vez permite definir los tiempos de apertura al tráfico. Establece una clasificación de acuerdo a las siguientes definiciones:

**Tiempo de rotura:** Es el tiempo que transcurre entre la fabricación de la mezcla hasta que ésta no puede ser remezclada homogéneamente; no se producen desplazamientos laterales al presionar suavemente la muestra con el dedo; no mancha un papel de fieltro colocado y presionado ligeramente sobre la superficie de la mezcla; o, cuando la emulsión ha quebrado y ésta no puede diluirse o arrastrarse al añadir agua a la mezcla. Esto ocurre cuando la torsión alcanza el valor de 12 kg.cm medidos en el torsiómetro.

**Tiempo de apertura al tráfico:** Es el tiempo que se requiere desde que se extiende la mezcla hasta que se pueda permitir el tráfico de vehículos sobre ella sin causar desperfectos en la misma. Este tiempo queda definido por el valor de 20 kg.cm en el torsiómetro.

**Mezcla de curado rápido:** Es la mezcla que alcanza 12 - 13 kg.cm en el par de torsión dentro de los primeros 30 min.

**Mezcla de apertura rápida al tráfico:** Es la mezcla que alcanza 20 - 21 kg.cm en el torsiómetro dentro de los primeros 60 min.

Como anteriormente se mencionó, el requisito que presenta el micropavimento es que sea de curado rápido - apertura rápida al tráfico, lo que implica que requiere valores de 12 - 13 kg.cm a los 30 min y de 20 - 21 kg.cm a los 60 min marcados en el torsiómetro.

- **Desgaste por Abrasión Medio Húmedo (AMH), M.C. 8.302.46 :** Este ensayo presenta las mismas características que las del ensayo ejecutado para determinar el óptimo de diseño, pero con la diferencia, que la probeta se debe mantener sumergida en agua durante un periodo de 6 días, además, la pérdida máxima que puede sufrir es de 807 g/m<sup>2</sup>.



### 4.3.5. Equipos

Los equipos que se emplearán en el estudio, son equipos disponibles en las instalaciones de IDIEM ubicadas en plaza Arcilla, específicamente en el Laboratorio Desarrollo Mezclas Asfálticas. A continuación se describen los equipos principales a utilizar:

- **Máquina de abrasión:** Cuenta de un motor eléctrico capaz de hacer girar mediante un sistema planetario, a un eje vertical de ensayo con un doble movimiento, de rotación y circular de traslación. En el extremo inferior de dicho eje va montado el cabezal de abrasión, que roza directamente sobre la probeta. El equipo está diseñado para proporcionar al cabezal de abrasión una velocidad de rotación aproximada de 15 rad/s (144 RPM) en 61 vueltas completas del sistema planetario, mientras actúa sobre la probeta con una fuerza vertical constante de 22,3 N (2,27 kgf); para asegurar la constancia de esta fuerza sobre la probeta durante todo el ensayo, el eje del cabezal deberá tener un recorrido libre vertical de 12,7 mm.



Figura 19. Equipo de ensayo.

- **Máquina de rueda de carga:** Cuenta de un motor eléctrico capaz de mover un armazón que sostiene carga y que en su extremo cuenta con una rueda de goma lisa, de dureza 60 - 70, diámetro 76,2 mm y 25,4 mm de ancho. Esta rueda recorre una longitud de 12" en forma recíproca a una frecuencia de 44 ciclos/min.



**Figura 20. Equipo ensayo rueda de carga.**

- **Cohesímetro:** Consta de un cilindro neumático de presión cuyo pistón tiene en su parte inferior un pie de goma duro de 25,4 mm de diámetro. El recorrido del pistón está comprendido entre 35 y 40 mm. En la parte superior del cilindro neumático se puede acoplar el torsiómetro o mecanismo utilizado para medir el par de torsión. El torsiómetro será adecuado para medir esfuerzos entre 0 y 3,5 N.m (0 – 35 kg.cm). La presión vertical para ejercer sobre la mezcla se obtendrá mediante una fuente de aire a presión, un compresor portátil, o incluso un inflador de llantas de bicicletas, de acuerdo con las disponibilidades. El cohesímetro dispondrá del sistema de aire de presión y conducción del mismo al cilindro neumático, con las llaves de control adecuadas y un manómetro intercalado en el circuito, que pueda medir y suministrar presiones de 0 a 1100 kPa (0 – 11 kg/cm<sup>2</sup>). El bastidor de ensamblaje y presentación del conjunto

del aparato, permitirá realizar medidas en el laboratorio o en obra sobre la capa de la mezcla extendida, realizando cambios sencillos en la disposición de aquel.

#### 4.3.6. Definición de muestras

A modo de simplificar la nomenclatura de las muestras, a continuación se detallará la combinación de los materiales componentes para cada mezcla:

- **Muestra N°1 (AF+E.A. CQS 1H (EA)):** Esta muestra contendrá árido chancado de hormigón con granulometría fina (sin material en malla ¼”), emulsión CQS 1H (EA) y agua.
- **Muestra N°2 (AF+ E.A. CQS 1H (EW)):** Estará constituida por árido chancado de hormigón con granulometría fina (sin material en malla ¼”), emulsión CQS 1H (EW) y agua.
- **Muestra N°3 (AF+ E.A. ERCM):** Esta mezcla estará formada por árido chancado de hormigón con granulometría fina (sin material en malla ¼”), emulsión ERCM y agua.
- **Muestra N°4 (AF+ E.A. BITUFLEX LC):** Estará formada por árido chancado de hormigón con granulometría fina (sin material en malla ¼”), emulsión BITUFLEX LC y agua.
- **Muestra N°5 (AG+E.A. CQS 1H (EA)):** Esta muestra contendrá árido chancado de hormigón con granulometría gruesa (con material en malla ¼”), emulsión CQS 1H (EA) y agua.
- **Muestra N°6 (AG+ E.A. CQS 1H (EW)):** Esta muestra estará constituida por árido chancado de hormigón con granulometría gruesa (con material en malla ¼”), emulsión CQS 1H (EW) y agua.

- **Muestra N°7 (AN+ E.A. CQS 1H (EA)):** Esta mezcla estará formada por árido natural, agua y la emulsión CQS 1H (EA), la que corresponde a la emulsión que presentó mejores características con los áridos reciclados.

El agua empleada para las diferentes muestras, será agua potable de Santiago.

## Capítulo 5. Presentación de resultados

En este capítulo se detalla en forma resumida los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados a los materiales y de los procedimientos utilizados durante el estudio experimental.

El detalle de los ensayos realizados, para poder llegar a los resultados presentados, se encuentran descritos en el anexo A.

### 5.1. Diseño del micropavimento

#### 5.1.1. Cálculo óptimo teórico

##### 5.1.1.1. Caracterización de áridos

- **Árido reciclado:**

Tabla 18. Caracterización del árido reciclado de hormigón.

TIPO DE ÁRIDO	Árido reciclado de hormigón	
<b>ANÁLISIS GRAVA</b>		
	<b>RESULTADO</b>	
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS	2542	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco	2459	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD NETA	2681	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	3,4	%
<b>ANÁLISIS ARENA</b>		
	<b>RESULTADO</b>	
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS	2305	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco	2190	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD NETA	2475	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	5,3	%

ANÁLISIS DEL MATERIAL	RESULTADO	
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS	2411	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco	2311	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD NETA	2568	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	4,4	%
PARTÍCULAS CHANCADAS	100	%
PARTÍCULAS RODADAS	0	%
PARTÍCULAS LAJEADAS	0,5	%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.	
EQUIVALENTE DE ARENA	97	%
DESGASTE DE LOS ANGELES	24,7	%
ÍNDICE DE TRITURACIÓN [10 - 2,5]	7,8	%
ÍNDICE DE TRITURACIÓN [2,5 - 0,63]	4,4	%
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]	9,2	%
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]	6,6	%
AZUL DE METILENO	5,5	m

- **Árido natural:**

Tabla 19. Caracterización del árido natural.

TIPO DE ÁRIDO	Polvo Roca 3/8", Mix-Vial, Rancagua.
---------------	--------------------------------------

ANÁLISIS GRAVA	RESULTADO	
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS	2733	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco	2694	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD NETA	2804	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	1,5	%

ANÁLISIS ARENA	RESULTADO	
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS	2676	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco	2646	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD NETA	2728	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	1,1	%

ANÁLISIS DEL MATERIAL	RESULTADO	
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS	2701	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco	2667	kg/m <sup>3</sup>
DENSIDAD NETA	2761	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCIÓN DE AGUA	1,3	%
PARTÍCULAS CHANCADAS	100	%
PARTÍCULAS RODADAS	0	%
PARTÍCULAS LAJEADAS	1,5	%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.	
EQUIVALENTE DE ARENA	57,4	%
DESGASTE DE LOS ANGELES	18,7	%
ÍNDICE DE TRITURACIÓN	4,6	%
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS	0,9	%
AZUL DE METILENO	6	m

### 5.1.1.2. Óptimo teórico

- Área Superficial:

Debido que no existe una especificación del factor de área para el material retenido por la malla ¼”, ambas granulometrías del árido reciclado presentan el mismo factor de área.

Tabla 20. Área Superficial de los áridos

TIPO DE ÁRIDO	As	
ÁRIDO RECICLADO	36,5	pie <sup>2</sup> /lb
ÁRIDO NATURAL	43,8	pie <sup>2</sup> /lb

- Equivalente Centrífugo de Kerosene (ECK):

Se debió corregir el valor del ECK del árido natural, debido que la densidad neta del fino es mayor que  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

Tabla 21. Equivalente centrífugo de kerosene

TIPO DE ÁRIDO	ECKc	
ÁRIDO RECICLADO	7,3	%
ÁRIDO NATURAL	4,2	%

Determinado estos valores y aplicando la fórmula de Hveen, el óptimo teórico para cada muestra fue:

Tabla 22. Óptimo teórico de las muestras

Muestra	Et	
M1 (AF+ EA CQS 1H (EA) )	20,5	%
M2 (AF+ EA CQS 1H (EW) )	20,1	%
M3 (AF+ EA ERCM )	20,7	%
M4 (AF+ EA BITUFLEXLC )	18,9	%
M5 (AG+ EA CQS 1H (EA) )	20,5	%
M6 (AG+ EA CQS 1H (EW) )	20,1	%
M7 (AN+ EA CQS 1H (EA))	16,9	%

## 5.1.2. Obtención óptimo de diseño

### 5.1.2.1. Confección de probetas

Antes de fabricar las probetas, se determinó la adherencia agregado-ligante asfáltico, mediante el método estático y el de carbonato de sodio (Riedel-Weber)



- Método estático:

Tabla 23. Adherencia método estático.

	Árido Reciclado	Árido Natural
EA CQS 1H (EA)	+95	+95
EA CQS 1H (EW)	+95	+95
ERCM	+95	+95
BITUFLEX LC	+95	+95

- Método del carbonato de sodio (Riedel-Weber):

Tabla 24. Adherencia método Riedel-Weber.

	Árido Reciclado	Árido Natural
EA CQS 1H (EA)	No cumple	No cumple
EA CQS 1H (EW)	No cumple	No cumple
ERCM	No cumple	No cumple
BITUFLEX LC	No cumple	No cumple

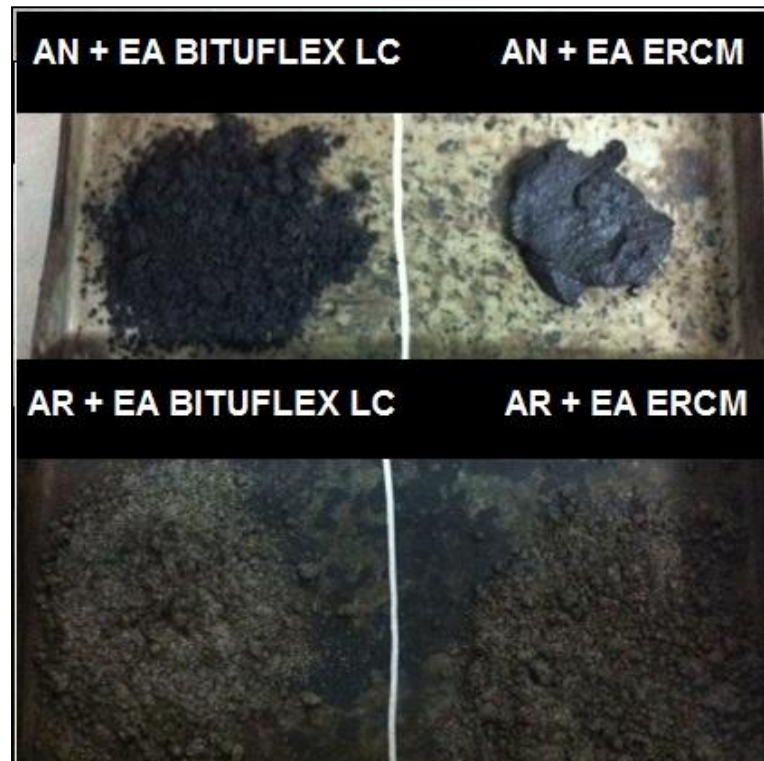


Figura 21. Ensayo Riedel-Weber a los áridos.

A pesar que no se cumple con el requisito de adherencia Riedel-Weber, se decidió seguir con el estudio de las otras propiedades debido que la alta existencia de cemento en el árido produce un mayor requerimiento de agua, el cual no es suficiente dadas las condiciones del ensayo.

Determinadas las adherencias se procedió a fabricar las probetas.

- Consistencia de mezcla asfálticas:

Las probetas fueron fabricadas considerando una consistencia cercana a los 2,5 cm, luego las cantidades que se le agregaron a cada una de las muestras, con sus respectivas series de probetas fueron:

Muestra 1. (AF+EA CQS 1H (EA)):

Para poder determinar el óptimo de diseño para esta muestra, fue necesario disminuir la cantidad de emulsión en la mezcla, a continuación se presenta un cuadro resumen con los contenidos de agua y emulsión:

Tabla 25. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M1.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M1		20,5			
	100% Et	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	20,5	17,4	14,4	11,3	
AGUA PREMEZCLADO	7,5	8,5	9,5	10,5	
CONSISTENCIA	2,7	2,5	2,4	2,5	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	13,4	11,4	9,4	7,4	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	14,6	14,5	14,4	14,4	

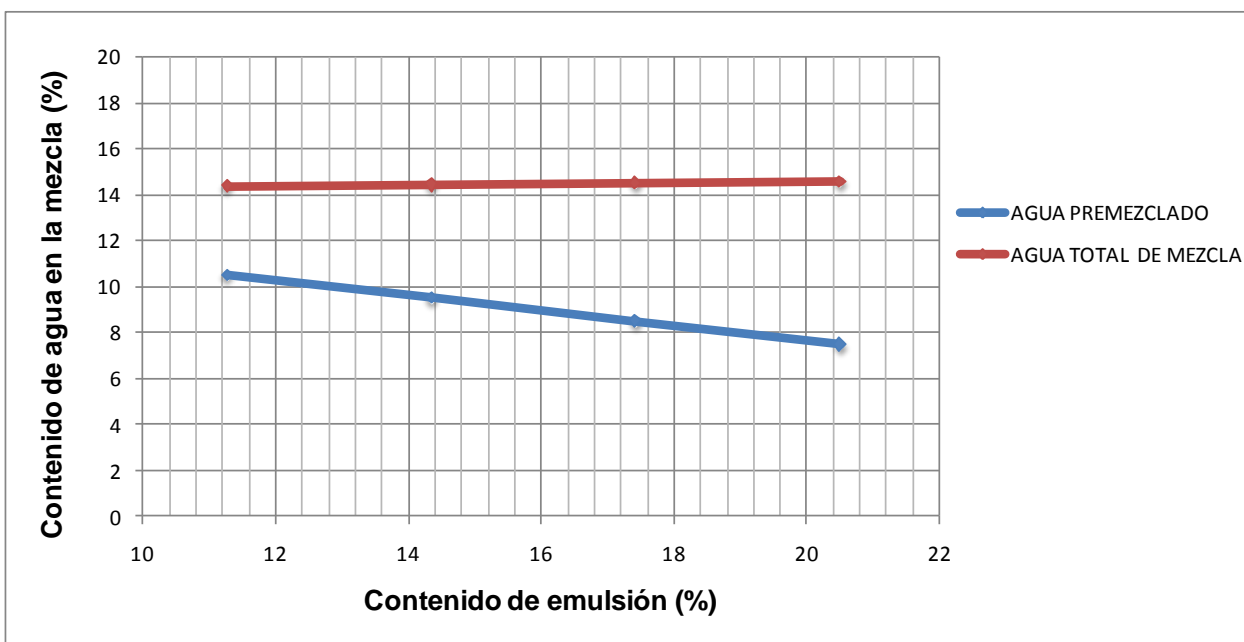


Gráfico 5. Variación del contenido de agua para el set de probetas M1.

Muestra 2, (AF+EA CQS 1H (EW)):

El tentativo óptimo de diseño para este tipo de muestra, también requirió disminuir la cantidad de emulsión, a continuación se presenta el cuadro resumen con los contenidos de agua y de emulsión:

Tabla 26. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M2.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M2		20,1			
	100% Et	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	20,1	17,1	14,1	11,1	
AGUA PREMEZCLADO	8,5	9,5	10,5	11,5	
CONSISTENCIA	2,6	2,4	2,4	2,6	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	13,4	11,4	9,4	7,4	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	15,2	15,2	15,2	15,2	

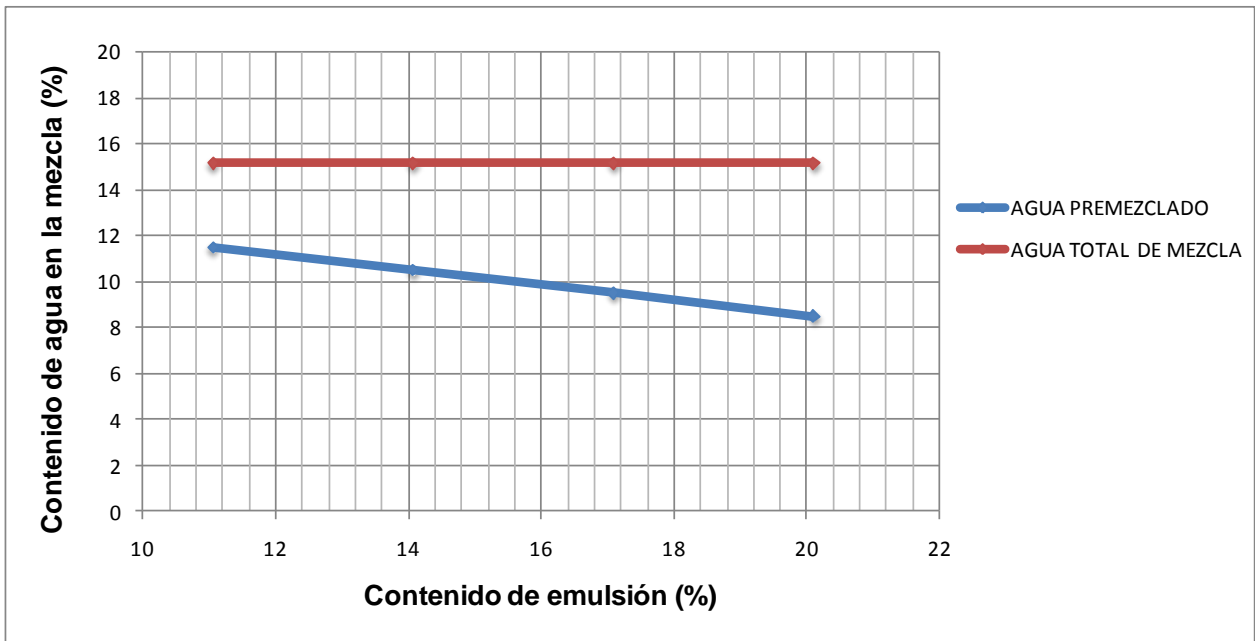


Gráfico 6. Variación del contenido de agua para el set de probetas M2.

Muestra 3, (AF+EA ERCM):

Para esta muestra también se requirió disminuir el contenido de emulsión en la mezcla, a continuación se presenta el cuadro resumen con los contenidos de agua y emulsión:

Tabla 27. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M3.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M3		20,7			
	100% Et	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	20,7	17,6	14,5	11,4	
AGUA PREMEZCLADO	9,0	10,0	11,0	12,0	
CONSISTENCIA	2,5	2,4	2,6	2,4	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	13,5	11,4	9,4	7,4	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	16,2	16,2	16,1	16,0	

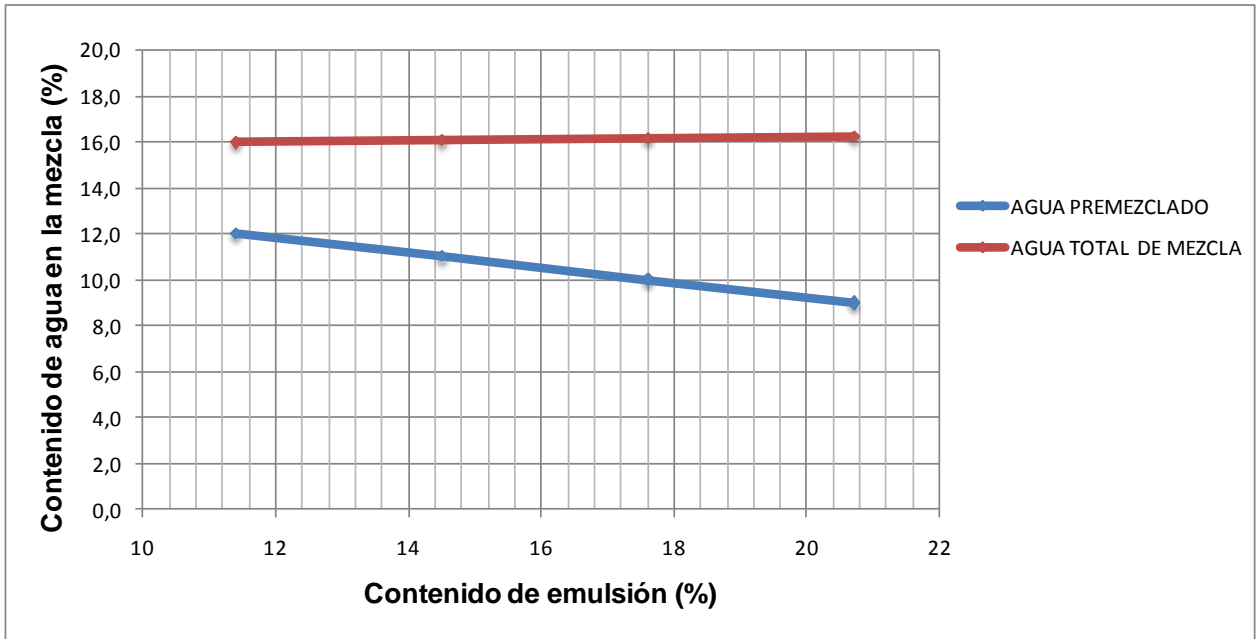


Gráfico 7. Variación del contenido de agua para el set de probetas M3.

Muestra 4, (AF+BITUFLEX LC):

A continuación se presenta el cuadro resumen con los contenidos de agua y emulsión:

Tabla 28. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M4.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M4		18,9		
	100% Et	85% Et	70% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	18,9	16,1	13,2	
AGUA PREMEZCLADO	11,0	12,0	13,0	
CONSISTENCIA	2,5	2,5	2,5	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	13,4	11,4	9,4	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	16,5	16,7	16,8	

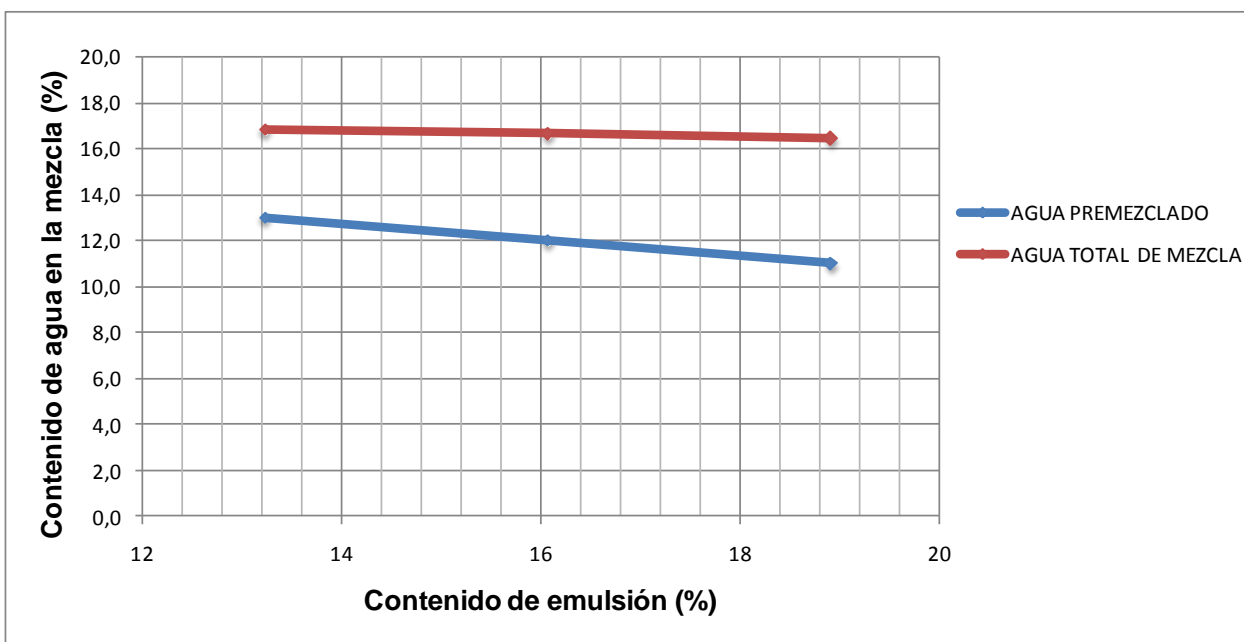


Gráfico 8. Variación del contenido de agua para el set de probetas M4.

Muestra 5, (AG+CQS 1H (EA)):

Debido que en las muestras anteriores el óptimo de diseño se encontró muy por debajo del óptimo teórico, se decidió trabajar sólo con los contenidos 85,70 y 55% del teórico, a continuación la descripción de contenido de materiales:

Tabla 29. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M5.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M5		20,5		
	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	17,4	14,4	11,3	
AGUA PREMEZCLADO	9,0	10,0	11,0	
CONSISTENCIA	2,6	2,5	2,6	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	11,4	9,4	7,4	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	15,0	14,9	14,9	

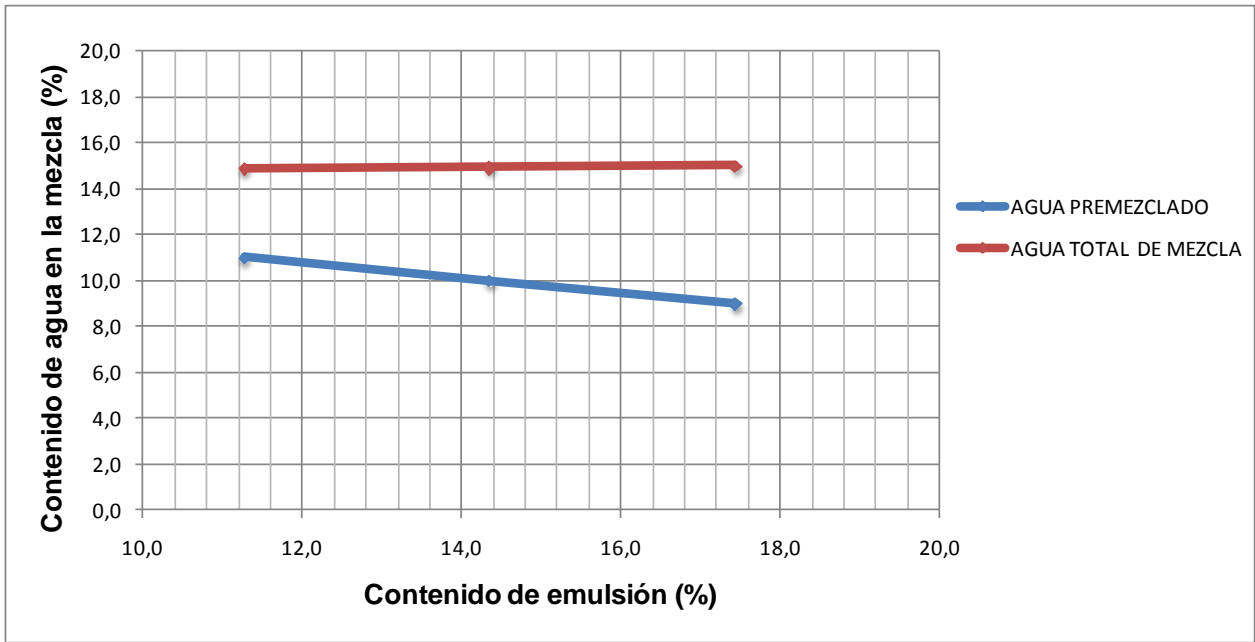


Gráfico 9. Variación del contenido de agua para el set de probetas M5.

Muestra 6. (AG+CQS 1H (EW)):

Para esta muestra se usó la misma metodología que para la muestra anterior, por lo que las cantidades de emulsión y agua fueron las siguientes:

Tabla 30. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M6.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M6		20,1		
	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	17,1	14,1	11,1	
AGUA PREMEZCLADO	8,0	9,0	10,0	
CONSISTENCIA	2,4	2,5	2,5	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	11,4	9,4	7,4	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	13,7	13,7	13,7	

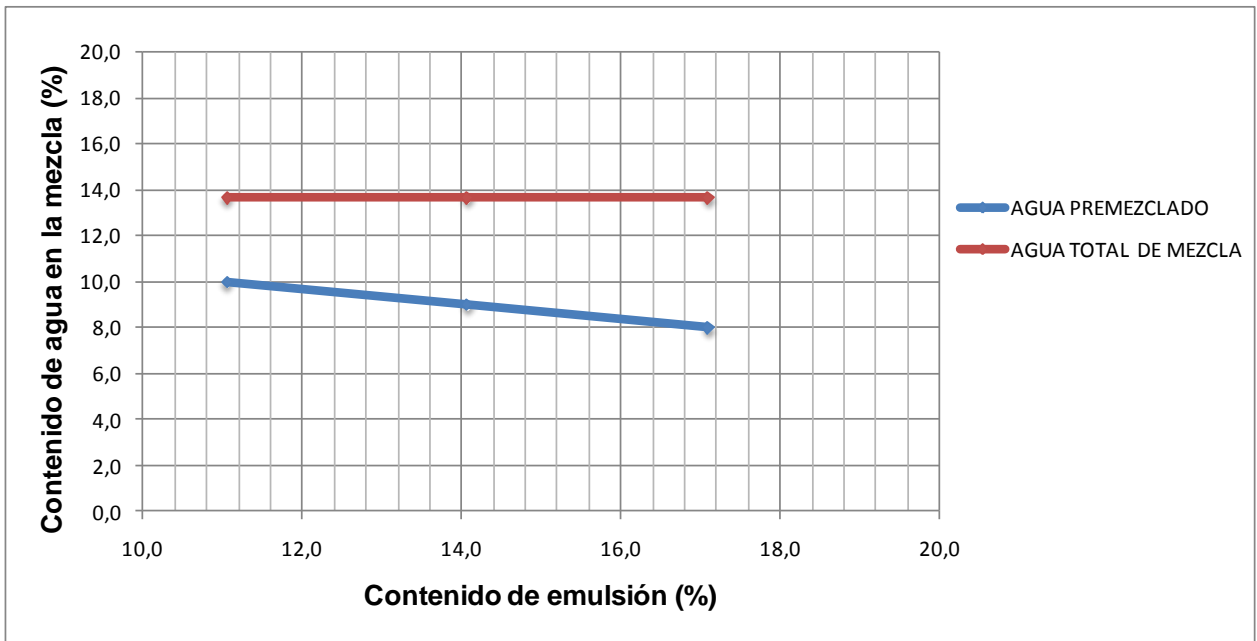


Gráfico 10. Variación del contenido de agua para el set de probetas M6.

Muestra 7, (AN+CQS 1H (EA)):

Si bien, no se conocía el comportamiento de este nuevo árido, se decidió utilizar la misma metodología que en las muestras 5 y 6, es decir, trabajar con el 85,70 y 55% del contenido óptimo teórico, a continuación las cantidades utilizadas:

Tabla 31. Contenido de agua y emulsión para el set de probetas M7.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M7		16,9		
	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	14,4	11,8	9,3	
AGUA PREMEZCLADO	4,0	5,0	6,0	
CONSISTENCIA	2,5	2,5	2,5	
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	9,4	7,8	6,1	
AGUA TOTAL DE MEZCLA	8,9	9,1	9,2	



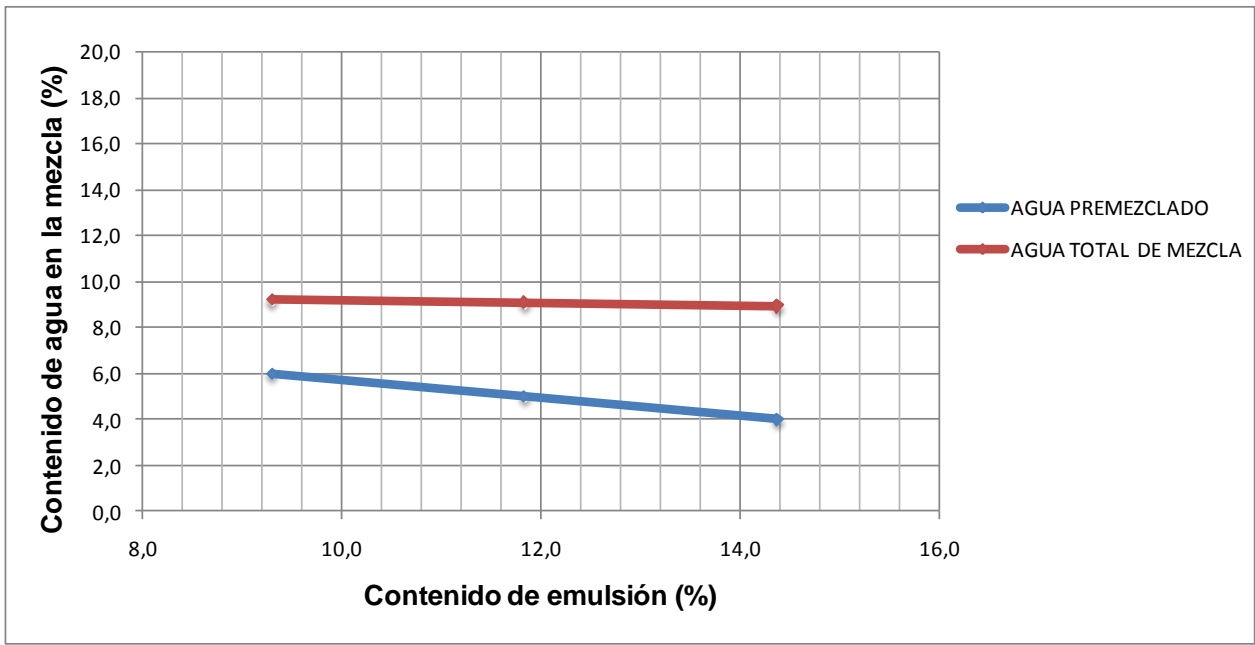


Gráfico 11. Variación del contenido de agua para el set de probetas M7.

### 5.1.2.2. Ensayo probetas

Las probetas fueron curadas al aire y secadas en horno hasta tener peso constante, determinado estos pesos, se le realizaron los ensayos mecánicos. Las probetas que no cumplieron con los requisitos establecidos en los ensayos complementarios, no fueron consideradas en los resultados finales. A continuación se detallan los resultados de dichos ensayos:

Muestra 1, (AF+EA CQS 1H (EA)):

Tabla 32. Ensayos mecánicos del set de probetas M1.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M1		20,5			
	100% Et	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	20,5	17,4	14,4	11,3	
ABRASIÓN (AMH)	68,9	90	165	462	
ADHESIÓN DE ARENA	613	369	219	101	

Muestra 2, (AF+EA CQS 1H (EW)):

Tabla 33. Ensayos mecánicos del set de probetas M2.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M2		20,1			
	100% Et	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	20,1	17,1	14,1	11,1	
ABRASIÓN (AMH)	33,9	62	112	984	
ADHESIÓN DE ARENA	563	426	317	251	

Muestra 3, (AF+EA ERCM):

Tabla 34. Ensayos mecánicos del set de probetas M3.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M3		20,7			
	100% Et	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	20,7	17,6	14,5	11,4	
ABRASIÓN (AMH)	41,5	42	48	628	
ADHESIÓN DE ARENA	554	401	231	216	

Muestra 4, (AF+BITUFLEX LC):

Tabla 35. Ensayos mecánicos del set de probetas M4.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M4		18,9		
	100% Et	85% Et	70% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	18,9	16,1	13,2	
ABRASIÓN (AMH)	130	165	326	
ADHESIÓN DE ARENA	499	384	182	

Muestra 5, (AG+CQS 1H (EA)):

Tabla 36. Ensayos mecánicos del set de probetas M5.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M5		20,5		
	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	17,4	14,4	11,3	
ABRASIÓN (AMH)	36	68	397	
ADHESIÓN DE ARENA	376	246	133	

Muestra 6, (AG+CQS 1H (EW)):

Tabla 37. Ensayos mecánicos del set de probetas M6.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M6		20,1		
	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	17,1	14,1	11,1	
ABRASIÓN (AMH)	71	106	750	
ADHESIÓN DE ARENA	517	300	266	

Muestra 7, (AN+CQS 1H (EA)):

Tabla 38. Ensayos mecánicos del set de probetas M7.

CONTENIDO EMULSIÓN TEÓRICO M7		16,9		
	85% Et	70% Et	55% Et	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	14,4	11,8	9,3	
ABRASIÓN (AMH)	307	387	663	
ADHESIÓN DE ARENA	477	330	271	

### 5.1.2.3. Óptimo de diseño

Se graficaron los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos, obteniéndose el tentativo óptimo de diseño en la interferencia de las curvas, a continuación dichos gráficos:

Muestra 1, (AF+EA CQS 1H (EA)):

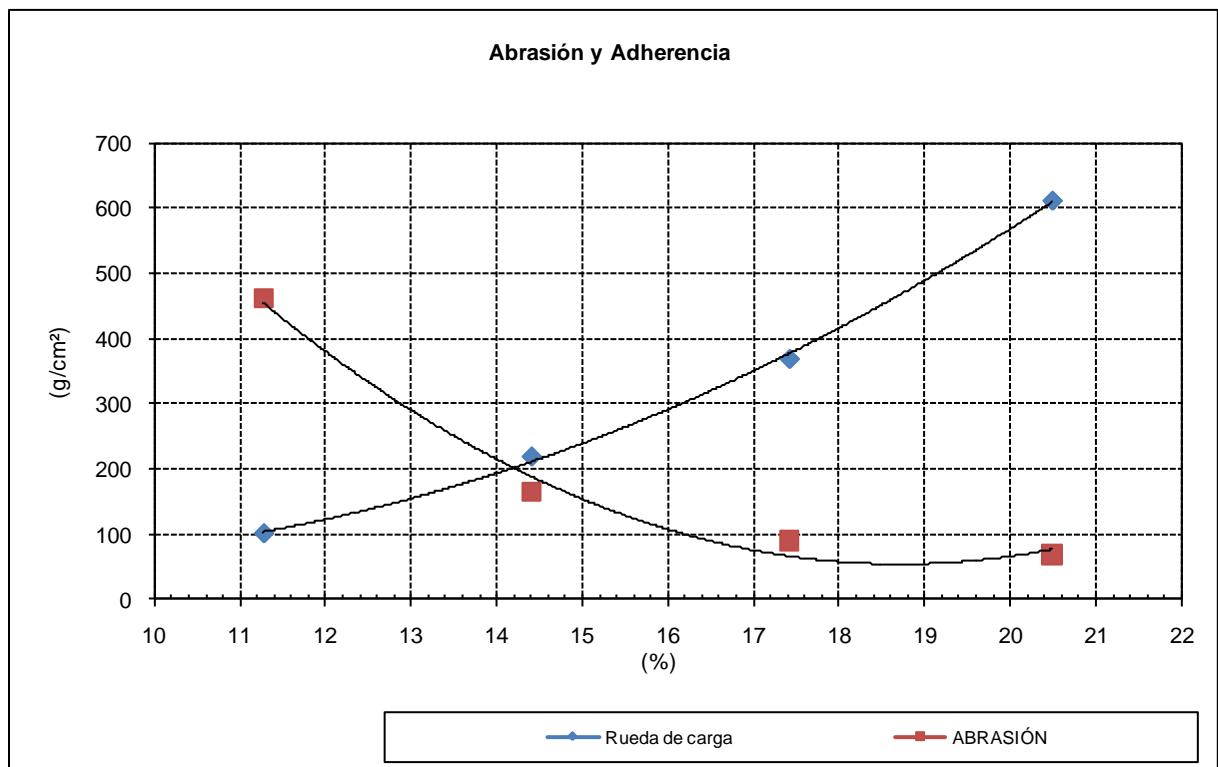


Gráfico 12. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M1.

Del las curvas del gráfico se obtiene el óptimo de diseño, a continuación las ecuaciones de cada curva:

Adhesión de arena:

$$y = 3,3203x^2 - 50,624x + 252,77$$

Abrasión (AMH):

$$y = 7,3205x^2 - 273,37x + 2605,2$$

Tabla 39. Contenido óptimo de diseño set de probetas M1.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M1

	MIN.	MAX
M1 (AF+ EA CQS 1H (EA) )	10,5	19,6

CONTENIDO OPT. M.C.	15,1
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	14,1

Muestra 2, (AF+EA CQS 1H (EW)):

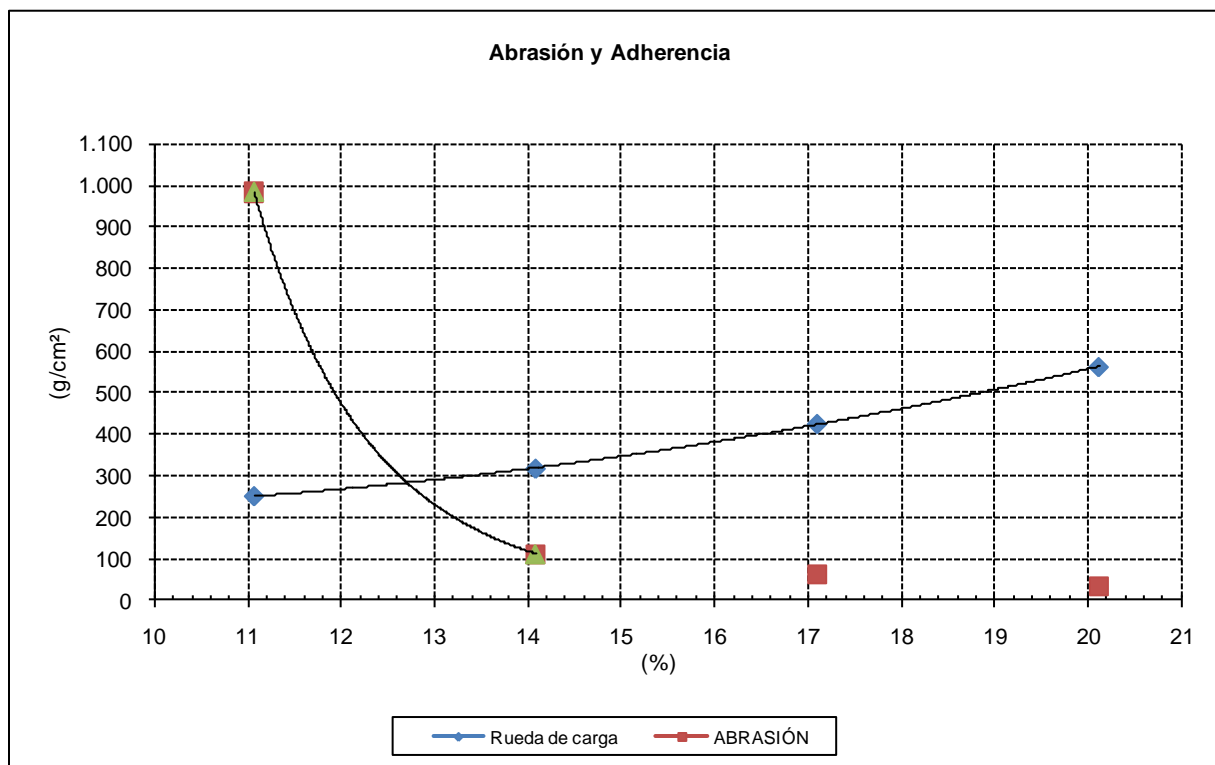


Gráfico 13. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M2.

Tabla 40. Contenido óptimo de diseño set de probetas M2.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M2

	MIN.	MAX
M2 (AF+ EA CQS 1H (EW) )	11,8	19,6

CONTENIDO OPT. M.C.	15,7
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	12,7

Muestra 3, (AF+EA ERCM):

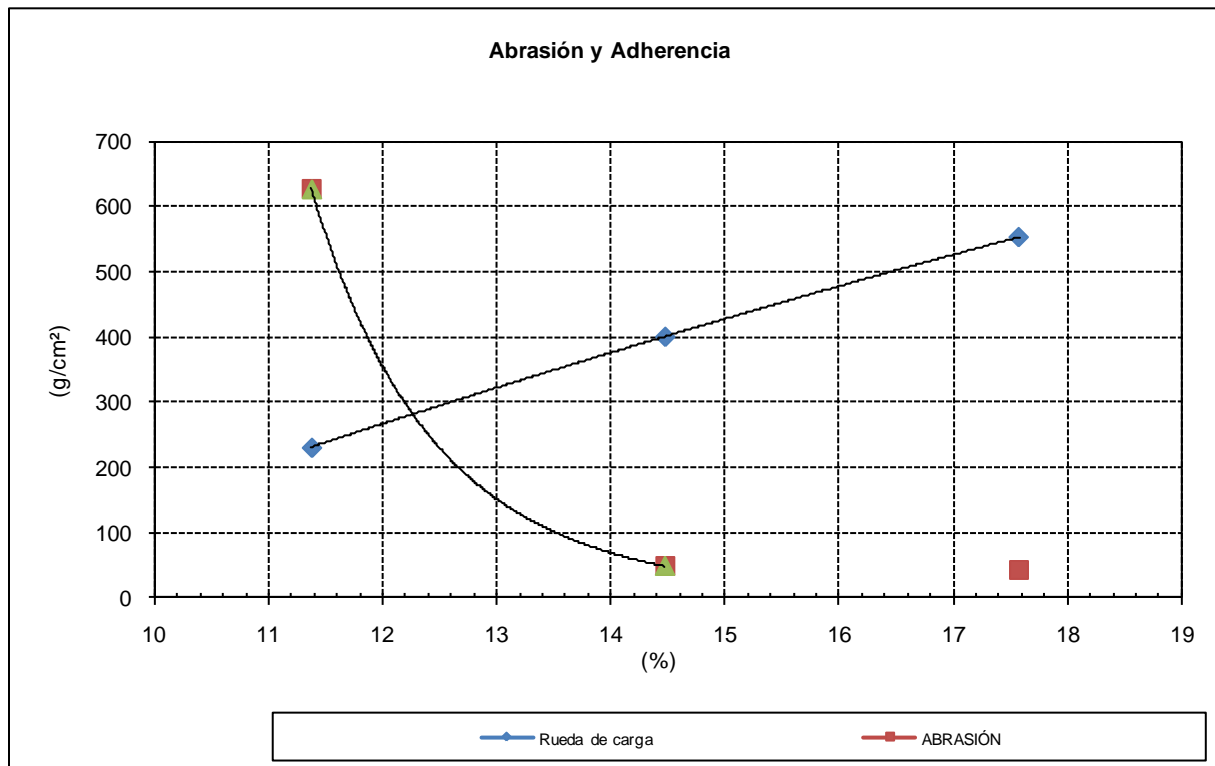


Gráfico 14. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M3.

Tabla 41. Contenido óptimo de diseño set de probetas M3.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M3

	MIN.	MAX
M3 (AF+ EA ERCM )	11,5	17,3

CONTENIDO OPT. M.C.	14,4
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	12,5

Muestra 4, (AF+BITUFLEX LC):

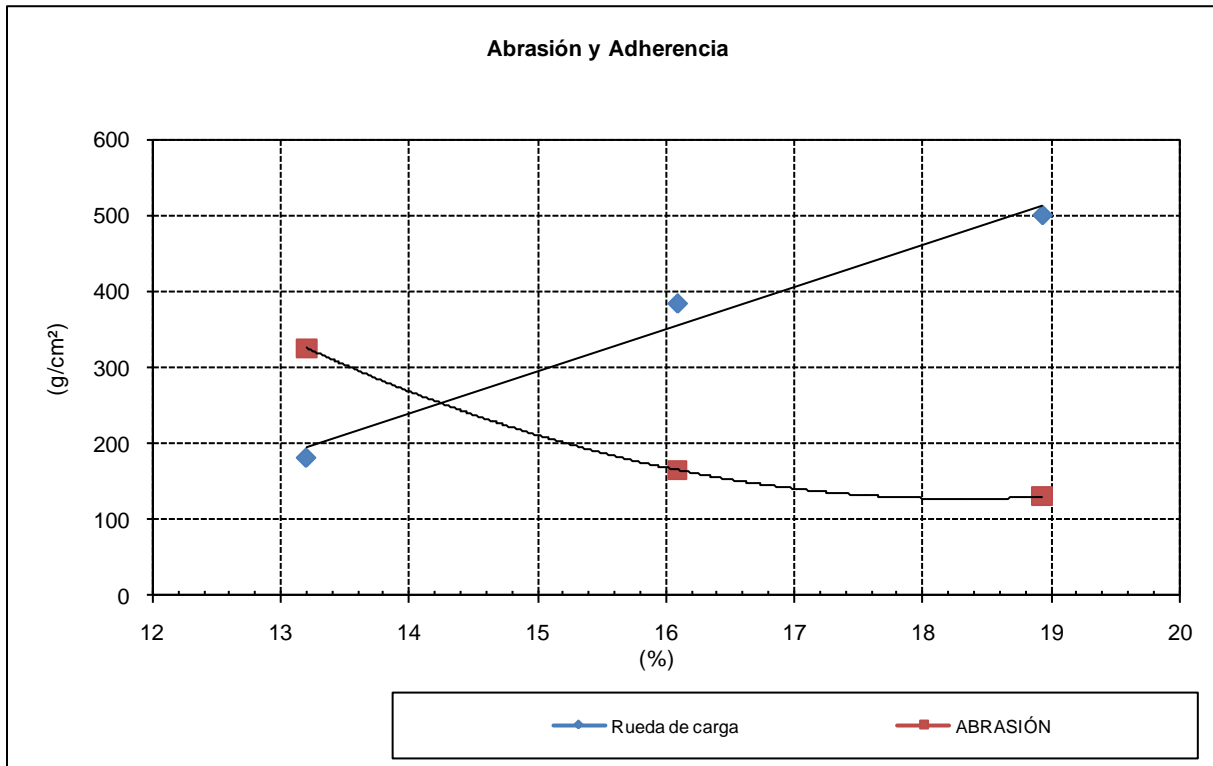


Gráfico 15. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M4.

El óptimo de diseño se obtiene de las curvas del gráfico anterior, las ecuaciones son las siguientes:

Adhesión de arena:

$$y = 55,874x - 544,07$$

Abrasión (AMH):

$$y = 7,7957x^2 - 285,36x + 2738,3$$

Tabla 42. Contenido óptimo de diseño set de probetas M4.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M4		
	MIN.	MAX
M4 (AF+ EA BITUFLEX LC )	11,0	19,4
CONTENIDO OPT. M.C.	15,2	
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	14,3	

Muestra 5, (AG+CQS 1H (EA)):

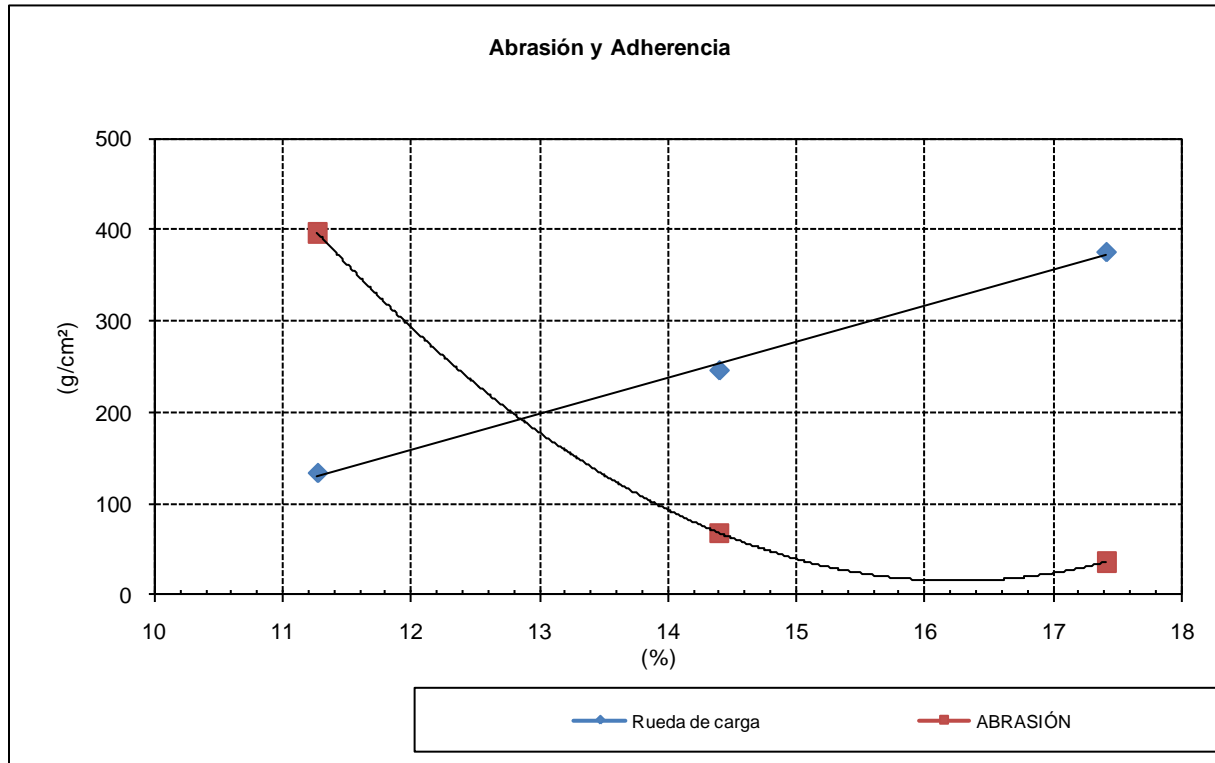


Gráfico 16. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M5.

De las curvas se obtiene el óptimo de diseño según las siguientes ecuaciones:

Adhesión de arena:

$$y = 39,619x - 316,52$$

Abrasión (AMH):

$$y = 15,74x^2 - 510,23x + 4147,9$$

Tabla 43. Contenido óptimo de diseño set de probetas M5.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M5		
	MIN.	MAX
M5 (AG+ EA CQS 1H (EA) )	10,4	21,6
CONTENIDO OPT. M.C.	16,0	
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	12,8	



Muestra 6, (AG+CQS 1H (EW)):

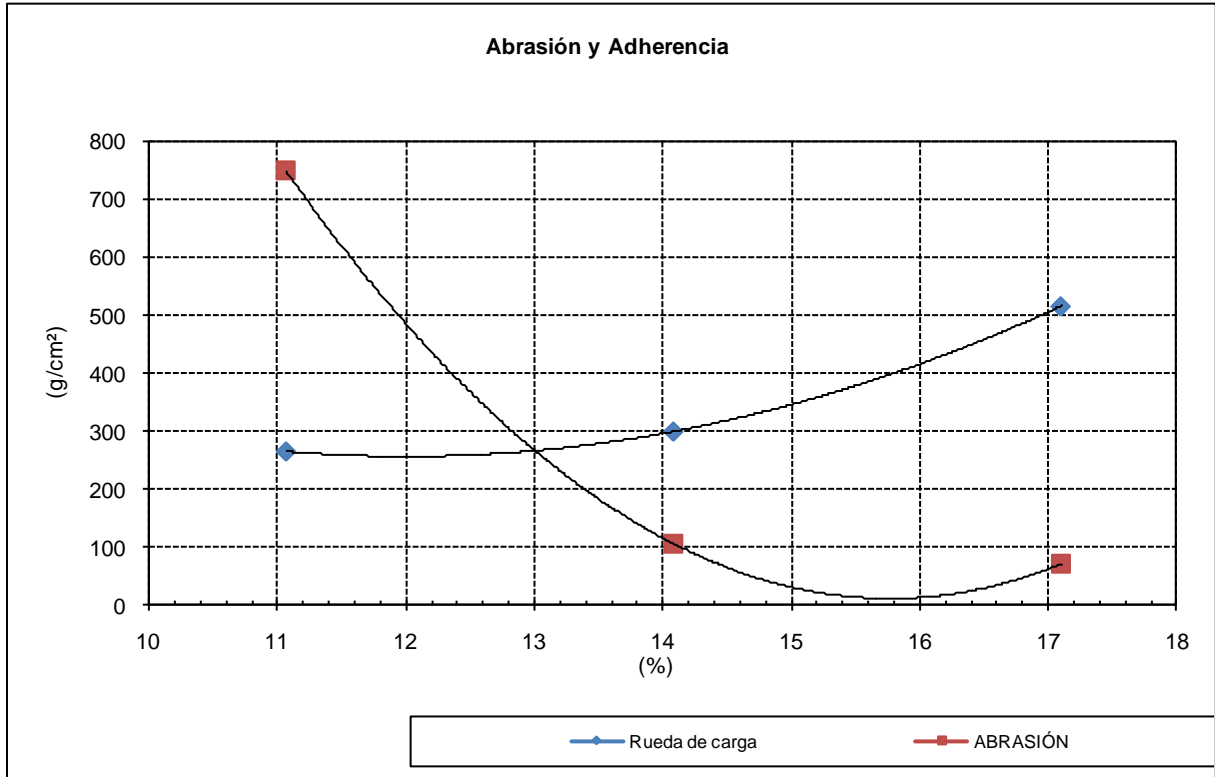


Gráfico 17. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M6.

Las ecuaciones para determinar el óptimo de diseño están dadas a continuación:

Adhesión de arena:

$$y = 9,991x^2 - 239,89x + 1696,9$$

Abrasión (AMH):

$$y = 33,423x^2 - 1054x + 8321,5$$

Tabla 44. Contenido óptimo de diseño set de probetas M6.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M6		
	MIN.	MAX
M6 (AG+ EA CQS 1H (EW) )	11,8	17,3
CONTENIDO OPT. M.C.	14,6	
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	13	

Muestra 7, (AN+CQS 1H (EA)):

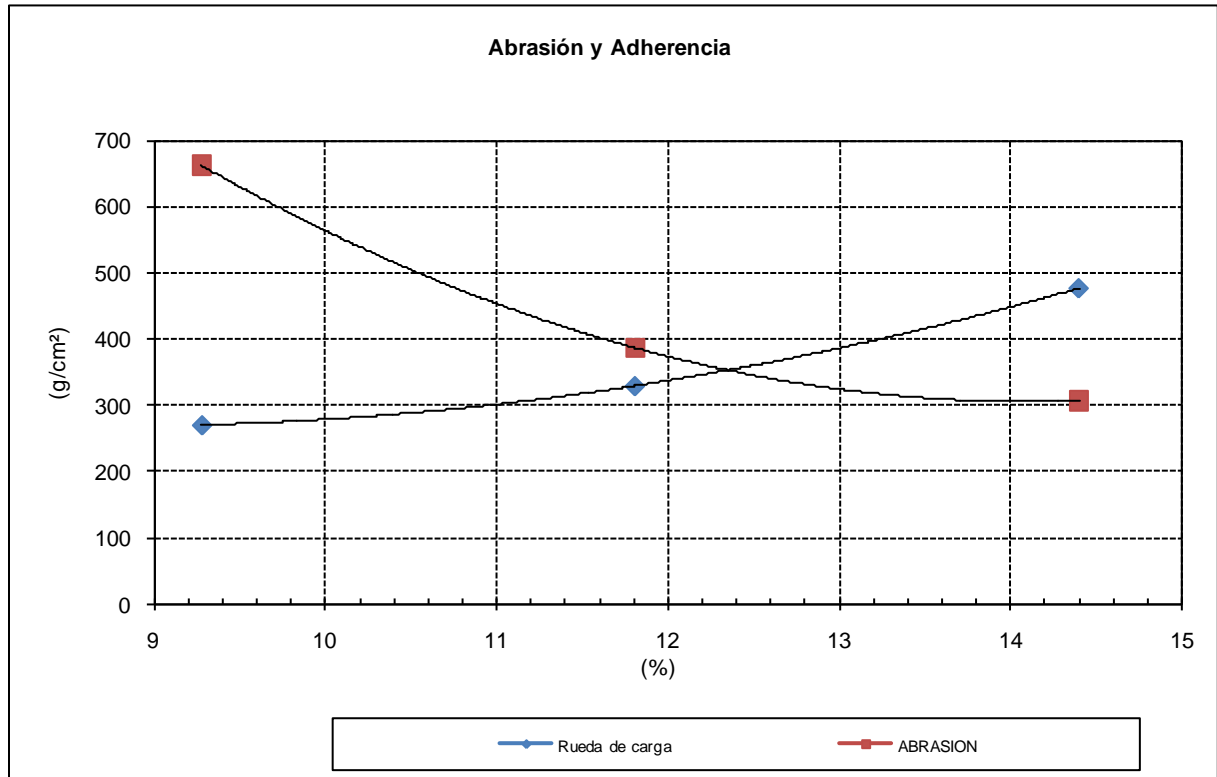


Gráfico 18. Cálculo del óptimo de diseño del set de probetas M7.

De cada una de las curvas se obtiene el óptimo de diseño, cuya ecuación se muestra a continuación:

Adhesión de Arena:

$$y = 6,9185x^2 - 122,52x + 811,8$$

Abrasión (AMH):

$$y = 15,246x^2 - 430,33x + 3342,5$$

Tabla 45. Contenido óptimo de diseño set de probetas M7.

CONTENIDO ÓPTIMO DE DISEÑO M7		
	MIN.	MAX
M7 (AN+ EA CQS 1H (EA))	10,2	15,1
CONTENIDO OPT. M.C.	12,7	
CONTENIDO OPT. PROPUESTO	12,3	

#### 5.1.2.4. Ensayo al óptimo de diseño

Al óptimo de diseño determinado, se le realizan los siguientes ensayos:

- Desgaste por Abrasión Medio Húmedo (6 días sumergido) (AMH), M.C. 8.302.46
- Cohesión húmeda, ISSA TB-139

Muestra 1, (AF+EA CQS 1H (EA)):

Las muestras del set de probetas M1, se confeccionaron con un 14,1% de emulsión y un 9% de agua.

Tabla 46. Desgaste por abrasión, set óptimo M1.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M1	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	14,1
ABRASIÓN 1 HORA	206
ABRASIÓN 6 DÍAS	177

Tabla 47. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set óptimo M1.

COHESIÓN HÚMEDA M1	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	20
1	21
1,5	24
2	21

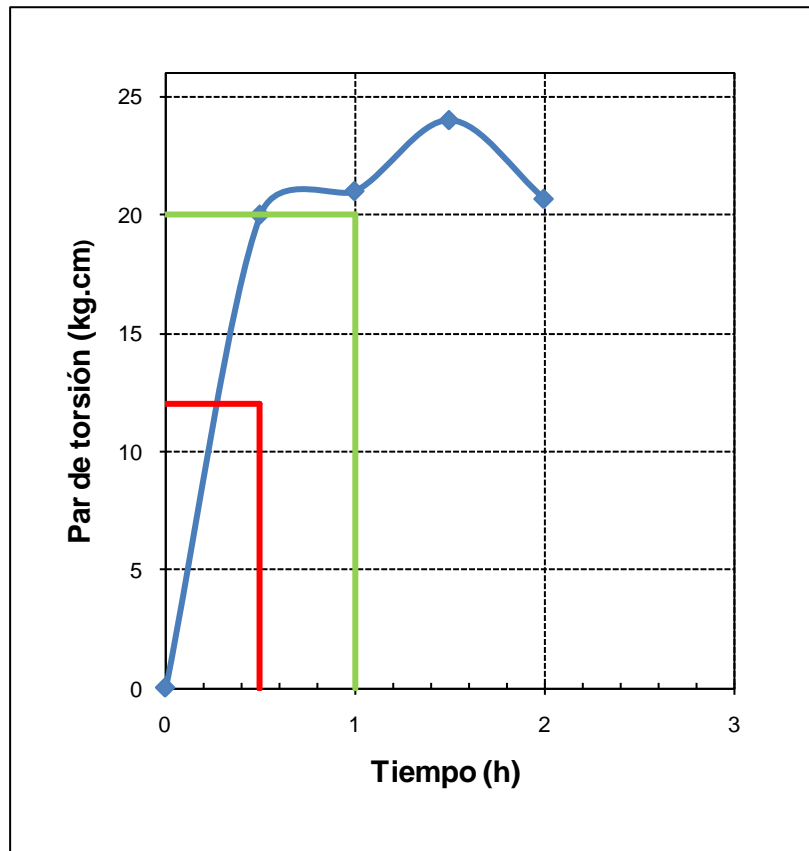


Gráfico 19. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M1.

Muestra 2. (AF+EA CQS 1H (EW)):

El set de muestras número 2 se fabricó con un 12,7% de emulsión y un 10% de agua.

Tabla 48. Desgaste por abrasión set óptimo M2.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M2	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	12,7
ABRASIÓN 1 HORA	278
ABRASIÓN 6 DÍAS	574

Tabla 49. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M2.

COHESIÓN HÚMEDA M2	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	20
1	20,5
1,5	22
2	23

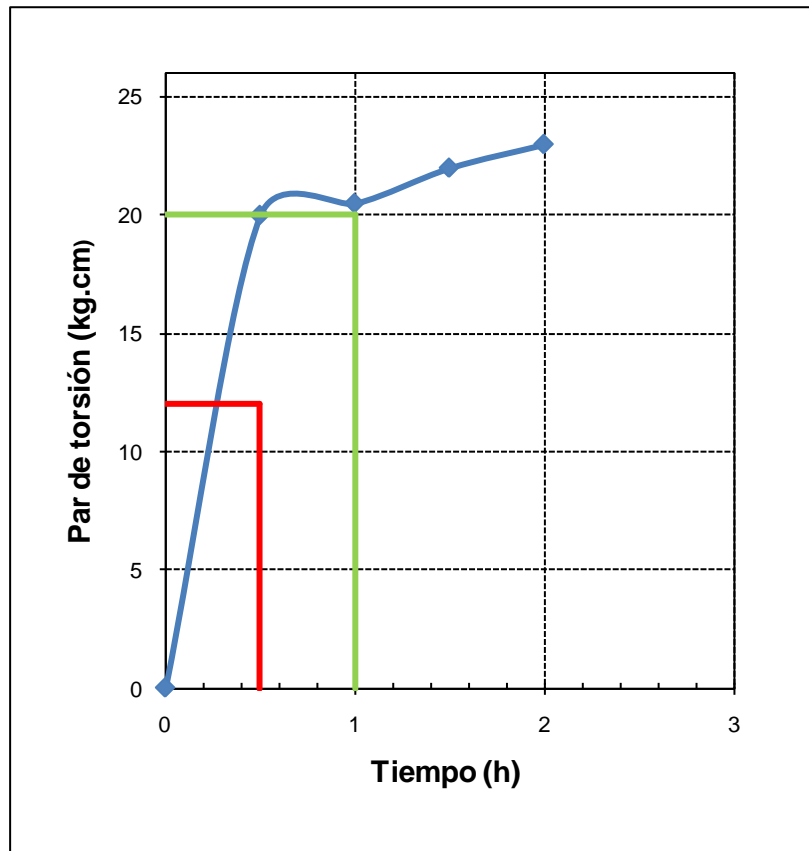


Gráfico 20. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M2.

Muestra 3. (AF+EA ERCM):

Las muestras 3 se confeccionaron con 12,5% de emulsión y 10% de agua.

Tabla 50. Desgaste por abrasión set óptimo M3.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M3	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	12,5
ABRASIÓN 1 HORA	295
ABRASIÓN 6 DÍAS	213

Tabla 51. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M3.

COHESIÓN HÚMEDA M3	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	13
1	17
1,5	19
2	23

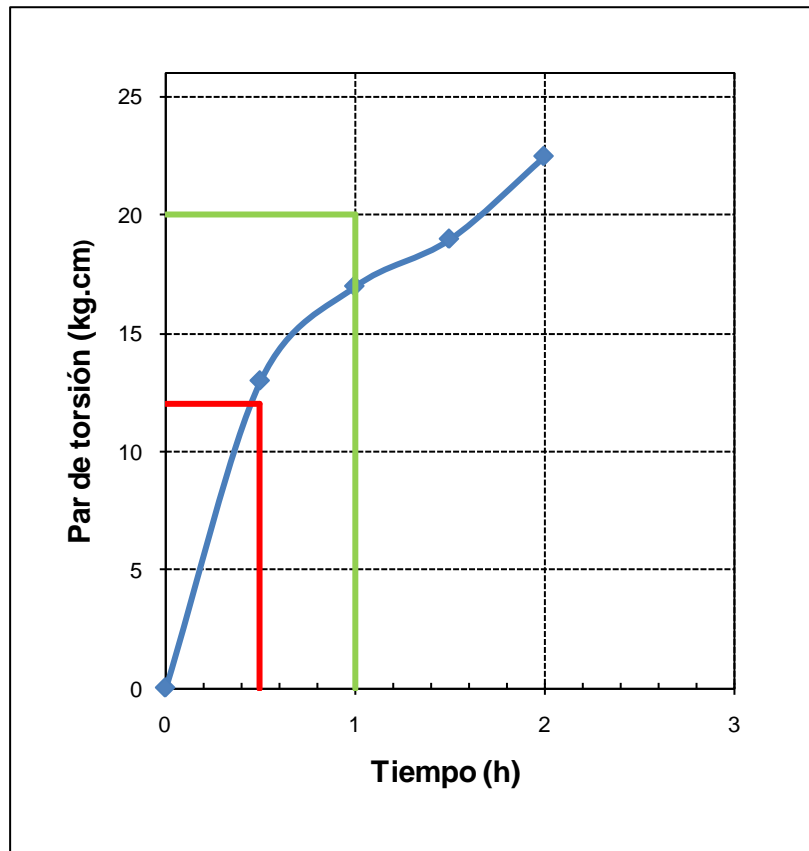


Gráfico 21. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M3.

Muestra 4. (AF+BITUFLEX LC):

El set de muestras 4 se confeccionó con 14,3% de emulsión y un 11,5% de agua.

Tabla 52. Desgaste por abrasión set óptimo M4.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M4	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	14,3
ABRASIÓN 1 HORA	255
ABRASIÓN 6 DÍAS	133

Tabla 53. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M4.

COHESIÓN HÚMEDA M4	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	17
1	22
1,5	22
2	21

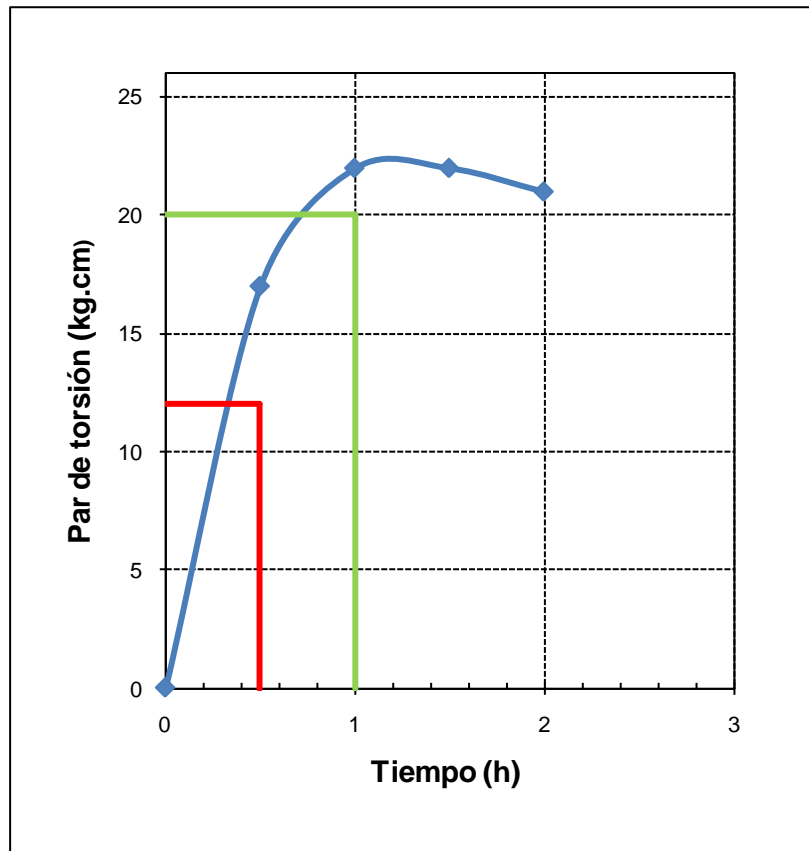


Gráfico 22. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M4.

Muestra 5. (AG+CQS 1H (EA)):

El set de muestras número 5 se fabricaron con un 12,8% de emulsión y un 9,5% de agua.

Tabla 54. Desgaste por abrasión set óptimo M5.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M5	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	12,8
ABRASIÓN 1 HORA	190,6
ABRASIÓN 6 DÍAS	194

Tabla 55. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M5.

COHESIÓN HÚMEDA M5	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	15
1	20
1,5	24
2	22

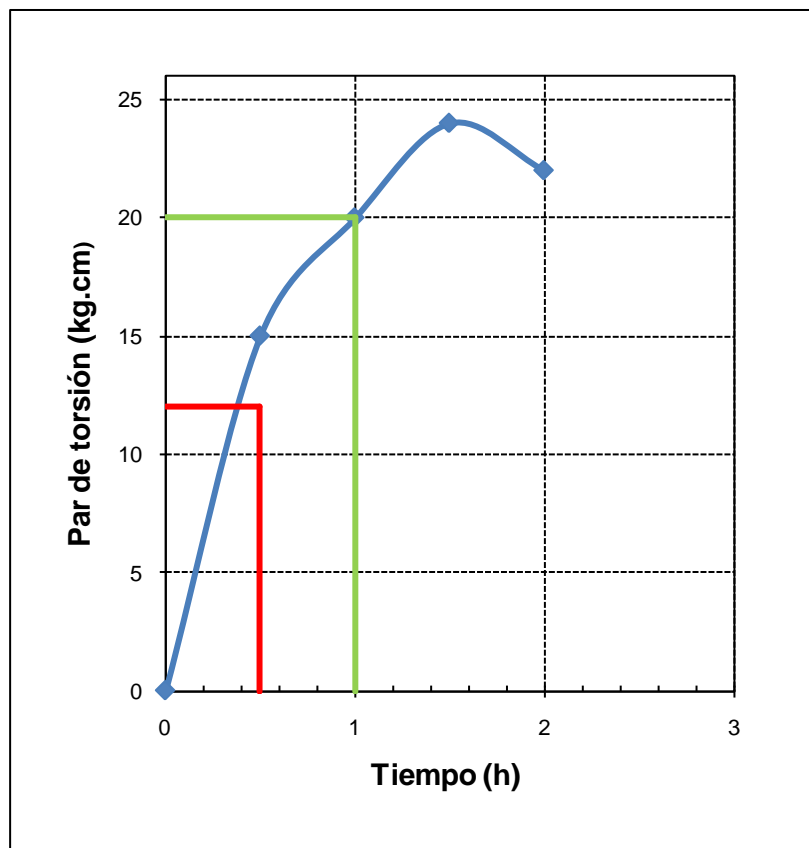


Gráfico 23. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M5.

Muestra 6, (AG+CQS 1H (EW)):

Las muestras pertenecientes al set 6, se confeccionaron con 13% de emulsión y 10% de agua.

Tabla 56. Desgaste por abrasión set óptimo M6.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M6	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	13
ABRASIÓN 1 HORA	266
ABRASIÓN 6 DÍAS	485



Tabla 57. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M6.

COHESIÓN HÚMEDA M6	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	19
1	23
1,5	23
2	23

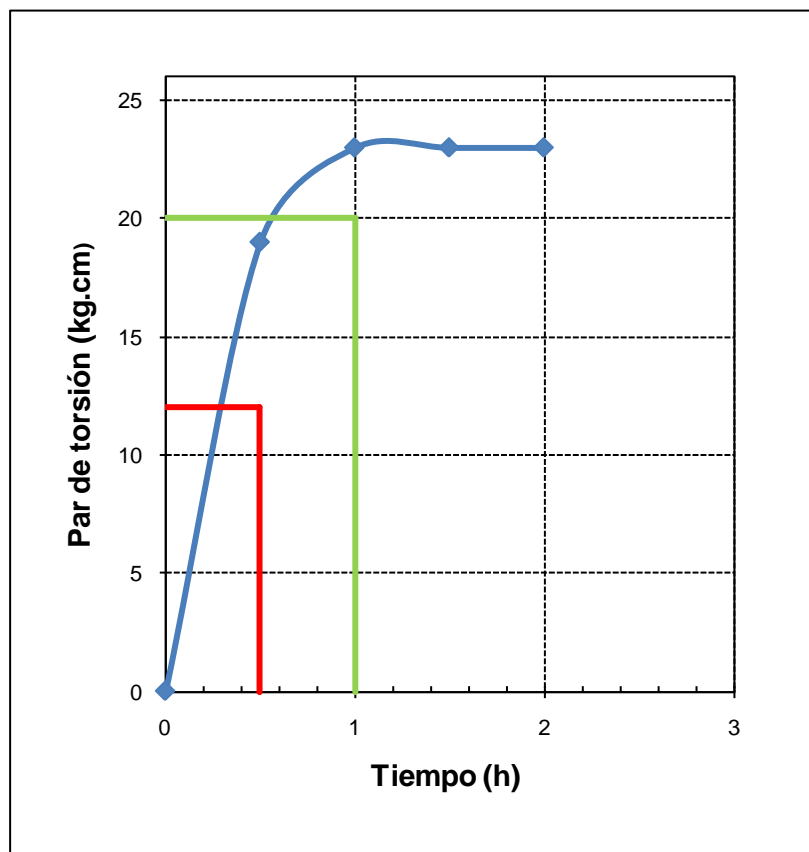


Gráfico 24. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M6.

Muestra 7, (AN+CQS 1H (EA)):

El set de la muestra 7 se confeccionó con un 12,3% de emulsión y un 4,5% de agua.

Tabla 58. Desgaste por abrasión set óptimo M7.

ABRASIÓN MEDIO HÚMEDO M7	
CONTENIDO DE EMULSIÓN	12,3
ABRASIÓN 1 HORA	356
ABRASIÓN 6 DÍAS	226

Tabla 59. Par de torsión medido en el cohesiómetro, set M7.

COHESIÓN HÚMEDA M7	
Tiempo (min)	Torsión (kg.cm)
0,5	13
1	18
1,5	22
2	22

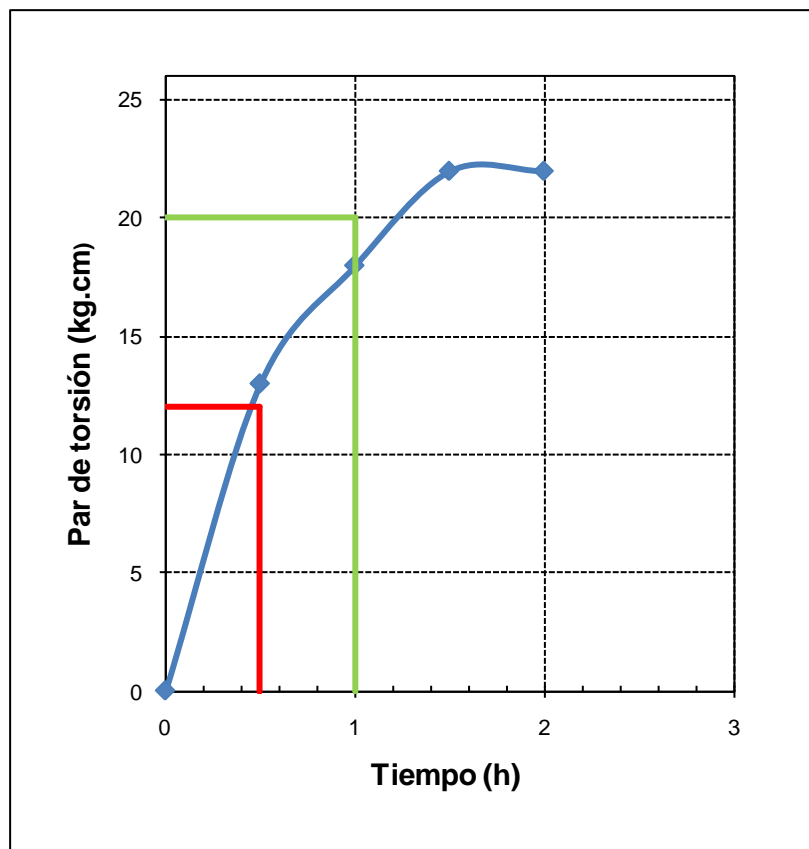


Gráfico 25. Curva de curado y de apertura al tráfico, set M7.

### 5.1.2.5. Comparación de muestras

De forma de lograr comparar los resultados obtenidos para las diferentes muestras, se presenta el siguiente resumen:

#### Consistencia de mezcla asfáltica

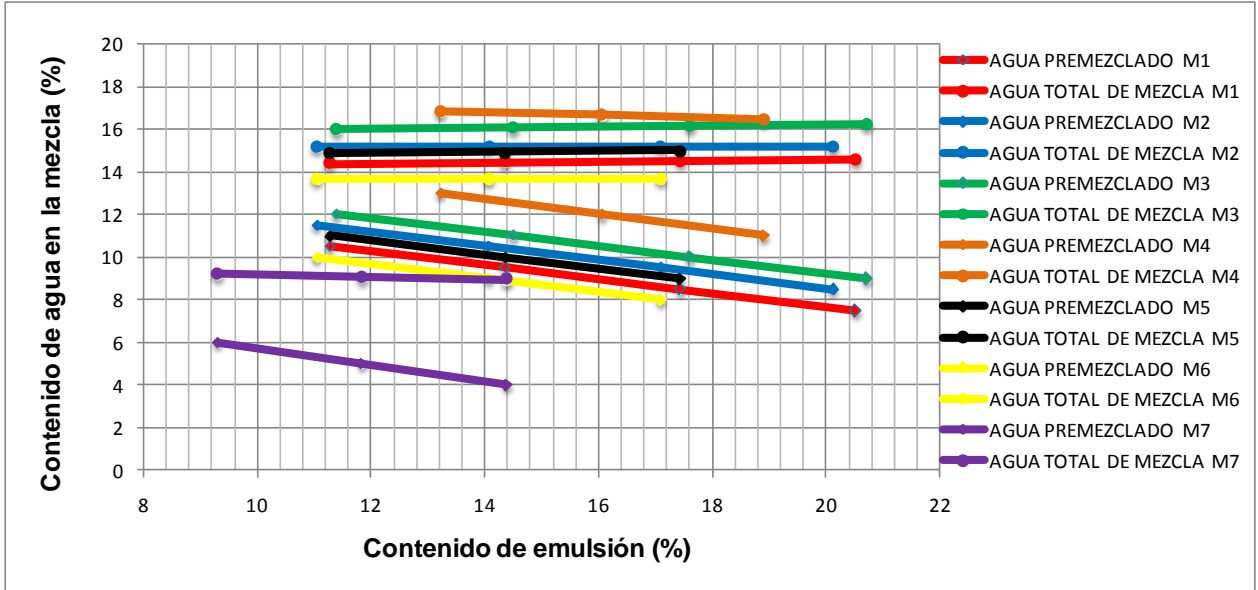


Gráfico 26. Variación del contenido de agua para los diferentes sets de muestras.

## Cohesión húmeda

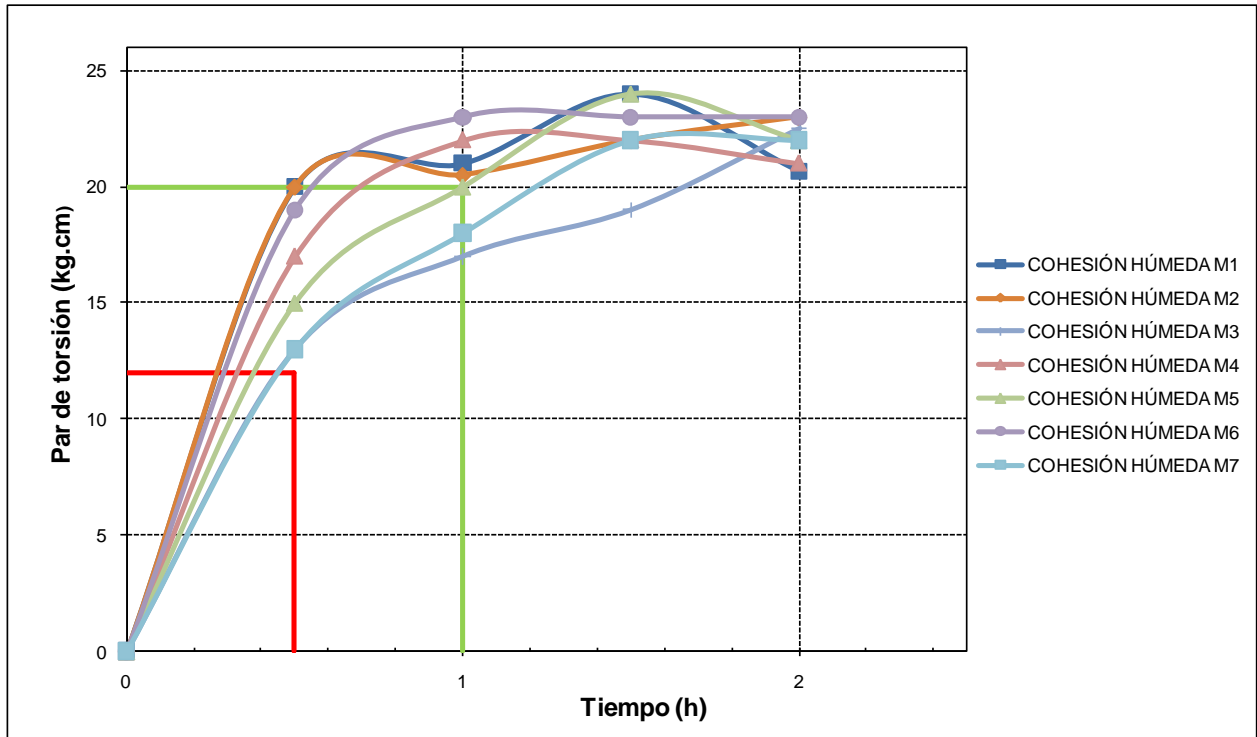


Gráfico 27. Curva de curado y de apertura al tráfico de los diferentes sets de muestras.

A continuación se presenta tablas resúmenes con los contenidos del óptimo de diseño, sus ensayos y fotografías de las probetas ensayadas por abrasión a los 6 días de sumergido en agua:

Tabla 60. Contenido de los óptimos de diseño.

ÓPTIMOS DE DISEÑO						
	Óptimo Teórico [%]	Óptimo Diseño [%]	Residuo Asfáltico de la emulsión [%]	Asfalto Residual Equivalente [%]	Agua de premezcla [%]	Agua total de mezcla [%]
M1 (AF+ EA CQS 1H (EA) )	20,5	14,1	65,6	9,2	9,5	14,4
M2 (AF+ EA CQS 1H (EW) )	20,1	12,7	66,8	8,5	10,0	14,2
M3 (AF+ EA ERCM )	20,7	12,5	65	8,1	10,5	14,9
M4 (AF+ EA BITUFLEX LC )	18,9	14,3	71,0	10,2	11,5	15,6
M5 (AG+ EA CQS 1H (EA) )	20,5	12,8	65,6	8,4	10,0	14,4
M6 (AG+ EA CQS 1H (EW) )	20,1	13,0	66,8	8,7	9,5	13,8
M7 (AN+ EA CQS 1H (EA))	16,9	12,3	65,6	8,1	4,0	8,2

Tabla 61. Resultado de los ensayos mecánicos a los óptimos de diseños.

ENSAYOS MECÁNICOS PARA EL ÓPTIMO DE DISEÑO					
	Adhesión de arena [g/cm <sup>2</sup> ]	Abrasión (AMH) [g/cm <sup>2</sup> ]		Cohesión [kg.cm]	
		1 hora	6 días	0,5 hora	1 hora
M1 (AF+ EA CQS 1H (EA) )	199	206	177	20	21
M2 (AF+ EA CQS 1H (EW) )	275	278	574	20	21
M3 (AF+ EA ERCM )	295	295	213	13	17
M4 (AF+ EA BITUFLEXLC )	255	255	133	17	22
M5 (AG+ EA CQS 1H (EA) )	190	190	194	15	20
M6 (AG+ EA CQS 1H (EW) )	267	266	485	19	23
M7 (AN+ EA CQS 1H (EA))	352	356	266	13	18

Tabla 62. Contenido del diseño de mezcla.

DISEÑO DE MEZCLA		
	Óptimo Diseño [%]	Agua de premezcla [%]
M1 (AF+ EA CQS 1H (EA) )	14,1	9,5
M2 (AF+ EA CQS 1H (EW) )	12,7	10,0
M3 (AF+ EA ERCM )	12,5	10,5
M4 (AF+ EA BITUFLEXLC )	14,3	11,5
M5 (AG+ EA CQS 1H (EA) )	12,8	10,0
M6 (AG+ EA CQS 1H (EW) )	13,0	9,5
M7 (AN+ EA CQS 1H (EA))	12,3	4,0

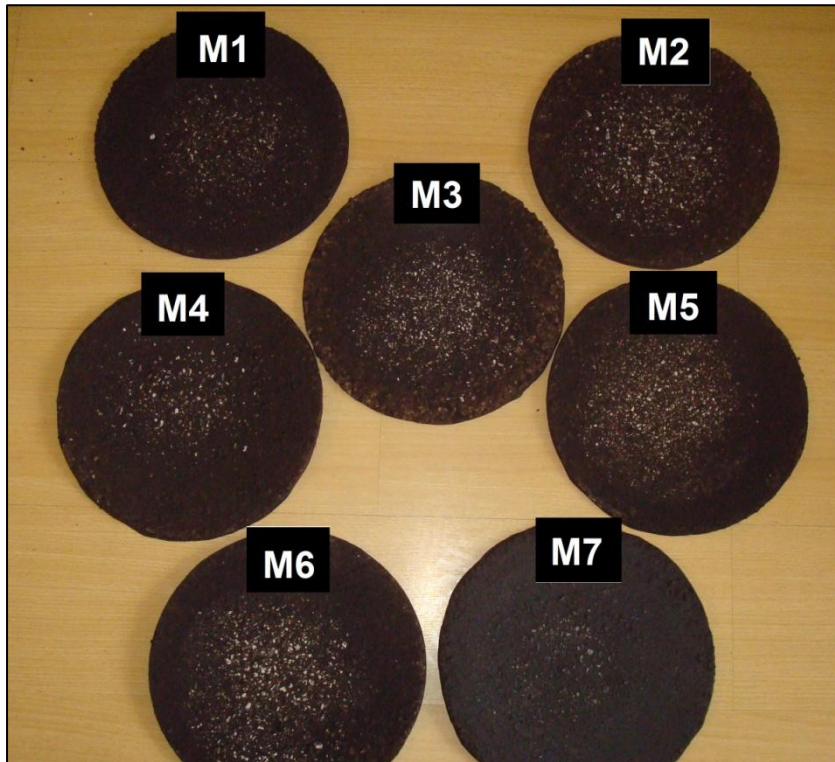


Figura 22. Probetas ensayadas por abrasión a los 6 días sumergida en agua.

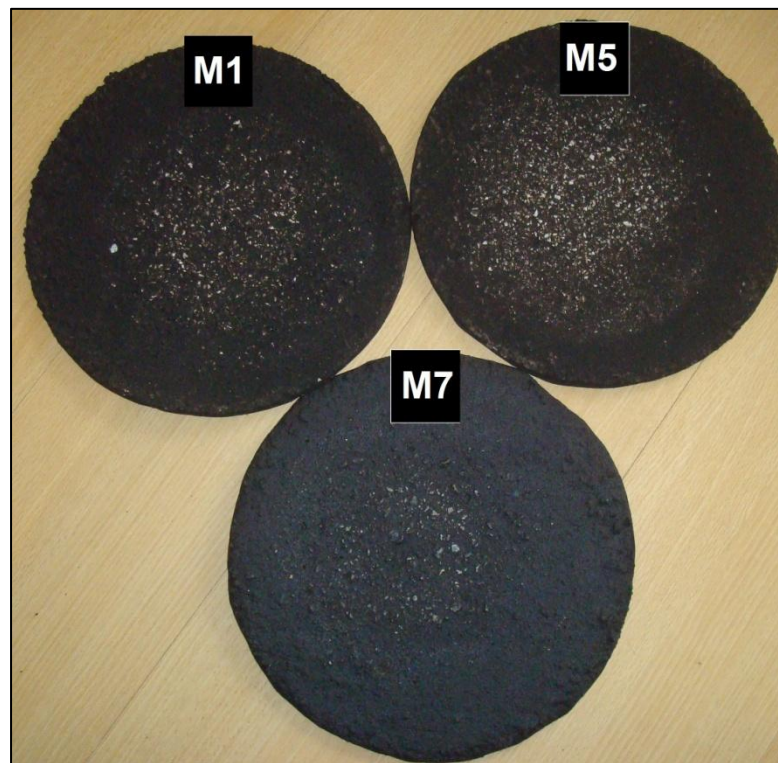


Figura 23. Probetas confeccionadas con diferente árido y una misma emulsión.

## Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

#### Caracterización

- Gran parte de los valores obtenidos en los ensayos realizados para la caracterización del árido reciclado, cumplen con los requisitos dispuestos en el Volumen N°5 del Manual de Carreteras, salvo el ensayo de Adherencia Riedel – Weber. Esto se debe en gran parte al alto porcentaje de absorción de agua que presenta este tipo de áridos, el cual necesariamente requiere un porcentaje de agua de premezcla para compatibilizar con la emulsión.

#### Diseño del micropavimento

- En la confección de los sets de muestras, se cumplió a cabalidad con la teoría, a medida que disminuye la cantidad de emulsión en la mezcla, se requiere una mayor cantidad de agua de pre mezcla, manteniéndose constante la cantidad total de agua, o sea que resultan inversamente proporcionales las cantidades de agua y emulsión.
- Debido al alto porcentaje de absorción de agua del árido reciclado, la cantidad de agua de premezclado necesaria para obtener una buena trabajabilidad se debe duplicar en comparación a la del árido natural.
- En la elaboración de las probetas, se requiere gran experiencia al momento de enrazar la superficie, debido que el quiebre de la emulsión dificulta de gran forma la colocación en los moldes, produciendo que áridos gruesos no queden completamente cubiertos.
- Para los áridos reciclados, no se presenta una ideal compatibilidad entre los áridos y la emulsión, como si se presenta en los áridos naturales. Esta

compatibilidad se ve apreciada en la trabajabilidad de la mezcla para ser colocada y enrazada en las probetas.

- Debido a la mayor cantidad de agua presente en las probetas de árido reciclado, es necesario aumentar los tiempos de secado en horno, para lograr que las probetas logren masa constante.

#### Ensayo de Abrasión Medio Húmedo

- En la ejecución del ensayo es de suma importancia asegurar que las probetas se encuentren completamente secas (masa constante) antes de ser sumergidas en agua y posterior al ser ensayadas, debido que la existencia de humedad puede provocar un aumento considerable en los resultados, o valores muy despreciables, no lográndose el objetivo del ensayo.
- Este ensayo resulta muy sensible a la variación de emulsión cuando se encuentra en la zona del rango mínimo, pues a partir de un cierto punto, las probetas sufren gran desprendimiento, alcanzando incluso a destruirlas.
- En su rango máximo, el desprendimiento es casi nulo, provocando que la cabeza abrasiva de caucho casi se deslice sobre la superficie de la probeta. Este efecto resulta perjudicial para el tránsito de vehículos, debido que no se produce roce entre el neumático y la superficie, pudiendo producir accidentes.
- Todo los óptimos seleccionados cumplieron con los requisitos de abrasión a los 6 días de sumergido en agua, aunque era de esperar que los desgastes producidos fuesen superior a los de sumergido a 1 hora. Estos valores pueden ser atribuible a los factores anteriormente mencionados.
- Los desgastes producidos en las probetas de árido reciclado, se aprecian con un aspecto visual de mayor deterioro que las confeccionadas con árido natural,



debido que el árido al poseer cemento en su fino y mortero en los gruesos, al desgastarse se produce un efecto de limadura sobre la superficie.

#### Ensayo de Adherencia de arenas

- Este ensayo no presentó mayor complejidad en su ejecución, debido que no es muy incidente el recubrimiento completo de las partículas al momento de ser elaboradas las probetas, ni tampoco la colocación de la probeta en el equipo.
- Los valores obtenidos en su mayoría cumplen un comportamiento lineal, dentro del margen de emulsión, por lo cual resulta predecible los valores obtenidos entre puntos ensayados.
- El comportamiento de las probetas en sus límites produce una desintegración de la probeta cuando se encuentra en su mínimo y una deformación en su límite máximo.
- Las probetas con árido reciclado y natural no presentan mayor diferencia, salvo que al ser ejecutado los ciclos de carga, se apreciaba un desgaste en la superficie de las probetas con árido reciclado, lo que es insignificante.

#### Ensayo de cohesión

- A pesar de existir un alto porcentaje de agua en las mezclas con árido reciclado, se obtuvieron excelentes resultados, lográndose cumplir el requisito de curado y apertura al tráfico para casi todas las mezclas, excepto para una de las muestras donde la apertura se lograría cercana a las 2 horas. Esto se debe a que el árido en su estructura presenta cemento, el cual es un muy buen aditivo para la cohesión en micropavimentos.

- Para el árido natural, no se lograron buenos valores de cohesión, debido que aunque cumplió con el plazo de curado, éste no cumplió con los plazos de apertura al tráfico a la hora de confección.

## Generales

- La alta demanda de agua en la fabricación de micropavimentos a partir de áridos reciclados, no resulta un inconveniente de diseño, pues cumple con los requisitos principales de un micropavimento. Esto se puede explicar debido a la existencia de cemento en la estructura del árido, el cual se encarga de la absorción del agua libre en la mezcla y además otorga adherencia.
- Si bien se logra el diseño de micropavimentos y con un valor de asfalto residual dentro del rango permitido (5,5 - 9,5%), resulta muy costoso para las empresas considerar estos óptimos, por lo cual es recomendable realizar un estudio acabado de los costos totales de producción de un árido de estas características.

## Recomendaciones

### Caracterización

- El ensayo de Azul de metileno, resulta un buen indicador del comportamiento del árido en la mezcla, por lo que sería recomendable considerar en futuras experiencias.

### Ensayo de Abrasión Medio Húmedo

- En la confección del ensayo es recomendable ser ejecutado por una misma persona, debido que los desgastes producidos dependen de gran forma de la colocación de la probeta en el equipo, pues se deben regular manualmente.

## Generales

- Al variar las granulometrías en el árido reciclado (material con/sin material retenido en malla  $\frac{1}{4}$ "), no se aprecia mayores diferencias en los resultados de los ensayos mecánicos, como si en el proceso de enrazado de probetas, donde se dificulta el trabajar con material retenido en  $\frac{1}{4}$ ". Por lo cual sería recomendable, la eliminación de este material, para el trabajo en laboratorio, pues la colocación en terreno resulta más fácil y con mejores terminaciones debido al equipo utilizado.
- El cálculo del óptimo de diseño planteado en esta investigación resulto muy favorable, debido que se emplean menos puntos de contenido de emulsión, lo que se traduce en una menor cantidad de probetas a ensayar.
- Como recomendación, se plantea realizar la construcción de una cancha de prueba para conocer el verdadero desgaste que presenta la confección de un micropavimento a partir de materiales reciclados.
- Se plantea continuar la investigación desarrollando emulsiones asfálticas diseñadas para cumplir una completa compatibilidad con los áridos reciclados de hormigón.

## Bibliografía

1. **MANUAL DE CARRETERAS**, Dirección de Vialidad, Gobierno de Chile.  
Volumen N°5, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción. (2010)  
Volumen N°8, Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control (2010)
2. **DESIGN TECHNICAL BULLETINS**, (2005). “International Slurry Surfacing Association”.
3. **NORMA ESPAÑOLA**,  
NLT-320/87, “Abrasión por vía húmeda de las lechadas bituminosas”.  
NLT-323/93, “Método de Ensayo para Clasificar las Lechadas Bituminosas por medida del Par de Torsión, en el Cohesiómetro, en Función del Tiempo de Curado”.
4. **ROBERTS F, KANDHAL P, RAY BROWN E**, (1991). “Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design & Construction”. Estados Unidos.
5. **U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION**, (1994). “State of the Practice Design, Construction, and Performance of Micro-surfacing”.
6. **ASFALCHILE**, “Pavimentación”.
7. **CALDERÓN E**, (1996). “Caracterización de Lechadas Asfálticas mediante el Método del Cohesiómetro”. Universidad Católica de Valparaíso.
8. **CHAUVEINC J**, (2011). “Estudio Experimental de Propiedades Mecánicas de Hormigones con Árido Reciclado mediante la Modificación del Método de Mezclado del Hormigón”.
9. **NAREA D**, (2006). “Reutilización de material asfáltico, en base de pavimentos”

10. **LÓPEZ F**, (2008). "Influencia de la Variación de los Parámetros de Dosificación y Fabricación de Hormigón Reciclado Estructural sobre sus Propiedades Físicas y Mecánicas". Universidad de Oviedo, España.
11. **RIOJA H**. Lechadas Asfálticas: "Determinación del Asfalto Teórico".
12. **COMISIÓN NACIONAL DE ÁRIDOS, CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO**, (2001). "Industria del Árido en Chile", Tomo I: Sistematización de Antecedentes Técnicos y Ambientales.
13. **DEPARTAMENTO DE GESTIÓN VIAL**, (2010). "Proposiciones de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada y Bermas para Caminos Pavimentados de la Red Vial Nacional". Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
14. **NAVARRO L**, (2010). "El Megasismo y la Gestión Ambiental de Escombros y Materiales de Construcción". Universidad Central.
15. **NIKOLAIDES A.F.** "New Design Method for Dense Cold Mixtures". Department of Civil Engineering, University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.

## **Anexo A**

### **Tablas**

ÁRIDOS			
IDENTIFICACIÓN		M1	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Hormigón H30 Chancado	
PROCEDENCIA		Santiago	
GRANULOMETRÍA			
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica TIPO C-1
ASTM	mm		
1/2"	12,5	100	100
3/8"	10	100	85--98
Nº 4	5	77	62--80
Nº 8	2,5	55	41--61
Nº 16	1,25	40	28--46
Nº 30	0,63	28	18--34
Nº 50	0,315	19	11--23
Nº 100	0,16	12	6--15
Nº 200	0,08	6,7	4--9
CARACTERÍSTICAS AGREGADO			
GRAVA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.542
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.459
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.681
ABSORCIÓN DE AGUA		%	3,4
ARENA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.305
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.190
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.475
ABSORCIÓN DE AGUA		%	5,3
MATERIAL COMPLETO			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.411
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.311
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.568
ABSORCIÓN DE AGUA		%	4,4
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100,0
PARTÍCULAS RODADAS		%	0
PARTÍCULAS LAJEADAS		%	0,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N.P
EQUIVALENTE DE ARENA		%	97,0
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	24,7
ÍNDICE TRITURACIÓN [10-2,5 mm]		%	7,8
ÍNDICE TRITURACIÓN [2,5-0,63 mm]		%	4,4
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]		%	9,2
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]		%	6,6
AZUL DE METILENO		ml	5,5
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			no cumple
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95
RESIDUO EMULSIÓN		%	65,6
ECK CORREGIDO		%	7,3
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	36,5
EMULSIÓN			
IDENTIFICACIÓN		CQS-1h ( E ) E-8 Química Latinoamericana S.A. DOC. Nº 138	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK			
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	%	65,6	
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	%	20,5	(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	%	13,4	(referido a al peso de árido seco)
MEZCLAS DE PRUEBA			
Mezcla	1	:	100 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	70 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	4	:	55 % de contenido de emulsión teórico

MEZCLA		1	2	3	4
TIPO DE EMULSIÓN		CQS-1h ( E ) E-8			
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	20,5	17,4	14,4	11,3
AGUA PREMEZCLADO	%	7,5	8,5	9,5	10,5
CONSISTENCIA	cm	2,7	2,5	2,4	2,5
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	68,9	90	165	462
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	613	369	219	101
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	13,4	11,4	9,4	7,4
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	14,6	14,5	14,4	14,4
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120	120

NOTA:

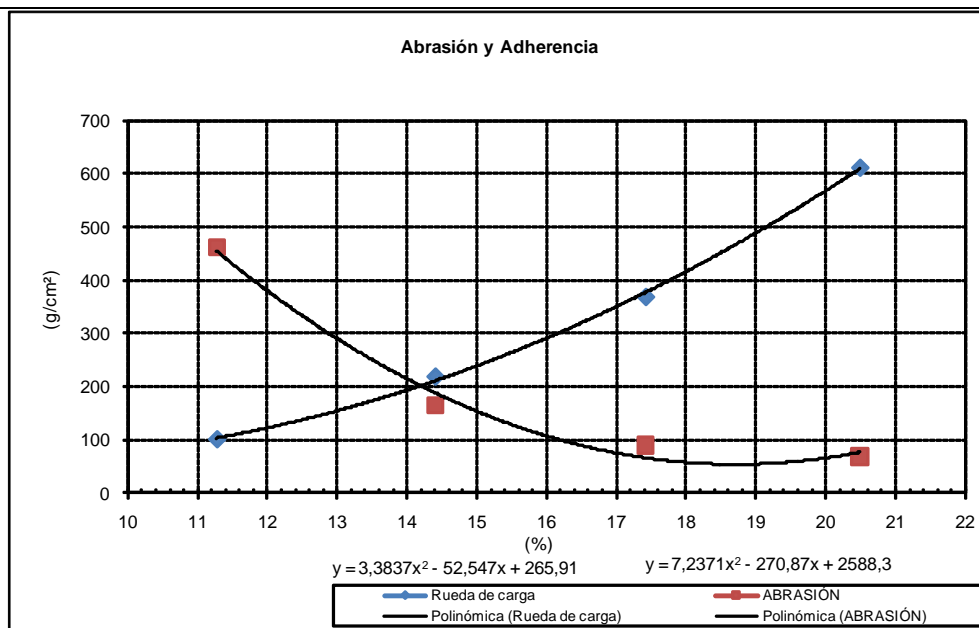
- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

#### DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN

CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE AMH	10,5	%
CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE RUEDA DE CARGA <sup>(5)</sup>	19,6	%
CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN	15,1	%

#### DOSIS RECOMENDADA PARA LA MEZCLA

CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	14,1 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	9,5 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	9,2	(referido al peso de árido seco)





Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada														
INFORMACIÓN GENERAL														
Fecha de Ensayo														
Solicitante														
Laboratorista														
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA														
Tipo de muestra	Emulsión CQS-1h (E) E-8													
OT		100%			85%			70%			55%			
Emulsión	%	20,5			17,4			14,4			11,3			
Agua	%	7,5			8,5			9,5			10,5			
Aditivo	%	-			-			-			-			
DESGASTE POR ABRASIÓN														
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	633,1	725,7	658	709,8	729,4	671,2	710,9	638,1	757,8	732,5	689,6	703,4	g
Masa Final	Mf	631,4	722,9	656,2	707,2	726,8	668,2	706,6	634	751,1	717,7	678,8	686,7	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	56	92	59	85	85	98	141	134	220	485	354	548	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	69			90			165			462			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA														
Masa Inicial	Mi	403,2	368,9	364,6	367,4	383	373,8	371,4	353,2	359,7	379,1	354,9	368,5	g
Masa Final	Mf	411,2	377,6	372,8	372	388,3	378,9	374,6	356	362,6	380,1	356,6	369,9	g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	590	642	605	339	391	376	236	207	214	74	125	103	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	613			369			219			101			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M1			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	13	13
	2	14	
	3	12	
1	1	17	17
	2	16	
	3	17	
1,5	1	20	19
	2	18	
	3	20	
2	1	23,5	23
	2	22	
	3	22	

ÁRIDOS			
IDENTIFICACIÓN		M2	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Hormigón H30 Chancado	
PROCEDENCIA		Santiago	
GRANULOMETRÍA			
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica TIPO C-1
ASTM	mm		
1/2"	12,5	100	100
3/8"	10	100	85--98
Nº 4	5	77	62--80
Nº 8	2,5	55	41--61
Nº 16	1,25	40	28--46
Nº 30	0,63	28	18--34
Nº 50	0,315	19	11--23
Nº 100	0,16	12	6--15
Nº 200	0,08	6,7	4--9
CARACTERÍSTICAS AGREGADO			
GRAVA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.542
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.459
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.681
ABSORCIÓN DE AGUA		%	3,4
ARENA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.305
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.190
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.475
ABSORCIÓN DE AGUA		%	5,3
MATERIAL COMPLETO			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.411
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.311
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.568
ABSORCIÓN DE AGUA		%	4,4
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100,0
PARTÍCULAS RODADAS		%	0
PARTÍCULAS LAJADAS		%	0,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N,P
EQUIVALENTE DE ARENA		%	97,0
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	24,7
ÍNDICE TRITURACIÓN [10-2,5 mm]		%	7,8
ÍNDICE TRITURACIÓN [2,5-0,63 mm]		%	4,4
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]		%	9,2
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]		%	6,6
AZUL DE METILENO		ml	no cumple
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			5,5
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95
RESIDUO EMULSIÓN		%	66,8
ECK CORREGIDO		%	7,3
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	36,5
EMULSIÓN			
IDENTIFICACIÓN		CQS-1h ( E ) E-10 Química Latinoamericana S.A. DOC. Nº 139	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK			
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	(%)	66,8	
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	(%)	20,1	(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	(%)	13,4	(referido a al peso de árido seco)

**MEZCLAS DE PRUEBA**

Mezcla	1	:	100 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	70 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	4	:	55 % de contenido de emulsión teórico

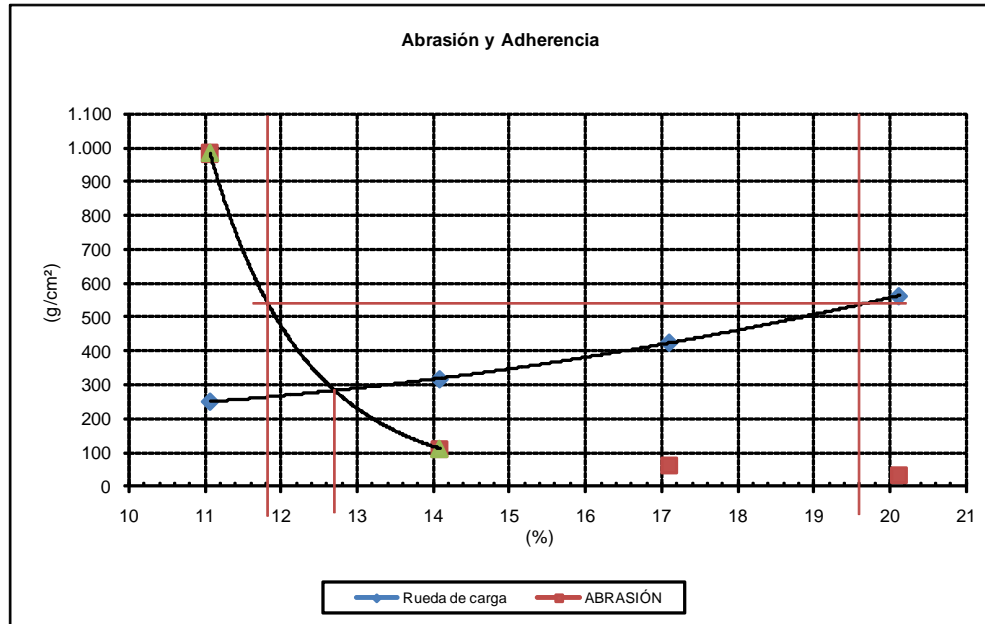
MEZCLA		1	2	3	4
TIPO DE EMULSION		CQS-1h ( E ) E-10			
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	20,1	17,1	14,1	11,1
AGUA PREMEZCLADO	%	8,5	9,5	10,5	11,5
CONSISTENCIA	cm	2,6	2,4	2,4	2,6
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	33,9	62	112	984
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	563	426	317	251
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	13,4	11,4	9,4	7,4
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	15,2	15,2	15,2	15,2
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120	120

NOTA:

- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

**DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE AMH		11,8	%
CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE RUEDA DE CARGA <sup>(5)</sup>		19,6	%
CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN		15,7	%
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	12,7 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	10 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	8,5	(referido al peso de árido seco)



Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada														
INFORMACIÓN GENERAL														
Fecha de Ensayo														
Solicitante														
Laboratorista														
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA														
Tipo de muestra	Emulsión CQS-1h ( E ) E-10													
OT		100%			85%			70%			55%			
Emulsión	%	20,1			17,1			14,1			11,1			
Agua	%	8,5			9,5			10,5			11,5			
Aditivo	%	-			-			-			-			
DESGASTE POR ABRASIÓN														
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	792,2	694,8	664,2	704,2	800	671	661,7	758,6	744,5	741	721,2	734,2	g
Masa Final	Mf	791,2	693,8	663,1	703,4	798,9	669,1	659,6	755,6	741,1	709,2	656,7	704,2	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	33	33	36	-	-	62	-	-	112	-	-	984	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	34			62			112			984			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA														
Masa Inicial	Mi	358,5	345,4	356,6	366,6	355,4	360,7	370,3	384,8	379,5	383,1	385,3	380	g
Masa Final	Mf	366	353,2	364,2	373,1	360,6	366,3	375,3	389	383,2	387,3	388,1	383,2	g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	554	576	561	480	384	413	369	310	273	310	207	236	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	563			426			317			251			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M2			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	19	20
	2	21	
	3	20	
1	1	22	21
	2	21,5	
	3	18	
1,5	1	23	22
	2	23	
	3	20	
2	1	25	23
	2	21	
	3	23	

ARIDOS				
IDENTIFICACIÓN		M3		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Hormigon H30 Chancado		
PROCEDENCIA		Santiago		
GRANULOMETRÍA				
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica	
ASTM	mm		TIPO C-1	
1/2"	12,5	100	100	
3/8"	10	100	85--98	
Nº 4	5	77	62--80	
Nº 8	2,5	55	41--61	
Nº 16	1,25	40	28--46	
Nº 30	0,63	28	18--34	
Nº 50	0,315	19	11--23	
Nº 100	0,16	12	6--15	
Nº 200	0,08	6,7	4--9	
CARACTERISTICAS AGREGADO				
GRAVA				
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.542	
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.459	
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.681	
ABSORCIÓN DE AGUA		%	3,4	
ARENA				
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.305	
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.190	
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.475	
ABSORCIÓN DE AGUA		%	5,3	
MATERIAL COMPLETO				
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.411	
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.311	
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.568	
ABSORCIÓN DE AGUA		%	4,4	
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100,0	
PARTÍCULAS RODADAS		%	0	
PARTÍCULAS LAJEADAS		%	0,5	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N.P	
EQUIVALENTE DE ARENA		%	97,0	
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	24,7	
ÍNDICE TRITURACIÓN [10-2,5 mm]		%	7,8	
ÍNDICE TRITURACIÓN [2,5-0,63 mm]		%	4,4	
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]		%	9,2	
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]		%	6,6	
AZUL DE METILENO		ml	5,5	
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			no cumple	
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95	
RESIDUO EMULSIÓN		%	65,0	
ECK CORREGIDO		%	7,3	
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	36,5	
EMULSIÓN				
IDENTIFICACIÓN		ERCM Productos Bituminosos S.A C.C. N° 33800		
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK				
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	%	65,0		
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	%	20,7		(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	%	13,4		(referido a al peso de árido seco)

**MEZCLAS DE PRUEBA**

Mezcla	1	:	100 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	70 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	4	:	55 % de contenido de emulsión teórico

MEZCLA		1	2	3	4
TIPO DE EMULSIÓN		ERCM			
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	20,7	17,6	14,5	11,4
AGUA PREMEZCLADO	%	9,0	10,0	11,0	12,0
CONSISTENCIA	cm	2,5	2,4	2,6	2,4
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	41,5	42	48	628
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	554	401	231	216
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	13,5	11,4	9,4	7,4
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	16,2	16,2	16,1	16,0
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120	120

NOTA:

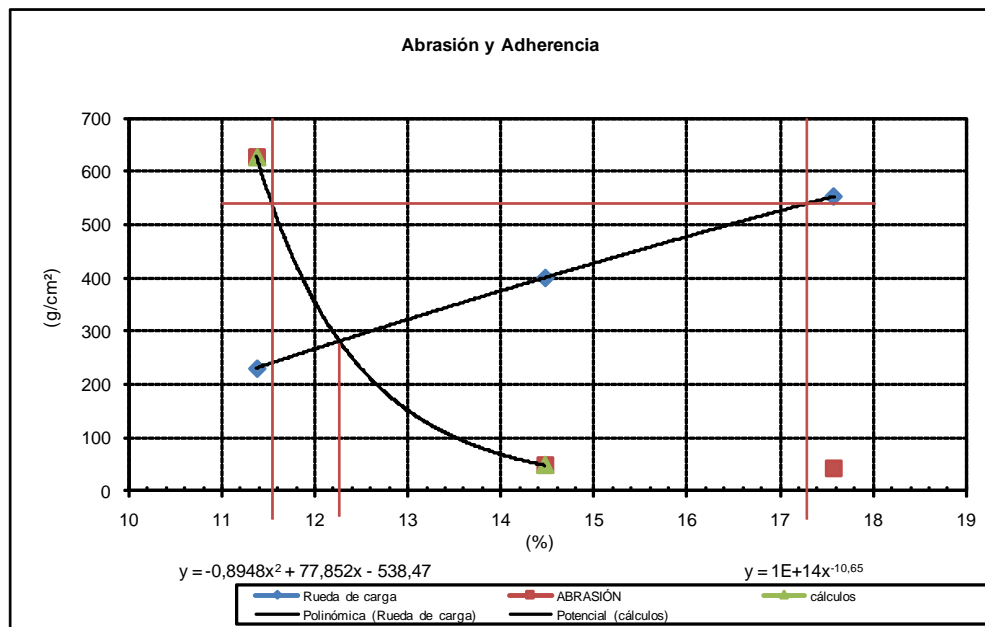
- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

**DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE AMH	11,5	%
CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE RUEDA DE CARGA <sup>(5)</sup>	17,3	%
CONTENIDO OPTIMO DE EMULSION	14,4	%

**DOSIS RECOMENDADA PARA LA MEZCLA**

CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	12,5 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	10,5 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	8,1	(referido al peso de árido seco)



Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada														
INFORMACIÓN GENERAL														
Fecha de Ensayo														
Solicitante														
Laboratorista														
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA														
Tipo de muestra	Emulsión ERCM													
OT		100%			85%			70%			55%			
Emulsión	%	20,7			17,6			14,5			11,4			
Agua	%	9			10			11			12			
Aditivo	%	-			-			-			-			
DESGASTE POR ABRASIÓN														
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	777,5	649	707,4	766,5	715,7	715	675,8	727,5	627,2	669,6	757	782,7	g
Masa Final	Mf	776,5	647,4	706,2	764,7	714,8	713,9	673,8	726	626,3	649,5	745,3	757,1	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	33	52	39	59	30	36	66	49	30	659	384	840	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	42			42			48			628			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA														
Masa Inicial	Mi	379,2	336,1	359,7	370,2	364,7	353,7	351	395,1	361,9	394	381	384	g
Masa Final	Mf	386,9	343,8	366,8	374,6	370,4	359,9	354,3	398	365,1	398	383,3	386,5	g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	568	568	524	325	421	458	244	214	236	295	170	185	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	554			401			231			216			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M3			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	21,5	19
	2	17,5	
	3	17	
1	1	25	23
	2	20,5	
	3	23	
1,5	1	19	23
	2	26	
	3	24	
2	1	23	23
	2	23	
	3	23	

ÁRIDOS			
IDENTIFICACIÓN		M4	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Hormigón H30 Chancado	
PROCEDENCIA		Santiago	
GRANULOMETRÍA			
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica TIPO C-1
ASTM	mm		
3/8"	10	100	100
1/4"	6,3	100	-
Nº 4	5	77	70--90
Nº 8	2,5	55	45--70
Nº 16	1,25	40	28--50
Nº 30	0,63	28	18--34
Nº 50	0,315	19	12--25
Nº 100	0,16	12	7--17
Nº 200	0,08	6,7	5--11
CARACTERÍSTICAS AGREGADO			
GRAVA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.542
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.459
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.681
ABSORCIÓN DE AGUA		%	3,4
ARENA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.305
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.190
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.475
ABSORCIÓN DE AGUA		%	5,3
MATERIAL COMPLETO			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.411
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.311
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.568
ABSORCIÓN DE AGUA		%	4,4
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100,0
PARTÍCULAS RODADAS		%	0
PARTÍCULAS LAJEADAS		%	0,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N.P
EQUIVALENTE DE ARENA		%	97,0
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	24,7
ÍNDICE TRITURACIÓN [10-2,5 mm]		%	7,8
ÍNDICE TRITURACIÓN [2,5-0,63 mm]		%	4,4
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]		%	9,2
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]		%	6,6
AZUL DE METILENO		ml	5,5
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			no cumple
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95
RESIDUO EMULSIÓN		%	71,0
ECK CORREGIDO		%	7,3
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	36,5
EMULSION			
IDENTIFICACIÓN		BITUFLEX LC ASFALCHILE Mobil C.C. N° 9020	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK			
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	%	71,0	
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	%	18,9	(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	%	13,4	(referido a al peso de árido seco)



**MEZCLAS DE PRUEBA**

Mezcla	1	:	100 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	70 % de contenido de emulsión teórico

MEZCLA		1	2	3
TIPO DE EMULSIÓN		BITUFLEX LC		
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	18,9	16,1	13,2
AGUA PREMEZCLADO	%	11,0	12,0	13,0
CONSISTENCIA	cm	2,5	2,5	2,5
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	130	165	326
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	499	384	182
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	13,4	11,4	9,4
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	16,5	16,7	16,8
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120

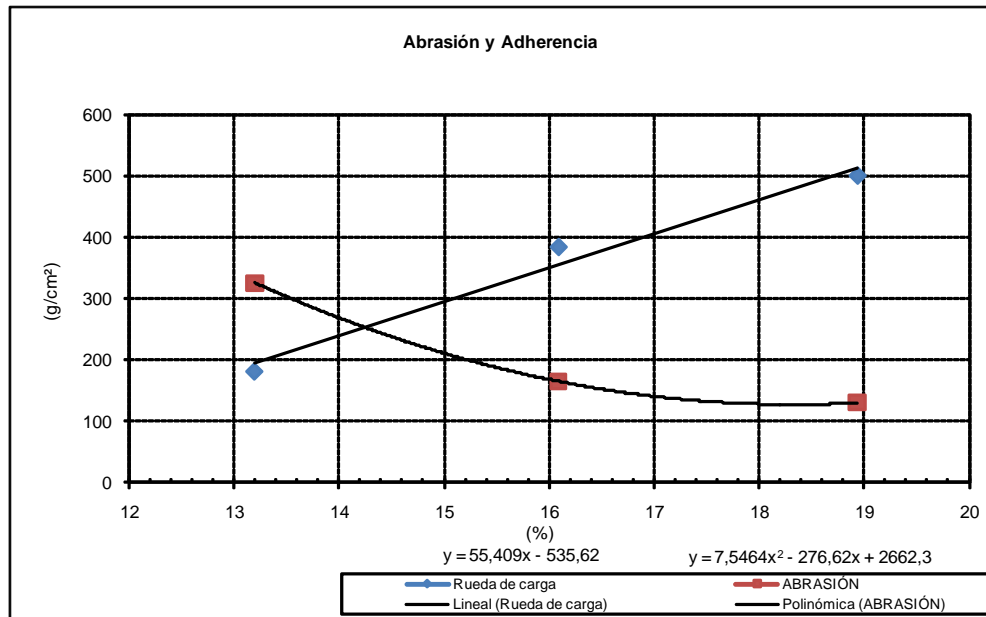
NOTA:

- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

**DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

**DOSIS RECOMENDADA PARA LA MEZCLA**

CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	14,3 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	11,5 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	10,2	(referido al peso de árido seco)



Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada											
INFORMACIÓN GENERAL											
Fecha de Ensayo											
Solicitante											
Laboratorista											
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA											
Tipo de muestra	Emulsión Bituflex Lc										
OT		100%			85%			70%			
Emulsión	%	18,9			16,1			13,2			
Agua	%	11			12			13			
Aditivo	%	-			-			-			
DESGASTE POR ABRASION											
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	656,1	684,8	739,1	665,1	642	649,2	654	669,4	692	g
Masa Final	Mf	652,2	681,1	734,8	660,2	637,8	643,2	645,6	659,8	680,2	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	128	121	141	161	138	197	276	315	387	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	130			165			326			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA											
Masa Inicial	Mi	335,8	343,8	398,9	332,4	324,3	361,6	302,4	327,4	326,3	g
Masa Final	Mf	342,6	350,3	405,9	338	329,4	366,5	302,7	329,4	331,4	g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	502	480	517	413	376	362	22	148	376	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	499			384			182			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M4			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	18	17
	2	14	
	3	20	
1	1	25	22
	2	18	
	3	22	
1,5	1	23	22
	2	20	
	3	22	
2	1	20	21
	2	19	
	3	23	

ÁRIDOS			
IDENTIFICACIÓN		M5	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Hormigón H30 Chancado	
PROCEDENCIA		Santiago	
GRANULOMETRÍA			
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica TIPO C-1
ASTM	mm		
3/8"	10	100	100
1/4"	6,3	95	-
Nº 4	5	77	70--90
Nº 8	2,5	55	45--70
Nº 16	1,25	40	28--50
Nº 30	0,63	28	18--34
Nº 50	0,315	19	12--25
Nº 100	0,16	12	7--17
Nº 200	0,08	6,7	5--11
CARACTERÍSTICAS AGREGADO			
GRAVA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.542
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.459
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.681
ABSORCIÓN DE AGUA		%	3,4
ARENA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.305
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.190
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.475
ABSORCIÓN DE AGUA		%	5,3
MATERIAL COMPLETO			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.411
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.311
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.568
ABSORCIÓN DE AGUA		%	4,4
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100,0
PARTÍCULAS RODADAS		%	0
PARTÍCULAS LAJEADAS		%	0,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N.P
EQUIVALENTE DE ARENA		%	97,0
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	24,7
ÍNDICE TRITURACIÓN [10-2,5 mm]		%	7,8
ÍNDICE TRITURACIÓN [2,5-0,63 mm]		%	4,4
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]		%	9,2
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]		%	6,6
AZUL DE METILENO		ml	5,5
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			no cumple
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95
RESIDUO EMULSIÓN		%	65,6
ECK CORREGIDO		%	7,3
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	36,5
EMULSIÓN			
IDENTIFICACIÓN		CQS-1h ( E ) E-8 Química Latinoamericana S.A. DOC. Nº 138	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK			
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	%	65,6	
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	%	20,5	(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	%	13,4	(referido a al peso de árido seco)

**MEZCLAS DE PRUEBA**

Mezcla	1	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	70 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	55 % de contenido de emulsión teórico

MEZCLA		1	2	3
TIPO DE EMULSIÓN		CQS-1h ( E ) E-8		
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	17,4	14,4	11,3
AGUA PREMEZCLADO	%	9,0	10,0	11,0
CONSISTENCIA	cm	2,6	2,5	2,6
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	36	68	397
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	376	246	133
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	11,4	9,4	7,4
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	15,0	14,9	14,9
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120

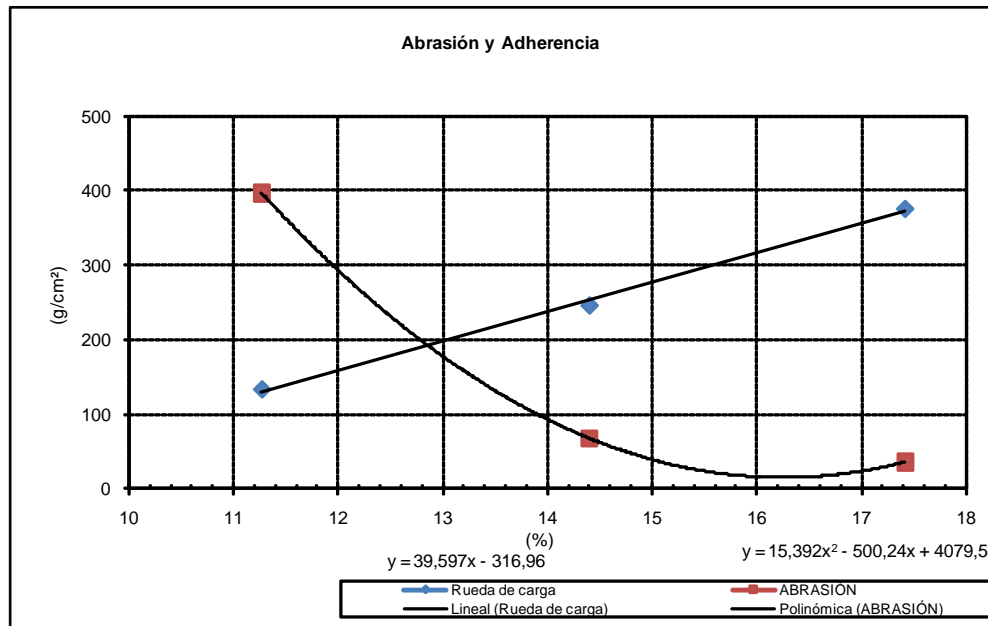
NOTA:

- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

**DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

**DOSIS RECOMENDADA PARA LA MEZCLA**

CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	12,8 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	10 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	8,4	(referido al peso de árido seco)



Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada											
INFORMACIÓN GENERAL											
Fecha de Ensayo											
Solicitante											
Laboratorista											
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA											
Tipo de muestra	Emulsión CQS-1h (E) E-8										
OT		85%			70%			55%			
Emulsión	%	17,4			14,4			11,3			
Agua	%	9			10			11			
Aditivo	%	-			-			-			
DESGASTE POR ABRASIÓN											
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	692,5		758,2	762,8	652	693,2		752,2	775,2	g
Masa Final	Mf	690,9		757,6	760,6	650,4	690,8		743,6	759,6	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	52,5		19,7	72,2	52,5	78,7		282,1	511,7	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	36			68			397			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA											
Masa Inicial	Mi	351,2	372,4	367	359	350,9	350,5	367,7	367,1		g
Masa Final	Mf	356,7	377,8	371,4	362,4	354,1	353,9	368,9	369,5		g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	406	399	325	251	236	251	89	177	0	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	376			246			133			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M5			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	15	15
	2	15,5	
	3	15	
1	1	19	20
	2	20	
	3	20	
1,5	1	23	24
	2	24	
	3	24	
2	1	23	22
	2	20	
	3	22	

ÁRIDOS			
IDENTIFICACIÓN		M6	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Hormigón H30 Chancado	
PROCEDENCIA		Santiago	
GRANULOMETRÍA			
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica TIPO C-1
ASTM	mm		
3/8"	10	100	100
1/4"	6,3	95	-
Nº 4	5	77	70--90
Nº 8	2,5	55	45--70
Nº 16	1,25	40	28--50
Nº 30	0,63	28	18--34
Nº 50	0,315	19	12--25
Nº 100	0,16	12	7--17
Nº 200	0,08	6,7	5--11
CARACTERÍSTICAS AGREGADO			
GRAVA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.542
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.459
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.681
ABSORCIÓN DE AGUA		%	3,4
ARENA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.305
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.190
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.475
ABSORCIÓN DE AGUA		%	5,3
MATERIAL COMPLETO			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.411
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.311
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.568
ABSORCIÓN DE AGUA		%	4,4
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100,0
PARTÍCULAS RODADAS		%	0
PARTÍCULAS LAJEADAS		%	0,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N.P
EQUIVALENTE DE ARENA		%	97,0
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	24,7
ÍNDICE TRITURACIÓN [10-2,5 mm]		%	7,8
ÍNDICE TRITURACIÓN [2,5-0,63 mm]		%	4,4
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [12,5 - 5 mm]		%	9,2
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS [5 - 0,315 mm]		%	6,6
AZUL DE METILENO		ml	5,5
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			no cumple
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95
RESIDUO EMULSIÓN		%	66,8
ECK CORREGIDO		%	7,3
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	36,5
EMULSIÓN			
IDENTIFICACIÓN		CQS-1h ( E ) E-10 Química Latinoamericana S.A. DOC. Nº 139	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK			
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	%	66,8	
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	%	20,1	(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	%	13,4	(referido a al peso de árido seco)

**MEZCLAS DE PRUEBA**

Mezcla	1	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	70 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	55 % de contenido de emulsión teórico

MEZCLA		1	2	3
TIPO DE EMULSIÓN		CQS-1h ( E ) E-10		
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	17,1	14,1	11,1
AGUA PREMEZCLADO	%	8,0	9,0	10,0
CONSISTENCIA	cm	2,4	2,5	2,5
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	71	106	750
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	517	300	266
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	11,4	9,4	7,4
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	13,7	13,7	13,7
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120

NOTA:

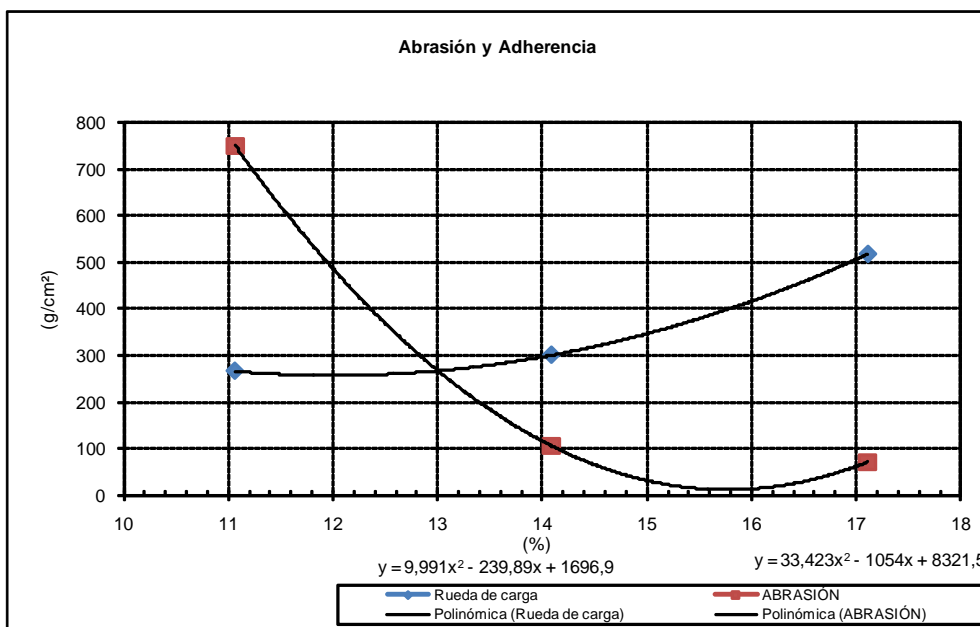
- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

**DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE AMH	11,8	%
CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE RUEDA DE CARGA <sup>(5)</sup>	17,3	%
<b>CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN</b>	<b>14,6</b>	<b>%</b>

**DOSIS RECOMENDADA PARA LA MEZCLA**

CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	13 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	9,5 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	8,7	(referido al peso de árido seco)



Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada											
INFORMACIÓN GENERAL											
Fecha de Ensayo											
Solicitante											
Laboratorista											
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA											
Tipo de muestra	Emulsión CQS-1h (E) E-8										
OT		85%			70%			55%			
Emulsión	%	17,1			14,1			11,1			
Agua	%	8			9			10			
Aditivo	%	-			-			-			
DESGASTE POR ABRASIÓN											
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	714,3	701,8	730,2	734,1	703,7	755,7	790	742	712,6	g
Masa Final	Mf	713	697,5	729,3	730	701,5	752,3	776,1	713,8	686,1	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	43	141	30	134	72	112	456	925	869	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	71			106			750			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA											
Masa Inicial	Mi	367,5	378,7	377,9	346,3	374,3	362,2	398	381,2	399,9	g
Masa Final	Mf	375,1	385,1	-	351	377,9	366,1	401,7	384,7	403,5	g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	561	472	-	347	266	288	273	258	266	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	517			300			266			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M6			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	20	20
	2	20	
	3	20	
1	1	20	21
	2	20	
	3	23	
1,5	1	25	24
	2	24	
	3	23	
2	1	22	21
	2	20	
	3	20	



ÁRIDOS			
IDENTIFICACIÓN		M7	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Polvo de Roca 3/8"	
PROCEDENCIA		Pozo Leiva- Planta Mix-Vial- Rancagua	
GRANULOMETRÍA			
TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)	Banda Granulométrica TIPO C-1
ASTM	mm		
3/8"	10	100	100
1/4"	6,3	97	-
Nº 4	5	86	70--90
Nº 8	2,5	57	45--70
Nº 16	1,25	39	28--50
Nº 30	0,63	27	18--34
Nº 50	0,315	20	12--25
Nº 100	0,16	14	7--17
Nº 200	0,08	10,3	5--11
CARACTERÍSTICAS AGREGADO			
GRAVA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.733
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.694
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.804
ABSORCIÓN DE AGUA		%	1,5
ARENA			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.676
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.646
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.728
ABSORCIÓN DE AGUA		%	1,1
MATERIAL COMPLETO			
DENSIDAD REAL ÁRIDO SSS		kg/m <sup>3</sup>	2.701
DENSIDAD REAL ÁRIDO Seco		kg/m <sup>3</sup>	2.667
DENSIDAD NETA		kg/m <sup>3</sup>	2.761
ABSORCIÓN DE AGUA		%	1,3
PARTÍCULAS CHANCADAS		%	100
PARTÍCULAS RODADAS		%	0
PARTÍCULAS LAJEADAS		%	1,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N.P
EQUIVALENTE DE ARENA		%	57,4
DESGASTE LOS ÁNGELES		%	18,7
ÍNDICE TRITURACIÓN [1,25-0,63 mm]		%	4,6
DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS		%	0,9
AZUL DE METILENO		ml	6
ADHERENCIA RIEDEL-WEBER			verificar
ADHERENCIA ESTÁTICA		%	+95
RESIDUO EMULSIÓN		%	65,6
ECK CORREGIDO		%	4,2
ÁREA SUPERFICIAL		pie <sup>2</sup> /lb	43,8
EMULSIÓN			
IDENTIFICACIÓN		CQS-1h ( E ) E-8 Química Latinoamericana S.A. DOC. Nº 138	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA SEGÚN FÓRMULA AS-ECK			
RESIDUO ASFÁLTICO DE LA EMULSIÓN	%	65,6	
CONTENIDO DE EMULSIÓN TEÓRICO	%	16,9	(referido a al peso de árido seco)
ASFALTO RESIDUAL EQUIVALENTE	%	11,1	(referido a al peso de árido seco)

MEZCLAS DE PRUEBA			
Mezcla	1	:	85 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	2	:	70 % de contenido de emulsión teórico
Mezcla	3	:	55 % de contenido de emulsión teórico

MEZCLA		1	2	3
TIPO DE EMULSIÓN		CQS-1h ( E ) E-8		
CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	14,4	11,8	9,3
AGUA PREMEZCLADO	%	4,0	5,0	6,0
CONSISTENCIA	cm	2,5	2,5	2,5
ABRASIÓN (AMH)	g/cm <sup>2</sup>	307	387	663
ADHESIÓN DE ARENA	g/cm <sup>2</sup>	477	330	271
RESIDUO ASFÁLTICO EQUIVALENTE	%	9,4	7,8	6,1
AGUA TOTAL EN MEZCLA	%	8,9	9,1	9,2
TIEMPO DE MEZCLADO	s	120	120	120

NOTA:

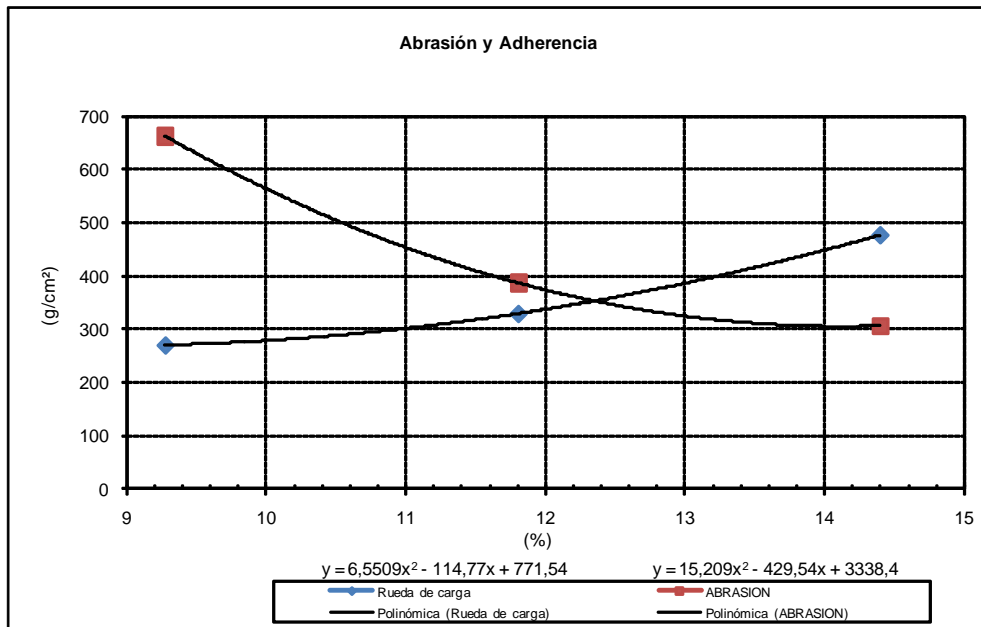
- Se empleó agua potable de Santiago para la confección del micropavimento

**DETERMINACIÓN CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN**

CONTENIDO DE EMULSIÓN PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE AMH	10,2	%
CONTENIDO DE EMULSION PARA 540 (g/m <sup>2</sup> ) DE RUEDA DE CARGA <sup>(5)</sup>	15,1	%
CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN	12,7	%

**DOSIS RECOMENDADA PARA LA MEZCLA**

CONTENIDO DE EMULSIÓN	%	12,3 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
AGUA DE PREMEZCLADO	%	4 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
RESIDUO ASFÁLTICO	%	8,1	(referido al peso de árido seco)



Determinación desgaste por abrasión y rueda cargada											
INFORMACIÓN GENERAL											
Fecha de Ensayo											
Solicitante											
Laboratorista											
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA											
Tipo de muestra	Emulsión CQS-1h (E) E-8										
OT		85%			70%			55%			
Emulsión	%	14,4			11,8			9,3			
Agua	%	4			5			6			
Aditivo	%	-			-			-			
DESGASTE POR ABRASIÓN											
Nº de muestra		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Masa Inicial	Mi	752	785,3		839,3	804,9	737,4		780,9	776,5	g
Masa Final	Mf	740,5	778,1		824,7	796,3	725,2		764,5	752,5	g
Factor	A	32,8			32,8			32,8			
Desgaste	DMH	377	236		479	282	400		538	787	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	307			387			663			g/m <sup>2</sup>
RUEDA CARGADA											
Masa Inicial	Mi	411,2	410,3	410,5	429,4	438,4	432,3	421,4	413,3	446,6	g
Masa Final	Mf	418	415,8	417,6	433,8	442,8	436,9	425,4	416,2	450,7	g
Factor	A	73,8			73,8			73,8			
Adhesión de Arena	SA	502	406	524	325	325	339	295	214	303	g/m <sup>2</sup>
Promedio Desgaste	DMH	477			330			271			g/m <sup>2</sup>

COHESIÓN M7			
Tiempo (min)	Serie	kg.cm	Promedio
0,5	1	11	13
	2	14	
	3	13	
1	1	18	18
	2	19	
	3	18	
1,5	1	22	22
	2	22	
	3	21	
2	1	20	22
	2	23	
	3	22	



**CASA MATRIZ:** Cerro Sombrero N° 1010 - Fono: 538 5990 - Fax: 533 1661

Fecha: viernes, 18 de mayo de 2012

Maipú - Santiago

**SUCURSAL:** Camino a Lenga N° 3519 - Talcahuano

**SUCURSAL:** Avda. Quinta Industrial N° 555,

Complejo Portuario Mejillones

Mejillones - Antofagasta

www.probisa.cl

Producto: Emulsiones Modificad ERCM  
 Cantidad: 1  
 Cliente: IDIEM

Faena : RETIRA  
 Partida N° : 2.800  
 Guía N° :

ANALISIS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
Viscosidad Saybolt Furol 25°C	41	20 - 50
Sedimentación, 7 días (%)	0,2	Máx. 5
Tamizado	0,05	Máx. 0,1
Carga de Partícula:	+	Positiva
Residuo por Evaporación (%)	65	Mín. 62
<b>ANALISIS AL RESIDUO</b>		
Viscosidad Brookfield (60°C)	11200	-----
Penetracion 25°C, 100g, 5 seg, (0,1 mm)	59	40 - 90
Punto de Ablandamiento (°C)	57	-----
Ductilidad (25°C)	95	Mín. 40
Indice de Frass (°C)	-17	Máx. -17
Recuperación Elástica por Torsión	29	Informar

**LABORATORIO  
 CONTROL DE CALIDAD**



CERTIFICADOS ISO 9001 : 2008



DOC. N°	139
GUIA N°	102045

**CERTIFICADO DE ANALISIS E.A. CQS-1h(E)  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD**

Fecha	25-May-2012
Cliente	IDIEM
Destino	SANTIAGO
Cantidad	2 GALONES (W)
Estanque	E-10
Fecha V°B°	25-May-2012
Hora V°B°	---
Chofer	---
Patente	---

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACION		METODO
		Mín.	Máx.	Manual de Carreteras (MC)
Viscosidad SFs a 25°C. (s)	49	20	50	MC 8.302.12
Estabilidad en Almacenamiento, 7 días. (%)	4.50		5	MC 8.302.5
Carga de Partícula	Positiva		POSITIVA	MC 8.302.5
Tamizado. (%)	0.04		0.10	MC 8.302.5
<b>POR EVAPORACION</b>				
Residuo. (%)	66.8	62		MC 8.302.5
<b>EN EL RESIDUO</b>				
Penetración a 25°C. 100g. 5s., (1/10 mm.)	48	40	90	MC 8.302.3
Punto de Ablandamiento. °C	70		Informar	MC 8.302.16
Viscosidad Brookfield. (60°C). Poise	21300		Informar	MC 8.302.24
Ductilidad a 25°C. 5 cm/min., (cm.)	40,5	40		MC 8.302.8
Punto de Fragilidad Fraass. (°C)	-17		-17	MC 8.302.17
Recuperación Elástica. 13°C. 20 cm. 1h. (%)	80	20		MC 8.302.19
Recuperación Elástica por Torsión. 25°C. (%)	37		Informar	NLT 329/91

ANA MARIA CORTES G.  
QUIMICO LABORATORISTA

[www.quimicalatinoamericana.cl](http://www.quimicalatinoamericana.cl)

Gerencia: Magdalena N° 265, Las Condes - Santiago, Fono/Fax: (56)(2)2335588- E-mail: [ventas@qlsa.cl](mailto:ventas@qlsa.cl)

Planta Viña del Mar: Limache esq. Calle 5 N°15 - El Salto, Fono/Fax: (56)(32)672695

Planta Talcahuano: Camino Lengua N°3341- Tacahuano, Fono/Fax: (56)(41)414049



CERTIFICADOS ISO 9001 : 2008



DOC. N°	138
GUIA N°	102045

**CERTIFICADO DE ANALISIS E.A. CQS-1h(E)  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD**

Fecha	25-May-2012
Cliente	IDIFEM
Destino	SANTIAGO
Cantidad	2 GALONES (A)
Estanque	E-8
Fecha V°B°	25-May-2012
Hora V°B°	---
Chofer	---
Patente	---

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACION		METODO
		Mín.	Máx.	Manual de Carreteras (MC)
Viscosidad SFs a 25 C. (s)	45	20	50	MC 8.302.12
Estabilidad en Almacenamiento, 7 días, (‰)	En analisis		5	MC 8.302.5
Carga de Particula	Positiva	POSITIVA		MC 8.302.5
Tamizado, (‰)	0,01		0,10	MC 8.302.5
<b>POR EVAPORACION</b>				
Residuo, (‰)	65,6	62		MC 8.302.5
<b>EN EL RESIDUO</b>				
Penetración a 25 C. 100g. 5s., (1-10 mm.)	85	40	90	MC 8.302.3
Punto de Ablandamiento, °C	61	Informar		MC 8.302.16
Viscosidad Brookfield, (60°C), Poise	27900	Informar		MC 8.302.24
Ductilidad a 25°C, 5 cm. min., (cm.)	45,4	40		MC 8.302.8
Punto de Fragilidad Frauss, (°C)	-17		-17	MC 8.302.17
Recuperación Elástica, 13 C. 20 cm. 1h, (‰)	61,5	20		MC 8.302.19
Recuperación Elástica por Torsión, 25°C, (‰)	25	Informar		NI.T 329.91

ANA MARIA CORTES G.  
QUIMICO LABORATORISTA

[www.quimicalatinoamericana.cl](http://www.quimicalatinoamericana.cl)

Gerencia: Magdalena N° 265, Las Condes - Santiago, Fono/Fax: (56)(2)2335588- E-mail: [ventas@qlsa.cl](mailto:ventas@qlsa.cl)

Planta Viña del Mar: Limache esq. Calle 5 N°15 - El Salto, Fono/Fax: (56)(32)672695

Planta Talcahuano: Camino Lengua N°3341- Talcahuano, Fono/Fax: (56)(41)414049

**CERTIFICADO CONTROL DE CALIDAD:**

**CLIENTE:** IDIEM - UNIVERSIDAD DE CHILE  
**PLAZA ERCILLA 883, SANTIAGO**  
**RUT:** 60.910.000-1  
**FAENA:** SANTIAGO

**N°** 9020

**PRODUCTO:** BITUFLEX LC  
**CANTIDAD:** 1 Galón  
**N° PARTIDA:** 7865  
**FECHA:** 03-abr-12

Ensayos

<u>Ensayos</u>	<u>Resultados</u>	<u>Especificación</u>	<u>Norma</u>
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (s)	40	Min. 20 - Mx 100	NCh 2334
Carga de partícula (Positivo/Negativo)	Positivo	Valor Positivo	NCh 2348
Sedimentación 7 días (%)	0	Max. 5	NCh 2346
Residuo por evaporación (%)	71	Min. 57	MC 5.405.201.A
Tamizado (%)	0,0	Max. 0,1	NCh 2348
<u>Análisis al Residuo</u>			
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)	66	Min. 50 - Mx 150	NCh 2340
Punto de Ablandamiento (°C)	60,5	Min. 53,0	NCh 2337
Índice de Fraass (°C)	-17	Max. -17	NCh 2344
Índice de Penetración (IP)	1,9	Min. 1,0	P.Abl./Pen.
Recuperación elástica lineal, 13°C, 20 cm, 1h (%)	70	Min. 50	MC 8.302.19

CONTROL DE CALIDAD



N° Guía: 0

Concon

Versión 01

CASA MAESTRO  
 Av. Norte de Valdivia 2119  
 Providencia, Santiago - Chile  
 Fono: (56-2) 790 87 09  
 Fax: (56-2) 871 61 00

PLANTA FONCON  
 Camino a Ochoque 2001  
 Curumeo - Ocho  
 Fono: (56-32) 287 48 76  
 Fax: (56-32) 287 37 86

PLANTA CALIBLANCO  
 Camino a Janga 3363  
 Talcahuano - Chile  
 Fono: (56-37) 343 24 74  
 Fax: (56-37) 342 96 74





Cliete: EMPRESA NACIONAL DE ENERGÍA ENEX S.A.  
Dirección: AV. DEL CONDOR SUR N° 520, PISO 4, HUECHURABA, SANTIAGO.  
RUT: 92.011.000-2  
Faena: VENTANAS

N°Certificado Control de Calidad:	<b>7947</b>	Fecha:	<b>09-feb-12</b>
Producto:	<b>EMULSIÓN CQS-1H</b>	Cantidad:	<b>2 Galones</b>
N° Partida:	<b>7348</b>	N° Guía:	<b>0</b>
Planta:	<b>2</b>	Formato:	<b>V01 AGO 11</b>

<u>Ensayos</u>	<u>Resultados</u>	<u>Especificación</u>	<u>Norma</u>
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (s)	29	Min. 20 - Mx 100	NCh 2334
Estabilidad Almacenamiento 1 día (%)	0	Max. 1	NCh 2348
Carga de partícula (Positivo/Negativo)	Positivo	Valor Positivo	NCh 2348
Tamizado (%)	0,0	Max. 0,1	NCh 2348
<u>Destilación</u>			
Residuo de la destilación (%)	66	Min. 57	NCh 2348
<u>Análisis al Residuo</u>			
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)	58	Min. 40 - Mx 90	NCh 2340
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min (cm)	140	Min. 40	NCh 2342
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	100,0	Min. 97,5	NCh 2341
Mancha: Heptano-Xilol (% Xilol)	< 25	Max. 25	NCh 2343



Empresa Nacional de  
Energía Enex S.A.







Cliete: EMPRESA NACIONAL DE ENERGÍA ENEX S.A.  
Dirección: AV. DEL CONDOR SUR Nº 520, PISO 4, HUECHURABA, SANTIAGO.

RUT: 92.011.000-2

Faena: VENTANAS

Nº Certificado Control de Calidad:	<b>7946</b>	Fecha:	<b>09-feb-12</b>
Producto:	<b>EMULSION CSS-1H</b>	Cantidad:	<b>2 Galones</b>
Nº Partida:	<b>8535</b>	Nº Guía:	<b>0</b>
Planta:	<b>2</b>	Formato:	<b>V01 AGO 11</b>

<u>Ensayos</u>	<u>Resultados</u>	<u>Especificación</u>	<u>Norma</u>
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (s)	35	Min. 20 - Mx 100	NCh 2334
Estabilidad Almacenamiento 1 día (%)	1	Max. 1	NCh 2348
Carga de partícula (Positivo/Negativo)	Positivo	Valor Positivo	NCh 2348
Mezcla con cemento (%)	1,4	Max. 2,0	NCh 2348
Tamizado (%)	0,0	Max. 0,1	NCh 2348
<u>Destilación</u>			
Residuo de la destilación (%)	64	Min. 57	NCh 2348
<u>Análisis al Residuo</u>			
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)	50	Min. 40 - Mx 90	NCh 2340
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min (cm)	54	Min. 40	NCh 2342
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	100,0	Min. 97,5	NCh 2341
Mancha: Heptano-Xilol (% Xilol)	< 25	Max. 25	NCh 2343



Empresa Nacional de  
Energía Enex S.A.





Cliente: EMPRESA NACIONAL DE ENERGÍA ENEX S.A.  
Dirección: AV. DEL CONDOR SUR N° 520, PISO 4, HUECHURABA, SANTIAGO.  
RUT: 92.011.000-2  
Faena: VENTANAS

N° Certificado Control de Calidad:	<b>7948</b>	Fecha:	<b>09-feb-12</b>
Producto:	<b>EMULSION CRS-2</b>	Cantidad:	<b>2 Galones</b>
N° Partida:	<b>8551</b>	N° Guía:	<b>0</b>
Planta:	<b>2</b>	Formato:	<b>V01 AGO 11</b>

<u>Ensayos</u>	<u>Resultados</u>	<u>Especificación</u>	<u>Norma</u>
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C (s)	164	Min. 100 - Mx 400	NCh 2334
Estabilidad Almacenamiento 1 día (%)	1	Max. 1	NCh 2348
Carga de partícula (Positivo/Negativo)	Positivo	Valor Positivo	NCh 2348
Demulsibilidad, 35 ml 0,8% Dioctyl (%)	45	Min. 40	NCh 2348
Tamizado (%)	0,0	Max. 0,1	NCh 2348
<u>Destilación</u>			
Aceite (%)	0,5	Max. 3,0	NCh 2348
Residuo de la destilación (%)	69	Min. 65	NCh 2348
<u>Análisis al Residuo</u>			
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)	130	Min. 100 - Mx 250	NCh 2340
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min (cm)	150	Min. 40	NCh 2342
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	100,0	Min. 97,5	NCh 2341
Mancha: Heptano-Xilol (% Xilol)	< 25	Max. 25	NCh 2343



Empresa Nacional de  
Energía Enex S.A.

