



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**EVALUACIÓN DE LA PENETRACIÓN DE EMULSIÓN  
ASFÁLTICA EN BASES GRANULARES DE LA EMPRESA  
PROCOPAL S.A EN EL PROCESO DE RIEGO DE  
IMPRIMACIÓN**

Autor (es)

**JESSICA ALEJANDRA SANTAMARÍA MELO**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA AMBIENTAL**

**MEDELLÍN, COLOMBIA**

**2021**



**EVALUACIÓN DE LA PENETRACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN BASES  
GRANULARES DE LA EMPRESA PROCOPAL S.A EN EL PROCESO DE RIEGO  
DE IMPRIMACIÓN**

**JESSICA ALEJANDRA SANTAMARIA MELO**

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

**Ingeniero Civil**

Asesor interno:

Juan Carlos Guzmán Martínez

Ingeniero civil

Asesor externo:

Mario Alberto Vásquez Morales

Ingeniero civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2021

## **Resumen**

Debido a la necesidad de optimizar los tiempos de construcción y rehabilitación de las estructuras asfálticas se hace necesario optimizar la eficiencia de las emulsiones asfálticas, razón por la cual se decide evaluar y comparar dos diferentes emulsiones asfálticas para el uso de imprimación. Para esto se realizaron ensayos a briquetas con diferentes tiempos de curado y dosificación; donde luego de realizar el riego de imprimación, se fracturaron las briquetas mediante el ensayo de tracción indirecta, para medir la cantidad de emulsión penetrada en la base granular. Se encontró que briquetas imprimadas con emulsión pura no presentaron penetración de esta, formando una película delgada de asfalto en su superficie. Mientras que las briquetas imprimadas con emulsión diluida en agua presentaron penetración a los diferentes tiempos de rotura. Por otro lado, se ve un aumento en la penetración del asfalto relacionado con la cantidad dosificación de la emulsión aplicada. Se determinó que la emulsión asfáltica con mejorador de adherencia presenta mayor penetración en los diferentes tiempos de ruptura, siendo esta mejor opción para su uso en las obras de PROCOPAL S.A.

## Índice de contenido

Índice de contenido.....	4
Índice de Tablas.....	6
Índice de Ilustraciones.....	7
Índice de Anexos.....	9
1. Introducción.....	10
2. Objetivos.....	11
2.1. Objetivo general.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. Marco teórico.....	12
4. Metodología.....	17
4.1. Caracterización de los materiales.....	17
4.1.1. Caracterización base granular.....	17
4.1.1.1. Ensayos a la base granular norma INVIAS 2013 - Artículo 330.....	19
4.2. Caracterización de las emulsiones asfálticas.....	21
4.3. Construcción de briquetas.....	22
4.4. Dosificación de la emulsión asfáltica.....	25
4.5. Aplicación de la emulsión asfáltica.....	26
4.6. Rompimiento de las briquetas.....	26
5. Resultados y análisis.....	27
5.1. Aplicación de la emulsión asfáltica CRL-1 y CRL-1 aditivada con Mejorador de Adherencia en estado puro.....	27
5.2. Aplicación de la emulsión asfáltica CRL-1 y CRL-1 aditivada con. Mejorador de Adherencia en diluida en una relación E:A de 60:40.....	29
5.2.1. Emulsión asfáltica CRL-1 + M.A.....	31
5.2.2. Emulsión asfáltica CRL-1.....	32

6. Conclusiones.....	34
7. Referencias bibliográfica.....	36
8. Anexos.....	39

## Índice de Tablas

Tabla 1. Material bituminoso para el riego de imprimación. ....	17
Tabla 2. Uso típico de las diferentes clases de base granular.....	19
Tabla 3. Franjas granulométricas del material de base granular .....	19
Tabla 4. Requisitos de los agregados para bases granulares. ....	20
Tabla 5. Caracterización emulsiones asfálticas .....	22
Tabla 6. Dosificación de la emulsión asfáltica.....	25
Tabla 7. Aplicación de emulsiones asfálticas en estado puro.....	28

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ruptura de una emulsión asfáltica sobre un material pétreo.....	15
Ilustración 2. Estructura del pavimento flexible.....	16
Ilustración 3. Acopio de base granular .....	18
Ilustración 4. Toma de muestra .....	18
Ilustración 5. Muestra base granular.....	21
Ilustración 9. Muestra de material base con la humedad óptima.....	23
Ilustración 10. Colocación de muestra en molde.....	23
Ilustración 11. Compactación de la briqueta .....	24
Ilustración 12. Sobramte de material de base .....	24
Ilustración 13. Briquetas conformadas .....	24
Ilustración 14. Muestra de emulsión asfáltica por briqueta.....	25
Ilustración 15. Riego de imprimación sobre la briqueta.....	26
Ilustración 16. Corte de las probetas mediante el ensayo de corte indirecto.....	27
Ilustración 17. Briquetas imprimadas .....	27
Ilustración 18. Toma de medida briqueta #1. CRL - 1 + M.A .....	28
Ilustración 19. Toma de medida briqueta #1. CRL - 1 .....	28
Ilustración 20. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 + M.A .....	28
Ilustración 21. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 .....	28
Ilustración 22. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1 + M.A .....	29
Ilustración 23. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1 .....	29
Ilustración 24. Briquetas conformadas .....	29
Ilustración 25. Briquetas con 1:30 horas de tiempo de ruptura .....	30
Ilustración 26. Briquetas con 24 horas de tiempo de ruptura .....	30
Ilustración 27. Briquetas con 4 horas de tiempo de ruptura .....	30
Ilustración 28. Briqueta imprimada #1. CRL - 1 + M.A .....	31
Ilustración 29. Toma de medida briqueta #1. CRL - 1 + M.A .....	31
Ilustración 30. Briqueta imprimada #2. CRL - 1 + M.A .....	31
Ilustración 31. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 + M.A .....	31
Ilustración 32. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1 + M.A .....	32
Ilustración 33. Toma de medida briqueta 1. CRL - 1 .....	32

Ilustración 34. Briqueta imprimada #2. CRL - 1 + M.A .....	33
Ilustración 35. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 + M.A .....	33
Ilustración 36. Briqueta imprimada #3 CRL - 1 .....	33
Ilustración 37. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1 .....	33



## Índice de Anexos

Anexo 1. Ficha técnica emulsión asfáltica CRL-1 Aditivada con mejorador de adherencia .....	39
Anexo 2. Ficha técnica emulsión asfáltica CRL-1 .....	40
Anexo 3. Análisis granulométrico. Base Granular PROCOPAL S.A .....	41
Anexo 4. Ensayos de cara fracturadas, equivalente de arenas y angularidad. Base Granular PROCOPAL S.A .....	42
Anexo 5. Ensayos de índice de forma (Partículas planas y alargadas). Base Granular PROCOPAL S.A .....	43
Anexo 6. Ensayo de Salinidad de los Agregados. Base Granular PROCOPAL S.A .....	44
Anexo 7. Ensayo de Gravedad específica de los Agregados. Base Granular PROCOPAL S.A .....	45
Anexo 8. Ensayo de Desgaste en la máquina de los Ángeles. Base Granular PROCOPAL S.A .....	45
Anexo 9. Ensayo de Desgaste en el equipo Micro-Deval. Base Granular PROCOPAL S.A .....	46
Anexo 10. Ensayo de Resistencia por el Método de 10% de Finos. Base Granular PROCOPAL S.A .....	47
Anexo 11. Ensayo de Proctor modificado. Base Granular PROCOPAL S.A .....	48
Anexo 12. Ensayo de CBR. Base Granular PROCOPAL S.A .....	49
Anexo 13. Verificación.....	50

## 1. Introducción

El crecimiento de la infraestructura vial en Colombia se ha desarrollado a nivel municipal como Nacional, y viene de la mano con el crecimiento económico del país. De acuerdo con Legiscomex, el principal transporte en Colombia es terrestre; por la calidad de la infraestructura vial influye en los indicadores productivos y competitivos, al agilizar y optimizar el transporte de materia prima, alimentación, turismo, etc), generando así un aumento en el progreso económico del país. Colombia es un país tropical en donde los procesos constructivos de las diferentes obras viales se ven afectados por condiciones climáticas variables que pueden ser desfavorables, como la lluvia y la alta humedad. Debido a esto, es importante optimizar los tiempos de construcción y rehabilitación de las estructuras asfálticas, y por consiguiente, favorecer el desarrollo de los procesos de manera eficiente.

Las emulsiones asfálticas juegan un papel importante en la construcción de las estructuras de pavimento, ya que funcionan como anclaje de sus diferentes capas tienen emulsiones de rompimiento rápido, lento e intermedio. La clasificación del rompimiento es debido a la reacción química que tienen las emulsiones con el suelo en el cual fueron regadas, las emulsiones de rompimiento rápido se utilizan sobre mezclas asfálticas o losas de concreto, mientras que las emulsiones de rompimiento lento se utilizan sobre materiales pétreos no estabilizados. Debido a las solicitudes de clima, tiempo de entrega de las obras, y tiempo de reapertura al tránsito automotor de acuerdo a los planes de manejo de tránsito (PMT) se busca tener emulsiones asfálticas con mejores respuesta mediante adherencia y penetración.

En Colombia no se han realizado investigaciones sobre las emulsiones asfálticas, lo cual es un factor limitante, dado que no se tiene información detallada sobre del comportamiento de las emulsiones asfálticas en el proceso de riego de imprimación. La metodología desarrollada se basó en la recopilación de bibliografía relacionada y adaptada a las condiciones particulares. La elaboración del informe está limitado a la colaboración de la empresa PROCOPAL S.A, que facilita el uso de las instalaciones, equipo, materiales y personal del laboratorio de control de calidad para la elaboración de los ensayos

El presente informe pretende evaluar la respuesta de emulsiones asfálticas de rotura lenta “CRL-1” y “CRL-1 aditivada con Mejorador de Adherencia”. Las principales características de este tipo de emulsiones asfálticas es la adherencia entre capas y penetración a la capa

subyacente, para evitar el deslizamiento de la capas de mezcla asfáltica. Para analizar estas características es necesario realizar ensayos de las diferentes condiciones que se pueden presentar al momento de realizar el proceso de riego de imprimación como: tiempo de curado, dilución de la emulsión y dosificación de las emulsiones

La investigación se realizó con ensayos basados en la Norma INVIAS-13 sobre las especificaciones de la base granular de la empresa PROCOPAL y verificación de las propiedades de las emulsiones asfálticas “CRL-1” y “CRL-1 aditivada con Mejorador de Adherencia” suministradas por la empresa CI MPLI LTDA basados en las fichas técnicas de cada una. Para la caracterización de la base granular se verificó el cumplimiento de la calidad y la gradación de los agregados pétreos según el artículo 330 (INVIAS-13). De la misma manera, se realizó la caracterización de las emulsiones asfálticas en cuanto al cumplimiento de la calidad de estas, a partir del artículo 420(INVIAS-13).

Posterior a esto, se construyeron briquetas de base granular siguiendo el ensayo de Proctor; la densidad máxima y humedad óptima calculada en el paso de caracterización. Con las briquetas extraídas de los moldes se procede a realizar el proceso de riego de imprimación para las diferentes condiciones de dosificación y tiempo de curado de las emulsiones asfálticas. Finalizando con la fractura de las briquetas mediante el ensayo de tracción indirecta, para medir la cantidad de emulsión penetrada en la base granular.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento y la respuesta del grado de penetración entre de las emulsiones asfálticas CRL-1 y CRL-1 aditivada sobre una base granular, y describir la metodología más viable en la aplicación de emulsión asfáltica para su uso en las futuras obras viales de la Empresa PROCOPAL S.A.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad de los agregados de la base granular de PROCOPAL S.A empleados en la elaboración de las briquetas a imprimir.
- Cuantificar la profundidad de penetración para el tipo de emulsión asfáltica a emplear bajo las diferentes condiciones de dilución y tiempo de ruptura.

- Comparar la influencia de la cantidad de emulsión a colocar en función del tipo de material granular.
- Determinar la viabilidad de la aplicación de la emulsión asfáltica CRL-1 y CRL-1 aditivada.

### **3. Marco teórico**

Las emulsiones asfálticas nacen como alternativa de solución en la gran crisis de petróleo en 1974; tal como lo menciona Salazar: “mantiene el asfalto en forma líquida, a temperatura ambiente y permitir su incorporación a los agregados”. Esto permitió el crecimiento de las mezclas asfálticas en frío, siendo sostenible con el medio ambiente. El crecimiento del sector tecnológico en la fabricación de nuevos emulsificantes, ha introducido emulsiones con mejores comportamiento como, facilidad de la aplicación y susceptibilidad de respuesta frente a los agregados o capas subyacentes en los cuales son usados.

El desarrollo de estas tecnologías ha permitido la creación de nuevas técnicas constructivas, capaces de construir carreteras nuevas, con mejores respuestas y características, y resolviendo problemas de las carreteras viejas con buenos resultados y bajos costos. Un ejemplo de esto son las emulsiones modificadas con polímeros, utilizadas en tratamientos superficiales con mejores características de rugosidad, y drenabilidad en las capas de rodamiento. Esto es un avance en la seguridad de las carreteras que antes eran difícil de imaginar, dado que aumenta la fricción entre la capa de rodadura y los neumáticos de los vehículos, incrementando la capacidad de frenado tanto en pavimentos secos como húmedos.

Según Uloa “Una emulsión asfáltica es una mezcla de dos fluidos que no son miscibles entre sí, unidos mediante la adicción de emulsificante o emulsionante”. La emulsión está compuesta por un sistema de fase dispersa (fase discontinua) y fase dispersante (fase continua). Esta corresponde a una emulsión directa, donde el asfalto corresponde a la fase discontinua (fluido viscoso) y el agua a la fase dispersante.

Es posible obtener una emulsión si se mezclan y agitan asfaltos fundidos y agua caliente (Salazar, C. R.). Sin embargo, al dejarlas en reposo se separan las partículas de asfalto y

agua. Para evitar esta separación, es necesario el uso del emulsificante; esto se logra a través de un molino coloidal o equipo especializado para separar las partículas de asfalto en tamaños suficientemente pequeños que permite combinarse con el tensioactivo (emulsionante).

Los emulsificantes son moléculas con parte polar con agua, y otra parte no polar, donde el agua porta moléculas polares y el asfalto moléculas no polares, así las emulsiones se ubican en la interface del agua y el asfalto (Salazar, C. R.). El emulsificante para las emulsiones asfálticas que se usan en carreteras se añade alrededor del 0.5% a 1.0% en la fase de agua. Según Keith el agente químico tensioactivo parece ser el ingrediente más importante en una emulsión asfáltica (Keith J). Lo que permite la suspensión de dispersiones de los glóbulos de asfalto, formando una película de emulsificante alrededor de cada glóbulo de emulsión.

En ciertos casos se hace necesario el uso de mayor cantidad de emulsificante, que pueden ser agregados durante el proceso de fabricación de la emulsión o en una etapa posterior; esta adicción actúa como estabilizante de la emulsión. Los agentes emulsificantes utilizados permiten clasificar las emulsiones asfálticas en dos grupos: de acuerdo a su polaridad y, a la estabilidad o velocidad de rompimiento.

De acuerdo a su estabilidad o velocidad de rompimiento, tenemos:

- Emulsiones inestables o de rompimiento rápido (RR), que contiene una cantidad mínima de emulsificante,
- Emulsiones semi-estables o de rompimiento medio (RM), con mayor cantidad de emulsificante que la anterior
- Emulsión altamente estabilizadas o de rompimiento lento (RL), que son las que contienen mayor proporción de emulsificante.

Y basados en la carga del emulsificante, tenemos:

- Emulsiones Aniónicas (A), que adquieren una carga negativa.
- Emulsiones Catiónicas (C), que adquieren una carga positiva.

Dado que las emulsiones bituminosas son productos derivados del asfalto, estos tienen sus mismas propiedades, tales como: viscosidad, adherencia, etc. Además, las emulsiones asfálticas deben cumplir características necesarias, estas son: contenido de agua, estabilidad de almacenamiento y velocidad de rompimiento. A continuación, se describe las propiedades mencionadas anteriormente:

- **Contenido de agua:** Este depende del tipo de emulsión a emplear, de acuerdo a la técnica de aplicación particular. Es necesario saber el contenido de agua, para determinar la cantidad real de asfalto residual usado en la carpeta.
- **Viscosidad:** Depende principalmente de la cantidad de asfalto presente. Esta puede variar ya sea por el contenido de agua dando lugar a las emulsiones diluidas, o incrementando la temperatura de la emulsión pura.  
“La viscosidad de una emulsión debe ser lo suficientemente baja para permitir el riego de esta por los irrigadores asfálticos y pueda ser aplicada fácilmente sobre los materiales o la superficie, pero al mismo tiempo debe ser lo suficientemente viscosas para no escurrirse en la carretera al momento de su aplicación”. (Salazar, C. R.).
- **Estabilidad de almacenamiento:** Permite diferente lapso de tiempo entre la fabricación y el empleo de la emulsión, esto depende del tipo del emulsificante.
- **Velocidad de rompimiento:** Depende del tipo de ligante bituminoso, tipo y cantidad de emulsificante, y propiedades de los agregados.
- **Adherencia:** Es la capacidad del material bituminoso “para quedar bien fijo en el agregado, recubriéndolo sin peligro de que se desplace, incluso en la presencia de agua o tráfico”. (Salazar, C. R.).

Cuando se hace uso de las emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea, se tiene que poder controlar el rompimiento de la misma. Cuando se habla de rompimiento de la emulsión asfáltica significa la separación del asfalto de los demás componentes de la mezcla (agua y emulsificantes). En este proceso la emulsión asfáltica pasa a ser una mezcla inversa, teniendo el asfalto como fase continua ya que este no se puede evaporar, mientras que el agua pasa a ser la fase dispersante; esto se da debido a un proceso de pérdida de agua al entrar en contacto con el material pétreo, ya sea por medio de

evaporación, difusión, y absorción del emulsificante en el material pétreo, formando una capa asfáltica. “El proceso de rompimiento no ocurre en todas las emulsiones a la misma velocidad. Allí es donde el emulsificante tiene un rol fundamental, pues, de acuerdo con su composición química y dosificación en la emulsión, será la velocidad de rotura de esta”. Coward, H (2014).

Las emulsiones asfálticas catiónicas, según Castaño & Martínez al momento de su rompimiento “mejoran la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo” (Castaño V. M. Martínez M. 2013). En la *Ilustración 1* figura 1 se observa el proceso de rompimiento de la emulsión asfáltica sobre un material pétreo en tres momentos: en el primer momento se observa la emulsión sobre el material pétreo, en el segundo momento cuando inicia el proceso de rompimiento y por último cuando se termina el proceso de ruptura y queda el material pétreo completamente cubierto por el asfalto.



*Ilustración 1. Ruptura de una emulsión asfáltica sobre un material pétreo.  
Recuperado de: Rodríguez R., Castaño V. M., Martínez M., (2013)*

El uso de las emulsiones asfálticas se puede considerar de acuerdo al mecanismo de ruptura de estas, es decir, a la velocidad de rompimiento.

- **Emulsiones de rompimiento rápido (RR):** Se utilizan para riegos de liga, riego de gravilla, trabajos de bacheo, riego de sello, curado de concretos.
- **Emulsiones de rompimiento medio (RM):** Se usan principalmente para re-nivelaciones, bacheos, sobre carpetas, carpetas de mezcla en frío con contenido defino menor o igual al 2%, si hay contenidos de finos en abundancia, la emulsión rompe prematuramente.
- **Emulsiones de rompimiento lento (RL):** Se usa principalmente como riego de imprimación, bacheo de re-nivelación, mezclas prefabricadas.

El Instituto Nacional de Vías (2013) describe en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, en el capítulo 4 la clasificación de las emulsiones asfálticas según su uso. Las denominaciones serán de la siguiente manera:

- La letra C, representativa del emulsificante catiónico utilizado.
- Las letras RR, RM o RL, según su velocidad de rompimiento.
- Los números 0, 1 o 2, indicativo del contenido de ligante residual de la emulsión.
- La letra h, indica que se trata de una emulsión de alta estabilidad.

En este informe se centra en el uso de emulsiones asfálticas de rompimiento lento, utilizado para riego de imprimación. El riego de imprimación se define como la aplicación de una película delgada de emulsión asfáltica sobre la extensión de una capa de material granular no estabilizado, antes de la colocación de la mezcla asfáltica, esto con el objeto de formar una superficie de transición entre ambas capas, como lo muestra la *Ilustración 2*.



*Ilustración 2. Estructura del pavimento flexible.  
Reproducido de: Giordani, C., Leone D., (s.f)*

En el proceso de imprimación, la emulsión asfáltica penetra en la superficie de la base cerrando los poros, ayudando a la impermeabilización de esta y ayudando en la adherencia de la carpeta asfáltica a colocar, también, sirve para “mejorar la transmisión de cargas”. (Yepes, V, 2013). Es importante el uso de este riego para garantizar que la estructura del pavimento trabaje como un solo conjunto. En la *Tabla 1* el Instituto Nacional de Vías (2013), indica las emulsiones asfálticas que deberán ser utilizados para el riego de imprimación en Colombia.

*Tabla 1. Material bituminoso para el riego de imprimación.*



TIPO DE MATERIAL	DENOMINAMICIÓN	REQUISITOS
Emulsión asfáltica	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL - 0	Artículo 441
	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL - 1	
Asfalto líquido	Asfalto líquido MC - 30	Artículo 416

*Reproducido de INVIAS (2013). Artículo 420.2.1*

*\*Cuando se emplee emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-1 esta se deberá diluir en agua hasta que tenga una concentración aproximada de cuarenta por ciento (40%).*

## 4. Metodología

En esta etapa se describen los pasos a seguir para la elaboración del informe. Se lleva a cabo la caracterización de los materiales, es decir, el cumplimiento de las características de estos según lo especifica la norma INVIAS 2013. Se comienza por el estudio de los componentes de la base granular y su respuesta a los diferentes ensayos de dureza, durabilidad, limpieza, geometría de las partículas y resistencia. Posterior, se realiza la caracterización de las emulsiones asfálticas y se verifica el cumplimiento con la norma INVIAS 2013. Finalmente se detalla el procedimiento de elaboración de las briquetas, partiendo de la humedad óptima y el porcentaje de compactación óptimo, seguido de la dosificación de las emulsiones para la aplicación sobre las briquetas y terminando con la ruptura de las briquetas mediante el ensayo de tracción indirecta para la medición de la penetración.

### 4.1. Caracterización de los materiales

#### 4.1.1. Caracterización base granular

La base granular proviene del proceso de trituración de la recuña proveniente de la cantera AGREGADOS EL TONUSCO S.A.S. El proceso de trituración consta de pasar las partículas de gran tamaño por una serie de mallas de diferentes tamaños por la trituradora, la cual procesa el material para producir materiales gruesos y finos. Las partículas gruesas y finas se disponen por salidas diferentes, pero éstas se combinan dando lugar a la base granular. El tamaño máximo de las partículas gruesas es de 37.5mm permitiendo tener una base granular BG – 38.

Se toma una muestra de la base granular del acopio propio de la empresa, luego de pasar por el proceso de trituración. Se tomarán 3 muestras de diferentes lugares del acopio evitando los lugares donde se produzca mucha segregación.



*Ilustración 3. Acopio de base granular*



*Ilustración 4. Toma de muestra*

La Norma INVIAS-13 clasifica las bases granulares en función del nivel de tránsito (NT), de acuerdo en la calidad de los materiales; definidos en la *Tabla 2*.

*Tabla 2. Uso típico de las diferentes clases de base granular.*

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
CLASE C	NT1
CLASE B	NT2
CLASE A	NT3

*Reproducido de INVIAS (2013). Artículo 330.2.1*

#### 4.1.1.1. Ensayos a la base granular norma INVIAS 2013 -

##### Artículo 330

Los requisitos a cumplir en cuanto a las franjas y a calidad de los agregados de granulométricas del material para las bases granulares con sus respectivos ensayos, descritos en la *Tabla 3* y la *Tabla 4* respectivamente de acuerdo al tipo de tránsito y clase de base granular.

*Tabla 3. Franjas granulométricas del material de base granular*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
BASE GRANULARES DE GRADACIÓN GRUESA								
BG - 40	100	75 - 100	65 - 90	45 - 68	30 - 50	15 - 42	7 - 20	0 - 9
BG - 27	-	100	75 - 100	52 - 78	35 - 59	20 - 40	8 - 22	0 - 9
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG - 38	100	70 - 100	60 - 90	45 - 75	30 - 60	20 - 45	10 - 30	5 - 15
BG - 25	-	100	70 - 100	50 - 80	35 - 65	20 - 45	10 - 30	5 - 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0%	7%			6%			3%

*Reproducido de INVIAS, 2013. Artículo 330.2.*

Tabla 4. Requisitos de los agregados para bases granulares.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
<b>Dureza (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218			
500 revoluciones		40	40	35
100 revoluciones		8	8	7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224			
Valor en seco, mínimo (kN)		-	70	90
Relación húmedo/seco, mínimo (%)		-	75	75
<b>Durabilidad (O)</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220			
Sulfato de sodio		12	12	12
Sulfato de magnesio		18	18	18
<b>Limpieza (F)</b>				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	20	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
<b>Geometría de las partículas (F)</b>				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%)	E-227			
Una cara		50	70	100
Dos caras		-	50	70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35
<b>Resistencia del material (F)</b>				
CBR (%): Porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥80	≥80	≥95

Nota 1: El ensayo de Valor de azul de metileno solo será exigido cuando el equivalente de arena del material de base granular sea inferior a treinta (30), pero igual o superior a veinticinco (25)

*Reproducido de INVIAS (2013). Artículo 330.2.2*

En el presente informe se define la base granular de gradación fina BG-38 clase A, dado que es la base granular definida por la empresa como su producto comercial. Para acercarnos a la realidad se tiene en cuenta que las bases granulares no son iguales a pesar de tener sus componentes de los mismos sitios. Siguiendo esto, se mantiene la uniformidad en las bases granulares tratadas, llevando un control en la calidad de los materiales bajo los parámetros definidos anteriormente, teniendo la granulometría dentro de las franjas del diseño granulométrico y cumpliendo de todos los ensayos.

Para que los resultados puedan ser comparativos se debe garantizar que los especímenes se fabrican con la misma humedad óptima y con la densidad máxima definidos en la caracterización de la base granular de referencia.

Esto se hace siguiendo los parámetros establecidos en la norma INV E – 201. Se reduce la muestra de base granular como lo especifica la norma INV E- 202. Se separan los materiales gruesos de los finos para realizar los diferentes ensayos de caracterización mediante el proceso de tamizaje.

En nuestro caso se realizó la reducción de la muestra siguiendo el método de cuarteo manual; depositando la muestra de base en el suelo limpio y nivelado, sin posibilidad de que haya adición de otro material. Se mezcla el material y se forma una pila cónica y se aplana; posterior a esto se divide la muestra en cuatro cuartos iguales y se retiran dos cuartos. Se repitió todo el proceso hasta que la muestra fuera del tamaño adecuado para la realización del ensayo modificado de compactación (Proctor) INV E-142 y el ensayo de resistencia del material (CBR) INV E-148.



*Ilustración 5. Muestra base granular*

#### **4.2. Caracterización de las emulsiones asfálticas**

Las emulsiones asfálticas suministradas por el proveedor deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la siguiente tabla por la Norma INVIAS-13, Artículo 411. En la *Tabla 5* se encuentra la caracterización de las emulsiones asfálticas CRL-1 y CRL-1 Aditivada M.A con sus respectivos ensayos.

Tabla 5. Caracterización emulsiones asfálticas

Ensayos sobre la emulsión	Norma INV	Especificaciones para CRL-1 INVIAS		Emulsión asfáltica suministrada	
		Min	Máx	CRL-1	CRL-1 Adi M.A
Viscosidad Saybolt Furol 25°C, (s) 50°C, (s)	E-763	20	200	27	27
Contenido de agua, %	E-761	-	43	37.8	38
Estabilidad de almacenamiento (24h), %	E-764	-	1	0.5	0.6
Sedimentación a los 5 días, %		-	5	1.5	5
Destilación	E-762	57	-	62.2	62.0
Contenido de asfalto residual hasta 260°C, %					
Contenido de solvente, %		-	-	0.0	0.0
Tamizado	E-765	-	0.1	0.00117	0.0012
Retenido tamiz No.20 (850 m), %					
Demulsibilidad, %	E-766	-	-	N.A	N.A
Carga de partícula	E-767	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA
pH	E-768	-	6	2.02	2.16
<b>Ensayos al residuo de destilación</b>					
Penetración (25°C, 100g, 5s), 0.1mm	E-706	60	100	64	65
Ductilidad (25°, 5cm/min), cm	E-702	97.5	-	125	112
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	40	-	99.55	98.08

### 4.3. Construcción de briquetas

Las briquetas se elaboraron con base granular BG-38 clase A, para la cual se realizaron todos los ensayos especificados en la *Tabla 3*, y sus resultados en la tabla de Anexo 13. La base se encuentra dentro de la franja propuestas por el INVIAS y por la franja de diseño como se ve en el Anexo 3. Se construyeron briquetas de 4100g,

Para obtener la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo se realizó el ensayo de Proctor modificado como lo muestra el Anexo 11. Esto con el fin de obtener la compactación eficiente en todas las briquetas de material de base granular. Obteniendo los siguientes valores.

Una vez determinada la humedad óptima de la base granular, se construyen las briquetas siguiendo el método de Proctor método C, que se detalla a continuación:

**4.3.1.** Mezclar la muestra de agregado, en este caso de 4100g con agua de acuerdo a la humedad óptima de 5.9%



*Ilustración 6. Muestra de material base con la humedad optima*

- 4.3.2.** Verificar que el molde esté completamente armado y asegurado, revisando que la base y el collar estén bien ajustados.



*Ilustración 7. Colocación de muestra en molde*

- 4.3.3.** Compactar el espécimen en el molde de 152.4mm de diámetro. El compactado se realiza en 3 capas de igual espesor. Cada capa con 56 golpes con el martillo que cae desde una altura de 305mm.



*Ilustración 8. Compactación de la briqueta*

**4.3.4.** Retirar el collar de extensión del molde y quitar el sobrante del suelo con ayuda de un palustre o varilla.



*Ilustración 9. Sobrante de material de base*

**4.3.5.** Sacar las briquetas del molde.



*Ilustración 10. Briquetas conformadas*



#### 4.4. Dosificación de la emulsión asfáltica

La norma INVIAS-2013 en el artículo 420, determina la dosificación de la emulsión asfáltica para riego de imprimación “aquella que sea capaz de absorber la capa que se imprima, en un lapso de veinticuatro (24) logrando una penetración no inferior a 5mm”. Las cantidades de producto bituminoso por aplicar pueden estar entre los siguientes valores, para una concentración del 60%.

- Aplicación por riego de emulsión o asfalto líquido: 0.85 a 2.25 l/m<sup>2</sup>
- La cantidad de ligante residual, no será inferior a quinientos gramos por metro cuadrado (500g/m<sup>2</sup>)

Tabla 6. Dosificación de la emulsión asfáltica

Dosificación de la emulsión		
Ø [cm]	15.2	
a [cm <sup>2</sup> ]	182.41	
a [m <sup>2</sup> ]	0.018	
Cantidad emulsión [l/m <sup>2</sup> ]	0.85	2.25
Relación As:Agua	60	40
Cantidad de emulsión [L]	0.016	0.041
Densidad asfalto [kg/l]	1.000	
Cantidad de emulsión [kg]	0.016	0.041
Cantidad de emulsión [g]	15.51	41.04



Ilustración 11. Muestra de emulsión asfáltica por briqueta

\*Nota: Se decide medir un poco más del peso de la emulsión dado que cierta cantidad de esta queda de remanente en las paredes del frasco medidor.

#### 4.5. Aplicación de la emulsión asfáltica

Posterior la moldeado, se extraen los especímenes de los moldes y se aplica la emulsión asfáltica para el riego de imprimación en una dosificación anteriormente determinada.



*Ilustración 12. Riego de imprimación sobre la briqueta*

Las emulsiones asfálticas se evaluarán a una temperatura de riego de 65°C, esto debido a que el carro tanque irrigador aplica la emulsión a esta temperatura. Se dejará actuar la emulsión por 1 1/2, 6 y 24 horas; se ejecutan dos ensayos por cada tiempo de rompimiento para las diferentes condiciones de viscosidad.

#### 4.6. Rompimiento de las briquetas

Luego de transcurrido el tiempo de curado de las emulsiones, se efectúan las pruebas de penetración. Se lleva a cabo el ensayo de tracción indirecta en la prensa hidráulica para romper la probeta de forma perpendicular a la base como lo ilustra la siguiente ilustración para así la realizar la medición de la absorción de la emulsión en centímetros [cm]. Cabe destacar que no se enfatizó en la velocidad ni en la fuerza de aplicación de la prensa.



*Ilustración 13. Corte de las probetas mediante el ensayo de corte indirecto.*

## 5. Resultados y análisis

### 5.1. Aplicación de la emulsión asfáltica CRL-1 y CRL-1 aditivada con Mejorador de Adherencia en estado puro.

Luego de la aplicación de las emulsiones asfálticas las briquetas fueron puestas en el exterior bajo el sol para asemejar el estado en campo, con una temperatura media de alrededor 31°C. Las emulsiones alcanzaron la ruptura en muy poco tiempo, sin embargo se esperó un tiempo de curado de 1 hora y media y 6 horas. La siguiente tabla muestra las diferentes condiciones en las que fueron evaluadas las emulsiones asfálticas en estado puro.



*Ilustración 14. Briquetas imprimadas*

Tabla 7. Aplicación de emulsiones asfálticas en estado puro

Número probeta	Tipo de emulsión aplicada	Temperatura de aplicación [°C]	Tiempo de rompimiento	Cantidad de emulsión [g]	Penetración [mm]
1	CRL - 1 + M.A	50°C	1.5 horas	25	—
1	CRL - 1	50°C	1.5 horas	25	—
2	CRL - 1 + M.A	50°C	4 horas	25	—
2	CRL - 1	50°C	4 horas	25	—
3	CRL - 1 + M.A	50°C	24 horas	25	—
3	CRL - 1	50°C	24 horas	25	—

Se puede observar que en todas las briquetas imprimadas para las diferentes combinaciones de emulsión asfáltica y tiempos de rompimiento se presenta una película delgada de emulsión sin penetración como se ve en las siguientes imágenes.



Ilustración 15. Toma de medida briqueta #1. CRL - 1 + M.A



Ilustración 16. Toma de medida briqueta #1. CRL - 1



Ilustración 17. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 + M.A



Ilustración 18. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1



Ilustración 19. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1 + M.A



Ilustración 20. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1

## 5.2. Aplicación de la emulsión asfáltica CRL-1 y CRL-1 aditivada con. Mejorador de Adherencia en diluida en una relación E:A de 60:40

Las briquetas se evaluaron con una aplicación de emulsión de 25 y 50g, diluyendo la emulsión para una relación Emulsión:Agua de 40:60 respectivamente. Aplicando la emulsión a 65°C, con un tiempo de curado de 1:30, 4 y 24 horas.

Número briqueta	Tipo de emulsión aplicada	Temperatura de aplicación [°C]	Tiempo de rompimiento	Cantidad de emulsión [g]	Penetración [mm]
1	CRL - 1	65°C	1.5 horas	25	18.30
1	CRL - 1 + M.A	65°C	1.5 horas	25	28.38
2	CRL - 1	65°C	24 horas	25	25.71
2	CRL - 1 + M.A	65°C	24 horas	25	43.06
3	CRL - 1	65°C	4 horas	50	39.41
3	CRL - 1 + M.A	65°C	4 horas	50	46.96



Ilustración 21. Briquetas conformadas



*Ilustración 22. Briquetas con 1:30 horas de tiempo de ruptura*



*Ilustración 23. Briquetas con 24 horas de tiempo de ruptura*



*Ilustración 24. Briquetas con 4 horas de tiempo de ruptura*

### 5.2.1. Emulsión asfáltica CRL-1 + M.A

- Para la primera briqueta se aplicó una cantidad de 25g de emulsión asfáltica con un tiempo de rompimiento de 1 hora y 30 minutos al sol, con una temperatura media de 35°C. Aunque la mayor parte de la emulsión quedó como una película en la parte superficial de esta, se aprecia cómo comenzó a penetrar la emulsión en forma de ramificaciones, alcanzando hasta 28.38 mm de profundidad.



Ilustración 25. Briqueta imprimada #1. CRL - 1 + M.A



Ilustración 26. Toma de medida briqueta #1. CRL - 1 + M.A

- Para la segunda briqueta se aplicó una cantidad de 25g de emulsión asfáltica con un tiempo de rompimiento de 24 horas, se hace notoriedad de que la briqueta estaba un poco porosa debido al posible segregamiento de los materiales al momento de compactar. La emulsión alcanza una penetración de forma constante de alrededor de 20.46 mm, alcanzando una penetración hasta de 43.06 mm, esto debido a los caminos dentro de la briqueta debido a la porosidad.



Ilustración 27. Briqueta imprimada #2. CRL - 1 + M.A



Ilustración 28. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 + M.A

- Para la tercera briqueta se aplicó una cantidad de 50g de emulsión asfáltica, dejando un tiempo para la ruptura de 4 horas. La briqueta se dejó en un lugar fresco a la sombra. La penetración de la emulsión se da en forma de ramificaciones, o sea, que no tiene una penetración constante. En algunos puntos se alcanzó una penetración hasta de 46.96mm.



*Ilustración 29. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1 + M.A*

### 5.2.2. Emulsión asfáltica CRL-1

- Para la primera briqueta se aplicó una cantidad de 25g de emulsión asfáltica con un tiempo de curado de 1 hora y 30, con una temperatura media de 35°C. Aunque la mayor parte de la emulsión quedó como una película en la parte superficial de esta, se aprecia cómo comenzó a penetrar la emulsión en forma de ramificaciones, alcanzando hasta 18.30 mm de profundidad. Cabe aclarar que la briqueta se encontraba un poco porosa.



*Ilustración 30. Toma de medida briqueta 1. CRL - 1*



- Para la segunda briqueta se aplicó una cantidad de 25g de emulsión asfáltica con un tiempo de curado de 24 horas, se hace notoriedad de que la briqueta estaba un poco porosa debido al posible segregamiento de los materiales al momento de compactar. La emulsión alcanza una penetración de forma constante de alrededor de 19.95 mm, alcanzando una penetración hasta de 25.71 mm, esto debido a los caminos dentro de la briqueta debido a la porosidad.



*Ilustración 31. Briqueta imprimada #2. CRL - 1 + M.A*



*Ilustración 32. Toma de medida briqueta #2. CRL - 1 + M.A*

- Para la tercera briqueta se aplicó una cantidad de 50g de emulsión asfáltica, dejando un tiempo para la ruptura de 4 horas. La briqueta se dejó en un lugar fresco a la sombra. Cabe aclarar que la briqueta se encontraba muy porosa, debido posiblemente a la segregación de los materiales al momento de compactarlos. La penetración de la emulsión se da en forma de ramificaciones, o sea, que no tiene una penetración constante. En algunos puntos se alcanzó una penetración hasta de 39.61mm.

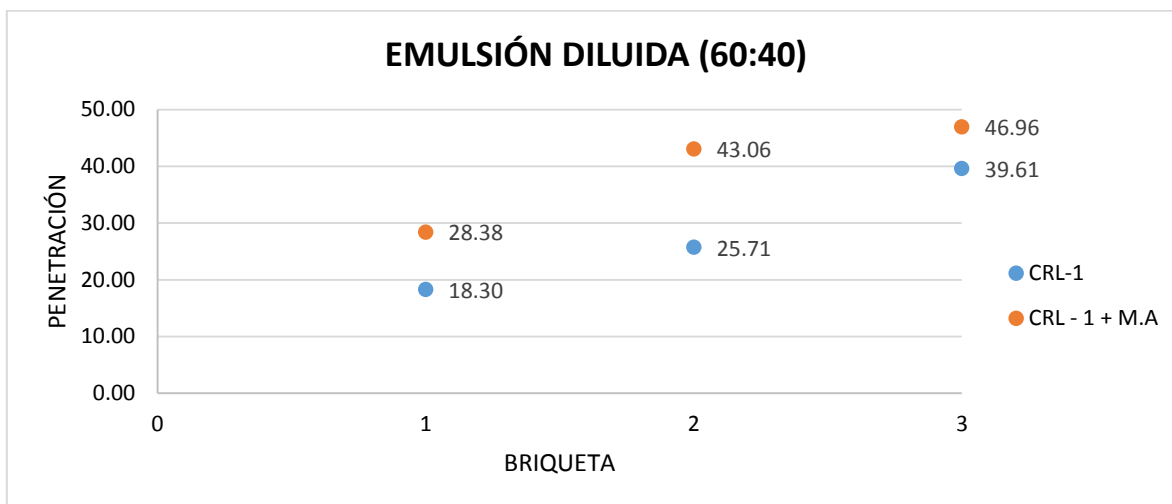


*Ilustración 33. Briqueta imprimada #3 CRL - 1*



*Ilustración 34. Toma de medida briqueta #3. CRL - 1*

Finalmente, se presenta un diagrama comparativo sobre el comportamiento de la penetración para las diferentes briquetas, donde se observa una mayor penetración en las briquetas imprimidas por emulsión CRL-1 + M.A para las diferentes combinaciones de tiempo de rompimiento y cantidad de emulsión. Se constató como la emulsión asfáltica con mejorar de adherencia presenta mayor penetración en las briquetas en los diferentes tiempos de rompimiento. De la misma manera, se pudo evidenciar como a mayor cantidad de emulsión aplicada se tiene mayor penetración.



## 6. Conclusiones

El desarrollo de la evaluación sobre la penetración de las emulsiones asfálticas en riego de imprimación se realizó cumpliendo las normativas vigentes en Colombia por la norma INVIAS - 2013. El informe se realizó en dos etapas, primero, en el análisis de la calidad de los materiales con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los requerimientos establecidos por la norma INVIAS y, segundo, el comparativo de las emulsiones empleadas para el riego de imprimación y la construcción de briquetas para evaluar la penetración.

Para evaluar el efecto de la penetración de la emulsión asfáltica empleada para imprimir, se tiene que factor importante es el tipo de base granular. Como se detalló en la caracterización, para la construcción de briquetas se empleó la base granular de gradación fina tipo BG-38, que presenta una granulometría densa. Las bases muy densas o muy finas presentan menores vacíos en los agregados, por lo que se ocasiona una imprimación deficiente, dado que al

momento de imprimir se cierran los vacíos, endurece la superficie y se forma una película de asfalto.

La exposición a altas temperaturas debido al sol es otro factor que influye en el tiempo de rompimiento y en la penetración de la emulsión, debido a que el agua de la emulsión se evaporó más rápido, por lo cual, su rompimiento se dio en poco tiempo impidiendo que se realizara el proceso de penetración de esta. Se constató que las briquetas expuestas al sol tuvieron menor o nula penetración. Por otro lado, las briquetas que no estaban expuestas al sol, tuvieron un tiempo de rompimiento más largo, permitiendo que la emulsión penetrar más.

Otro factor importante es la dilución de las emulsiones; al ser emulsiones más fluidas se permite que se puede desplazar por los vacíos con mayor facilidad. Se pudo determinar que las briquetas imprimadas con emulsión asfáltica CRL-1 con mejorador de adherencia tuvieron mayor penetración las briquetas imprimadas con emulsión asfalta CRL – 1, esto puede darse debido a los aditivos presentes en la primera emulsión.

La cantidad de emulsión aplicada, la temperatura a la cual se aplica la emulsión y el tiempo de rompimiento son parámetros determinantes para evaluar la penetración. Teniendo una relación directamente proporcional entre estos parámetro y la penetración, sin embargo, cabe verificar hasta qué punto esta condición se cumple.

Finalmente se puede constatar la emulsión asfáltica con mejorador de adherencia como mejor opción para el riego de imprimación, dado que presenta mayor penetración en los diferentes tiempos de ruptura. Se recomienda una dosificación cercana al límite superior de lo exigido por la norma y un tiempo de ruptura de al menos 4 horas. Se evidenció un incremento proporcional de la penetración de la emulsión en cuanto al tiempo de ruptura y la cantidad de emulsión aplicada. Cabe resaltar la necesidad de estudiar una emulsión asfáltica cuyos componentes sean más compatibles con los materiales de la empresa PROCOPAL S.AS para garantizar mejores resultados. Se sugieren estudios adicionales sobre el riego de la emulsión en su uso en las diferentes obras, bajo condiciones ambientales reales y proceso de aplicación por el personal encargado.

## 7. Referencias bibliográfica

Legiscomex (s.f). *El desarrollo de la infraestructura en Colombia*. Recuperado de: <https://www.legiscomex.com/Documentos/DESARROLLO-INFRAESTRUCTURA-COLOMBIA-RCI285>

Cárdenas, M., Gaviria, A., Meléndez, M. (Agosto, 2005). *La infraestructura de transporte en Colombia*. Recuperado de: [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/1035/Repor\\_Agosto\\_2005\\_Cardenas\\_Gaviria\\_y\\_Melendez\\_resumen\\_eje.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/1035/Repor_Agosto_2005_Cardenas_Gaviria_y_Melendez_resumen_eje.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

Quiroga, P. (s.f) *Infraestructura vial en Colombia frente a los países miembros de la alianza del pacífico para el desarrollo del comercio internacional*. Recuperado de: [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16245/1/2019\\_infraestructura\\_vial\\_colombia.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16245/1/2019_infraestructura_vial_colombia.pdf)

López, M (Octubre, 2018). *Carreteras, cambio climático y medidas de adaptación*. CAF-Banco de desarrollo de América Latina. Recuperado de: <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2018/10/carreteras-cambio-climatico-y-medidas-de-adaptacion/>

Salazar, C. R. (s. f.). *Emulsiones y asfaltos* [Tesis de pregrado]. Universidad de Sonora, México. Recuperado de: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=10577>

Giordani, C., Leone D., (s.f) Pavimentos. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Recueperado de: [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

García, A. (2016). Esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/RibBrian/0400-esfuerzos-y-deformaciones-en-pavimentos-flexibles>

Coward, H (2014). *Determinación de las condiciones experimentales más favorables para la obtención de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros desechados en la*

*reconstrucción de pavimentos*. Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2432/1/37600.pdf>

Rodríguez, R., Castaño, V. M., & Martínez, M. (2001). *Emulsiones asfálticas*. [Documento técnico No.23]. Instituto Mexicano de Transporte. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>

Ulloa, A., (2012, Julio 30). *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio*. Revista Métodos y materiales, volumen (2). Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/13469/13365>

Asphalt Institute, Asphalt Emulsion Manufacturers Association. (s. f.). *A basic asphalt emulsion manual. Third edition*, USA. Recuperado de: [https://ptabdata.blob.core.windows.net/files/2017/IPR2017-01242/v9\\_1009%20-%20A%20Basic%20Asphalt%20Emulsion%20Manual.pdf](https://ptabdata.blob.core.windows.net/files/2017/IPR2017-01242/v9_1009%20-%20A%20Basic%20Asphalt%20Emulsion%20Manual.pdf)

Keith J. (1995, Noviembre 16). *Introduction to asphalt emulsions, Canadá*, Public Works Canada Seminar Charlottetown P.E.I. Recuperado de: <https://mcasphalt.com/wp-content/uploads/RESEARCH-PAPERS/1995-Introduction-to-Asphalt-Emulsions-J.-Keith-Davidson.pdf>

Sapei, J., Larizzate M, González R. (2010, Mayo 4). *Emulsiones de imprimación: Evaluación de su capacidad de penetración*. Revista vial. Recuperado de: [https://revistavial.com/emulsiones-de-imprimacion-evaluacion-de-su-capacidad-de-penetracion/#:~:text=%E2%80%9CE1%20riego%20de%20imprimaci%C3%B3n%20es,%E2%80%9D%20\(The%20Asphalt%20Institute\)](https://revistavial.com/emulsiones-de-imprimacion-evaluacion-de-su-capacidad-de-penetracion/#:~:text=%E2%80%9CE1%20riego%20de%20imprimaci%C3%B3n%20es,%E2%80%9D%20(The%20Asphalt%20Institute))

Sapei, J., González R. (2014, Mayo 13). *Emulsiones de imprimación, su aporte en la adherencia*. Revista Infraestructura vial, volumen (16), p.p 33-43.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 3, Art. 330 Base granular*. INVIAS, 2013

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 4, Art. 411 Suministro de emulsión asfáltica*. INVIAS, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 4, Art. 420 Riego de imprimación*. INVIAS, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. *Normas de ensayos para carreteras. Secciones 100, 200 y 700*. INVIAS, 2013

Guerrero, S., Herra, et al. (s. f.), *Aplicación de riego de liga*. Universidad de Costa Rica.

Recuperado de:


[https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1420/Gui%CC%81a%20Riego%20de%20Liga\\_%20Versio%CC%81n%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1420/Gui%CC%81a%20Riego%20de%20Liga_%20Versio%CC%81n%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chamorro, V. (2019, Diciembre 05). *Criterios para la estandarización de emulsiones asfálticas para el riego de imprimación cumpliendo con las normativas vigentes en el Ecuador*. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de:

<https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9010>

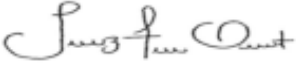
## 8. Anexos

### Anexo 1. Ficha técnica emulsión asfáltica CRL-1 Aditivada con mejorador de adherencia

 Manufacturas y Procesos Industriales Ltda. Especialistas en Asfaltos	R DT 10	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS
	N.R: 13 2021-02-06	REPORTE DE ENSAYO DE EMULSIONES ASFALTICAS CONVENCIONALES


Tipo de emulsión:	<u>CRL-1 ADT M.A</u>	Fecha despacho:	<u>20/02/2021</u>	Despacho No.	<u>N.A</u>
Cliente:	<u>PROCOPAL</u>	Fecha informe:	<u>24/02/2021</u>		
O b r a :	<u>N.A</u>	Lote No:	<u>023_21</u>		

PROPIEDAD	Norma	Especificación		Reporte de control de calidad	Frecuencia de ensayo
	Referencia	MIN	MAX		
VISCOSIDAD: SAYBOLT-FUROL a 25°C, (s) a 50°C, (s)	INV E-763	20	200	27	LOTE
CONTENIDO DE AGUA, %	INV E-761	--	43	38	LOTE
ESTABILIDAD DURANTE ALMACENAMIENTO ( 24 HORAS) %	INV E-764	--	1	0,6	LOTE
SEDIMENTACION A LOS 5 DÍAS %	INV E-764	--	5	5	LOTE
CONTENIDO DE ASFALTO POR DESTILACION HASTA 260°C, % del peso por dif.	INV E-762	57	--	62,0	LOTE
CONTENIDO DE SOLVENTES POR DESTILACION		--	--	0,0	
TAMIZADO: RETENIDO EN TAMIZ No. 20, (%)	INV E-765	--	0,1	0,0012	LOTE
CARGA DE LA PARTICULA	INV E-767	POSITIVA		POSITIVA	LOTE
p.H	INV E-768	--	6	2,16	TRIMESTRAL
DEMULSIBILIDAD, 35mL,0.8% DIOCTILSULFOSUCCINATO SÓDICO	INV E-766	--	--	N.A	SEMESTRAL
<b>ENSAYOS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
PENETRACION @ 25°C, 100 g, 5s (mm/10)	INV E-706	60	100	65	LOTE
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	INV E-713	97,5	--	98,08	SEMESTRAL
DUCTILIDAD @ 25°C, 5cm/min (cm)	INV E-702	40	--	112	MENSUAL

ING. LAB.  ANALISTA/AUXILIAR LAB. ALEJANDRA TORRES

- (1). La sedimentación a los cinco días se considera no aplicable (N.A) cuando el producto va a ser empleado en pocos días en obra, en caso contrario, para almacenamiento prolongado (>5 días) se recomienda recircular la emulsión en el tanque quincenalmente.
- (2). Algunas emulsiones especialmente superestables (CRL-1h), presentan una sedimentación a los 5 días mayor al 5% debido principalmente a su alta formulación, pero teniendo en cuenta que son empleadas en obra en pocos días no se presenta ningún problema para la estabilidad del producto. Por ser un proceso reversible, se recomienda recircular la emulsión.

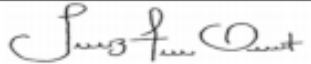
## Anexo 2. Ficha técnica emulsión asfáltica CRL-1

 Manufacturas y Procesos Industriales Ltda. <small>Especialistas en Asfaltos</small>	<b>R DT 10</b>	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS</b>
	N.R: 12 2020-11-09	<b>REPORTE DE ENSAYO DE EMULSIONES ASFALTICAS CONVENCIONALES</b>

Tipo de emulsión: <u>CRL-1</u>	Fecha despacho: _____	Despacho No. _____
Cliente: _____	Fecha informe: _____	
O b r a : _____	Lote No: _____	

PROPIEDAD	Norma	Especificación		Reporte de control de calidad	Frecuencia de ensayo
	Referencia	MIN	MAX		
VISCOSIDAD: SAYBOLT-FUROL a 25°C, (s) a 50°C, (s)	INV E-763	20	200	27	LOTE
CONTENIDO DE AGUA, %	INV E-761	--	43	37,8	LOTE
ESTABILIDAD DURANTE ALMACENAMIENTO ( 24 HORAS) %	INV E-764	--	1	0,5	LOTE
SEDIMENTACION A LOS 5 DÍAS %	INV E-764	--	5	1,5	LOTE
CONTENIDO DE ASFALTO POR DESTILACION HASTA 260°C, % del peso por dif.	INV E-762	57	--	62,2	LOTE
CONTENIDO DE SOLVENTES POR DESTILACION		--	--	0,0	
TAMIZADO: RETENIDO EN TAMIZ No. 20, (%)	INV E-765	--	0,1	0,00117	LOTE
CARGA DE LA PARTICULA	INV E-767	POSITIVA		POSITIVA	LOTE
p.H	INV E-768	--	6	2,02	TRIMESTRAL
DEMULSIBILIDAD, 35mL, 0.8% DIOCTILSULFOSUCCINATO SÓDICO	INV E-766	--	--	N,A	SEMESTRAL
<b>ENSAYOS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
PENETRACION @ 25°C, 100 g, 5s (mm/10)	INV E-706	60	100	64	LOTE
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	INV E-713	97,5	--	99,55	SEMESTRAL
DUCTILIDAD @ 25°C, 5cm/min (cm)	INV E-702	40	--	125	MENSUAL


ING. LAB. 

(1). La sedimentación a los cinco días se considera no aplicable (N.A) cuando el producto va a ser empleado en pocos días en obra, en caso contrario, para almacenamiento prolongado (>5 días) se recomienda recircular la emulsión en el tanque quincenalmente.

(2). Algunas emulsiones especialmente superestables (CRL-1h), presentan una sedimentación a los 5 días mayor al 5% debido principalmente a su alta formulación, pero teniendo en cuenta que son empleadas en obra en pocos días no se presenta ningún problema para la estabilidad del producto. Por ser un proceso reversible, se recomienda recircular la emulsión.

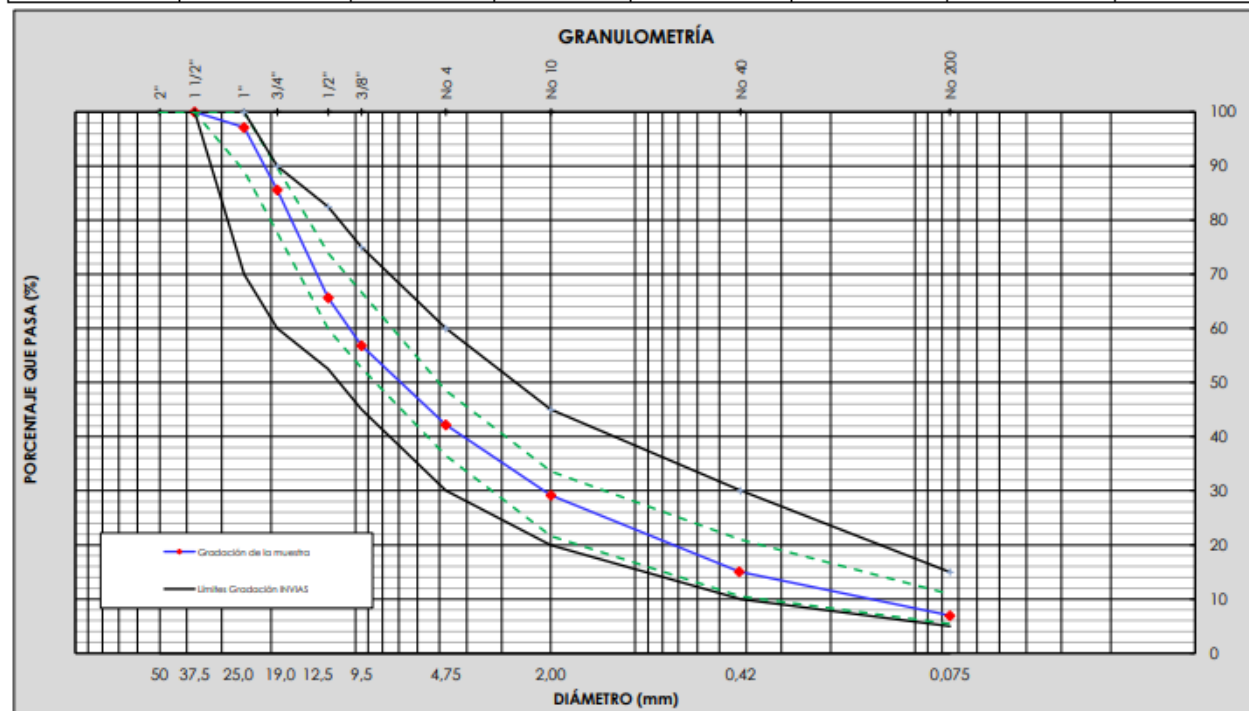


### Anexo 3. Análisis granulométrico. Base Granular PROCOPAL S.A

	<b>ENSAYO DE LABORATORIO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>  INV-13	Código: CCF-01.1 Revisión: 06 Vigencia: Agosto de 2017

<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	<b>FECHA:</b>	22-feb-21
<b>TIPO:</b>	BASE GRANULAR B-G-38	<b>PLANTA:</b>	TRITURADORA N° 2
<b>PROCEDENCIA:</b>	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	<b>MUESTRA:</b>	3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, INV E - 213							
ESPECIFICACIONES				GRANULOMETRÍA			
Tamiz		Parámetros Invas		Peso 1	6478,0	Peso 2	6051,0
Tamiz ("/No)	Abertura (mm)			Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
2"	50,0						
1 1/2"	37,5	100,0	100,0				
1"	25,0	70,0	100,0	185,7	2,87	2,9	97,1
3/4"	19,0	60,0	90,0	745,2	11,50	14,4	85,6
1/2"	12,5	52,5	82,5	1290,5	19,92	34,3	65,7
3/8"	9,5	45,0	75,0	574,7	8,87	43,2	56,8
No 4	4,8	30,0	60,0	947,3	14,62	57,8	42,2
No 10	2,0	20,0	45,0	844,4	13,03	70,8	29,2
No 40	0,425	10,0	30,0	914,8	14,12	84,9	15,1
No 200	0,075	5,0	15,0	526,0	8,12	93,1	6,9
FONDO	-	-	-	22,4	0,35	93,4	



CALIDAD DE LOS AGREGADOS PÉTREOS, INV Art. 330		Unidad	Valor	Límite Mínimo	Límite Máximo	Concepto
Límite líquido	INV E-125	%	0	-	-	CUMPLE
Índice de Plasticidad (NP = 0)	INV E-125 y E-126	%	NP	-	0	CUMPLE
Equivalente de Arena	INV E-133	%	52	30	-	CUMPLE
Valor de Azul de Metileno (0 = No aplica)	INV E-235	mg/g	0	-	10	CUMPLE
Ensayo modificado de compactación	INV E-142	kg/m <sup>3</sup>	2,286	-	-	CUMPLE

## Anexo 4. Ensayos de cara fracturadas, equivalente de arenas y angularidad. Base Granular PROCOPAL S.A

	<b>CARAS FRACTURADAS, EQUIVALENTE DE ARENA Y ANGULARIDAD PARA CAPAS GRANULARES</b>	Código: CC F - 01.2
	INV-13	Revisión: 06
		Vigencia: Agosto de 2017

DESCRIPCIÓN:	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	FECHA:	22-feb-21
TIPO:	BASE GRANULAR	PLANTA:	TRITURADORA N° 2
PROCEDENCIA:	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	MUESTRA:	3


PARTÍCULAS CON UNA CARA FRACTURADA, INV E - 227											
TAMIZ		Peso de la muestra (g)	Partículas con una cara fracturada		Partículas cuestionables o dudosas		Partículas que no cumplen criterio		Partículas con una cara fracturada P (%)	(%) Gradación	
PASA	RETIENE		(F) (g)	%	(Q) (g)	%	(N) (g)	%			
1 1/2"	1"	185,7	182,2	98		0		4	2	98	2,9
1"	3/4"	745,2	742,2	100		0		3	0	100	11,5
3/4"	1/2"	1290,5	1285,6	100		0		5	0	100	19,9
1/2"	3/8"	574,7	562,1	98		0		13	2	98	8,9
3/8"	N° 4	200,0	199,4	100		0		1	0	100	14,6
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON UNA CARA FRACTURADA (%)										<b>99,28</b>	

PARTÍCULAS CON DOS CARAS FRACTURADAS, INV E - 227											
TAMIZ		Peso de la muestra (g)	Partículas con dos caras fracturadas		Partículas cuestionables o dudosas		Partículas que no cumplen criterio		Partículas con dos caras fracturadas P (%)	(%) Gradación	
PASA	RETIENE		(F) (g)	%	(Q) (g)	%	(N) (g)	%			
1 1/2"	1"	185,7	158,8	86		0		27	14	86	2,9
1"	3/4"	745,2	701,2	94		0		44	6	94	11,5
3/4"	1/2"	1290,5	1123,1	87		0		167	13	87	19,9
1/2"	3/8"	574,7	510,2	89		0		65	11	89	8,9
3/8"	N° 4	200,0	172,2	86		0		28	14	86	14,6
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON DOS CARAS FRACTURADAS (%)										<b>88,39</b>	

DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA, INV E-133					VALORACIÓN DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y LLENANTES MINERALES, INV E-235	
PRUEBA N°	LECTURA DE ARCILLA	LECTURA DE ARENA	EQUIVALENTE ARENA %	PROMEDIO		
1	16,3	8,4	51,5	<b>52</b>	Material empleado para realizar la medición, g	<b>10</b>
2	16,2	8,4	51,9		Volumen de Azul de Metileno empleado, ml	<b>0</b>
3					Concentración de Azul metileno, mg/ml	<b>5</b>
					Valor de Azul de Metileno, mg/g	<b>0</b>

ÍNDICE DE PLASTICIDAD, INV E - 125 y E - 126		
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	I.P. (ÍNDICE DE PLASTICIDAD)
LÍMITE LÍQUIDO - LL	0,0	<b>NP</b>
LÍMITE PLÁSTICO - LP	0,0	

## Anexo 5. Ensayos de índice de forma (Partículas planas y alargadas). Base Granular PROCOPAL S.A


	<b>ENSAYO ÍNDICES DE FORMA</b>	<b>Código:</b> CC F - 01.3
	<b>INV-13</b>	<b>Revisión:</b> 06
		<b>Vigencia:</b> Agosto de 2017

<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	<b>FECHA:</b>	22-feb-21
<b>TIPO:</b>	BASE GRANULAR	<b>PLANTA:</b>	TRITURADORA N° 2
<b>PROCEDENCIA:</b>	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	<b>MUESTRA:</b>	3

ÍNDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO, INV E - 230								
PARTÍCULAS APLANADAS								
TAMIZ		Peso Muestra (gr)	Pasan el Calibrador (gr)	Pasan el Calibrador (%)	Gradación Original (%) Retenidos	Partículas Aplanadas (%) Corregido	Número Partículas Inicial	Número Partículas pasan
Pasa	Retiene							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	185,7	30,2	16,3	2,9	0,5		
1"	3/4"	745,2	131,1	17,6	11,5	2,0		
3/4"	1/2"	1290,5	198,8	15,4	19,9	3,1		
1/2"	3/8"	574,7	65,5	11,4	8,9	1,0		
3/8"	1/4"	200,0	33,6	16,8	14,6	2,5		
<b>ÍNDICE DE APLANAMIENTO</b>			$\frac{\sum (-5)}{\sum (-4)} =$		<b>15,6</b>			

PARTÍCULAS ALARGADAS								
TAMIZ		Peso Muestra (g)	Retienen en el Calibrador (g)	Retienen en el Calibrador (%)	Gradación Original (%) Retenidos	Partículas Alargadas (%) Corregido	Número Partículas Inicial	Número Partículas Retenidas
Pasa	Retiene							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	185,7	39,8	21,4	2,9	0,6		
1"	3/4"	745,2	145,5	19,5	11,5	2,2		
3/4"	1/2"	1290,5	210,2	16,3	19,9	3,2		
1/2"	3/8"	574,7	71,9	12,5	8,9	1,1		
3/8"	1/4"	200,0	39,8	19,9	14,6	2,9		
<b>ÍNDICE DE ALARGAMIENTO</b>			$\frac{\sum (-5)}{\sum (-4)} =$		<b>17,5</b>			

## Anexo 6. Ensayo de Salinidad de los Agregados. Base Granular PROCOPAL S.A


	<b>SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO</b>	<b>Código:</b> CC F - 01.5
	<b>INV-13</b>	<b>Revisión:</b> 06
		<b>Vigencia:</b> Agosto de 2017

<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	<b>FECHA:</b>	22-feb-2021
<b>TIPO:</b>	BASE GRANULAR	<b>PLANTA:</b>	TRITURADORA N° 2
<b>PROCEDENCIA:</b>	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	<b>MUESTRA:</b>	3

PÉRDIDAS CON SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO, INV E - 220								
GRUESOS								
MALLAS		GRADACIÓN ORIGINAL (%)	PESO DE LA MUESTRA			PÉRDIDA		
			Antes de ensayo		Después de ensayo	INDIVIDUAL		Corregida
Pasa	Retenido		Mínimo, (gr)	Empleado, (gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
3"	2 1/2"		5000					
2 1/2"	2"		3000					
2"	1 1/2"		2000					
1 1/2"	1"	2,9	1000	1024,4	1023,4	1,0	0,1	0,0
1"	3/4"	11,5	500	508,4	507,9	0,5	0,1	0,0
3/4"	1/2"	19,9	670	670,2	668,9	1,3	0,2	0,0
1/2"	3/8"	8,9	330	330,7	330,0	0,7	0,2	0,0
3/8"	No 4	14,6	300	300,5	299,0	1,5	0,5	0,1
<b>PÉRDIDA TOTAL DE LA FRACCIÓN GRUESA, %</b>								<b>0</b>

FINOS								
Pasa	Retenido	(%)	Mínimo, (gr)	Empleado, (gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
3/8"	No 4	<b>14,6</b>	300	300,5	299,0	1,5	0,5	0,1
No 4	No 8	11,3	100,0	100,0	99,7	0,3	0,3	0,0
No 8	No 16	7,3	100,0	100,0	99,9	0,1	0,1	0,0
No 16	No 30	5,2	100,0	100,0	97,9	2,1	2,1	0,1
No 30	No 50	2,8	100,0	100,0	98,4	1,6	1,6	0,0
<b>PÉRDIDA TOTAL DE LA FRACCIÓN FINA, %</b>								<b>0</b>
<b>PÉRDIDA TOTAL EN LA MUESTRA, %</b>								<b>0</b>


## Anexo 7. Ensayo de Gravedad específica de los Agregados. Base Granular PROCOPAL S.A

	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADOS GRUESOS, FINOS Y LLENANTE MINERAL</b>	Código: CC F - 01.6
	INV-13	Revisión: 06
		Vigencia: Agosto de 2017

DESCRIPCIÓN:	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	FECHA:	22-feb-21
TIPO:	BASE GRANULAR	PLANTA:	TRITURADORA N° 2
PROCEDENCIA:	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	MUESTRA:	3

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (>N°4)				
DETERMINACIÓN N°	1	2	3	PROMEDIO
Peso del Agregado Grueso Sumergido, g	1964,4	1964,1		
Peso del Agregado Grueso SSS, g	3020	3029		
Temperatura en T° C.	25	25		
Peso del Agregado Grueso Seco, g	3005,9	3014,2		
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	2,848	2,831		<b>2,839</b>
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK S.S.S.	2,861	2,844		<b>2,853</b>
GRAVEDADA ESPECÍFICA BULK APARENTE	2,886	2,870		<b>2,878</b>
ABSORCIÓN (%)	0,47	0,49		<b>0,5</b>


## Anexo 8. Ensayo de Desgaste en la máquina de los Ángeles. Base Granular PROCOPAL S.A

	<b>DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>	Código: CC F - 01.14
	INV-13	Revisión: 03
		Vigencia: Agosto de 2017

DESCRIPCIÓN:	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	FECHA:	22-feb-21
TIPO:	BASE GRANULAR	PLANTA:	TRITURADORA N° 2
PROCEDENCIA:	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	MUESTRA:	3

ENSAYO DE ABRASIÓN DE AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES, INV E - 218 y E-219					
PRUEBAS	1	2			
Gradaciones usadas	A				
N° de esferas	12				
<b>N° de revoluciones</b>	<b>500</b>				
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo (g)	5000				
Pb = Peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz N° 12 (g)	4212				
Pa - Pb = pérdida (g)	788				
<b>% Desgaste = (Pa - Pb)/ Pa</b>	<b>15,8</b>				


## Anexo 9. Ensayo de Desgaste en el equipo Micro-Deval. Base Granular PROCOPAL S.A

	<b>DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN EN EL EQUIPO MICRO-DEVAL</b>	<b>Código:</b> CC F - 01.15
	<b>INV-13</b>	<b>Revisión:</b> 03
		<b>Vigencia:</b> Agosto de 2017

<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	<b>FECHA:</b>	22-feb-21
<b>TIPO:</b>	BASE GRANULAR	<b>PLANTA:</b>	TRITURADORA N° 2
<b>PROCEDENCIA:</b>	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	<b>MUESTRA:</b>	3

RESISTENCIA DEL AGREGADO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO MICRO-DEVAL, INV E - 238					
PRUEBAS	1	2			
Nº de tabla	T-1				
Peso de esferas	5000				
Tiempo de rotación	120				
Nº de revoluciones por minuto	100				
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo (g)	1500				
Pb = Peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz N° 12 (g)	1369				
Pa - Pb = pérdida (g)	131				
<b>% Desgaste = (Pa - Pb)/ Pa</b>	<b>8,7</b>				

## Anexo 10. Ensayo de Resistencia por el Método de 10% de Finos. Base Granular PROCOPAL S.A

	RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO 10% DE FINOS Y DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES	Código: CC F - 01.7
	INV-13	Revisión: 06
		Vigencia: Agosto de 2017


DESCRIPCIÓN:	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	FECHA:	22-02-21
TIPO:	BASE GRANULAR	PLANTA:	TRITURADORA N° 2
PROCEDENCIA:	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	MUESTRA:	3

RESISTENCIA MECÁNICA 10 % DE FINOS, INV E - 224			
CONDICIÓN SECA			
<i>Tipo de material utilizado: Agregados constituidos de partículas angulares en condición seca</i>			
Parámetros	Penetración de Ensayo	15	mm
$m_0 =$	Masa del agregado en el pistón, kg	2785	
$m_1 =$	Masa del material retenido, kg	2576	
$x_1 =$	Carga aplicaga, KN	258,9	
$f_1 \%$	Porcentaje de finos producidos, %	7,5	
$C_{10} =$	Carga necesaria para producir el 10% de finos, KN	315,1	
		<b>C10 PROMEDIO (kN)</b>	<b>315,1</b>

CONDICIÓN HÚMEDA			
<i>Tipo de material utilizado: Agregados constituidos de partículas angulares en condición saturada durante no menos de 16 horas</i>			
Parámetros	Penetración de Ensayo	15	mm
$m_0 =$	Masa del agregado en el pistón, kg	2802	
$m_1 =$	Masa del material retenido, kg	2574	
$x_1 =$	Carga aplicaga, KN	248,9	
$f_1 \%$	Porcentaje de finos producidos, %	8,1	
$C_{10} =$	Carga necesaria para producir el 10% de finos, KN	287,1	
		<b>C10 PROMEDIO (kN)</b>	<b>287,1</b>
<b>RELACIÓN HÚMEDO/SECO, %</b>		<b>91,1%</b>	

TERRONES DE ARCILLAS Y PARTÍCULAS DELEZNABLES - TAPD, INV E - 211				
TAMIZ ("/No)	MASA INICIAL, g	TAMIZ LAVADO ("/No)	MASA FINAL, g	TA&PD, %
1-1/2" - 3/4"	856,9	No 4	856,9	0,00%
3/4" - 3/8"	566,0	No 4	566,0	0,00%
3/8" - No 4	325,7	No 8	325,7	0,00%
No 4 - No 16	50,0	No 20	50,0	0,00%
<b>TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES DEL AGREGADO GRUESO, %</b>				<b>0,00%</b>
<b>TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES DEL AGREGADO FINO, %</b>				<b>0,00%</b>

## Anexo 11. Ensayo de Proctor modificado. Base Granular PROCOPAL S.A

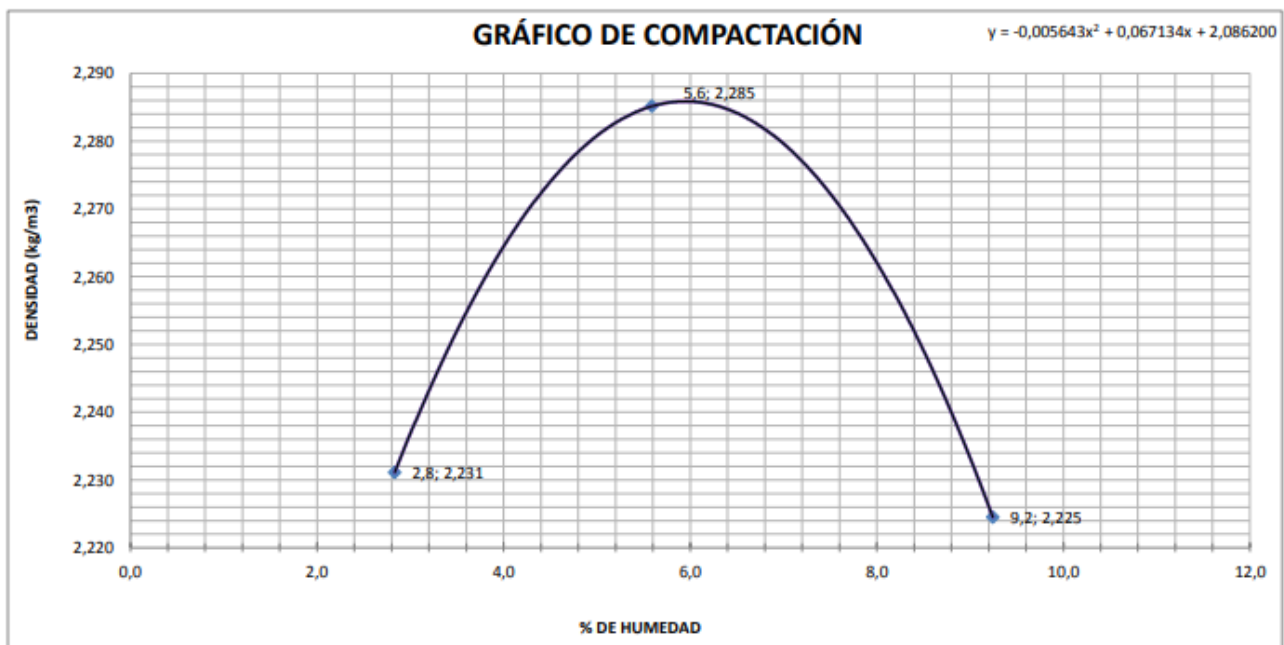
	<b>ENSAYO DEL PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>Código:</b> CC F - 01.8
	INV-13	<b>Revisión:</b> 06
		<b>Vigencia:</b> Agosto de 2017

<b>DESCRIPCIÓN:</b>	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	<b>FECHA:</b>	22-feb-21
<b>TIPO:</b>	BASE GRANULAR	<b>PLANTA:</b>	TRITURADORA N° 2
<b>PROCEDENCIA:</b>	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	<b>MUESTRA:</b>	3

ENSAYO DEL PROCTOR MODIFICADO, INV E - 142				
	<b>Golpes/Capa</b>	56	<b>N° Capas:</b>	5
<b>MOLDE N°:</b>	<b>Volumen del Molde:</b>	2134	<b>Peso del Molde:</b>	5789
<b>PUNTO N°</b>	1	2	3	4
PESO S HUMEDO + MOLDE	10685	10938	10975	
PESO S HUMEDO	4896	5149	5186	
PESO UNITARIO HUMEDO	2,294	2,413	2,430	

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD				
TARA No				
SH + TARA	1125,4	1171,4	1101,3	
SS + TARA	1094,4	1109,4	1008,1	
PESO AGUA	31,0	62	93,2	
PESO TARA	0,0	0,0	0,0	
PESO SUELO SECO	1094,4	1109,4	1008,1	
(%) DE HUMEDAD	2,8	5,6	9,2	
PESO UNITARIO SECO kg/m <sup>3</sup> (DENSIDAD)	2,231	2,285	2,225	
(%) DE HUMEDAD ÓPTIMA	<b>5,9</b>	DENSIDAD MAX kg/m <sup>3</sup>		<b>2,286</b>

ECUACIÓN DE COMPORTAMIENTO  $Y = -0,0056 X^2 \pm 0,0671 X \pm 2,0862$



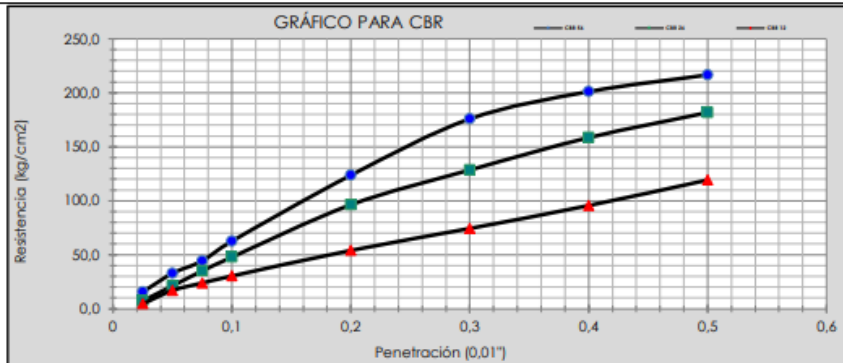


## Anexo 12. Ensayo de CBR. Base Granular PROCOPAL S.A

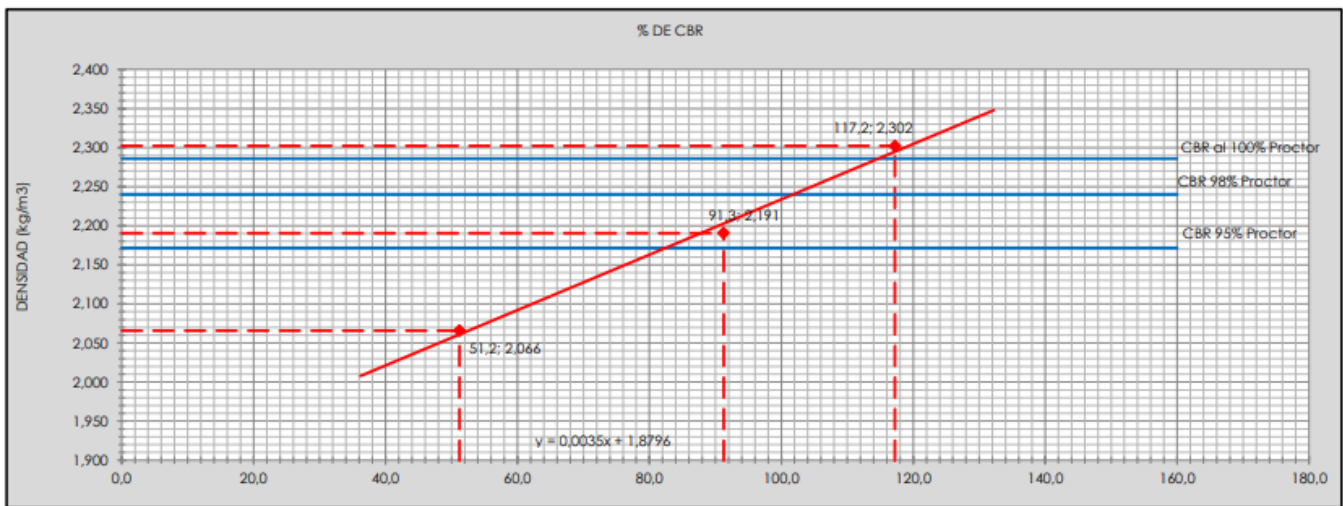
	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA DEL MATERIAL	Código: CC F - 01.10
	INV-13	Revisión: 06
		Vigencia: Agosto de 2017

DESCRIPCIÓN:	MATERIAL PARA CAPAS GRANULARES	FECHA:	22-feb-21
TIPO:	BASE GRANULAR	PLANTA:	TRITURADORA Nº 2
PROCEDENCIA:	PLANTA PROCOPAL S.A GIRARDOTA	MUESTRA:	3

**CBR REMOLDEADO, INV E - 148**



CONDICIONES FINALES			
PENETRACIÓN	CBR %		
Kg/Cm <sup>2</sup>			56 GOLPES
CBR 0.1"	62,6	88,8	●
CBR 0.2"	123,7	117,2	
<b>% CBR</b>		<b>117,2</b>	
Kg/Cm <sup>2</sup>			26 GOLPES
CBR 0.1"	47,8	67,9	■
CBR 0.2"	96,3	91,3	
<b>% CBR</b>		<b>91,3</b>	
Kg/Cm <sup>2</sup>			12 GOLPES
CBR 0.1"	30,3	43,0	▲
CBR 0.2"	54,0	51,2	
<b>% CBR</b>		<b>51,2</b>	



% CBR DE ENSAYO	117,2	91,3	51,2
DENSIDADES DE ENSAYO, g/cm <sup>3</sup>	2,302	2,191	2,066

ECUACIÓN DE COMPORTAMIENTO	Y=	0,0035	X ±	1,8796	<b>DENSIDAD Y CBR</b>	
					DENSIDAD PROCTOR, (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,286</b>
					CBR(100% DEL PROCTOR)	<b>116</b>

### Anexo 13. Verificación

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR INVIAS	BASE GRANULAR PROCOPAL	CUMPLIMIENTO
		CLASE A	CLASE A	
<b>Dureza (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo 500 revoluciones	E-218	35	15.8	CUMPLE
100 revoluciones		7	-	
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	25	8.7	CUMPLE
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224			
Valor en seco, mínimo (kN)		90	315.1	CUMPLE
Relación húmedo/seco, mínimo (%)		75	91.1	CUMPLE
<b>Durabilidad (O)</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220			
Sulfato de sodio		12	0	CUMPLE
Sulfato de magnesio		18	0	
<b>Limpieza (F)</b>				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	-	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	0		CUMPLE
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	52	CUMPLE
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	-	CUMPLE
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	0	CUMPLE
<b>Geometría de las partículas (F)</b>				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	17.5	CUMPLE
Caras fracturadas, mínimo (%)	E-227			
Una cara		100	99.28	CUMPLE
Dos caras		70	88.39	CUMPLE
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	35		
<b>Resistencia del material (F)</b>				
CBR (%): Porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥95	116	CUMPLE

Nota 1: El ensayo de Valor de azul de metileno solo será exigido cuando el equivalente de arena del material de base granular sea inferior a treinta (30), pero igual o superior a veinticinco (25)