

## **"USO DE ADITIVO BIOROAD LAZARO PARA LA FABRICACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS CON 100% DE RECICLADO DEL FIRME EXISTENTE"**

**Miguel Ángel Sanz Coll(\*), Jorge Coelho(\*), Leonardo Coelho(\*), Gerardo Botasso(\*\*), Manuel Salas Casanova(\*\*\*), Roberto Orozco(\*\*\*\*).**

---

### **1. Introducción**

La sociedad ha tomado conciencia de la importancia de reducir el impacto sobre el medio ambiente derivado de la construcción y el mantenimiento de las infraestructuras de carreteras, por otra parte, las cuales son muy necesarias para el desarrollo y el progreso de la sociedad.

La innovación en nuevos procesos y materiales más sostenibles, tanto para construir nuevas carreteras como para conservar las existentes, ha de ser un objetivo ineludible para las administraciones y empresas constructoras como respuesta a este reclamo de la sociedad.

De modo general se busca dentro de los objetivos de las mezclas sostenibles:

- Enfoque en las técnicas y procedimientos: Aportar técnicas o procedimientos que se consideren más sostenibles para elaborar mezclas bituminosas.
- Economía Circular: Contar con un rendimiento y aprovechamiento óptimo de las materias primas y la mayor valorización posible de los residuos procedentes de las obras, o de otros sectores industriales, para promover la economía circular en el sector de la construcción y disminuir las emisiones asociadas a esta actividad.
- Cumplimiento de las normas vigentes: procurar que se cumplan los requisitos mínimos solicitados por la normativa vigente desde el punto de vista mecánico, estructural y de durabilidad de la intervención.

Dentro de las múltiples metodologías que se pueden utilizar para elaborar mezclas bituminosas más sostenibles se pueden resaltar los procedimientos que se listan a continuación:

- a) Mezclas bituminosas con incorporación de material bituminoso reciclado (RA, del inglés Reclaimed Asphalt): este método aprovecha un residuo existente y reduce el consumo de materias primas.
- b) Procedimientos para reducir la temperatura de elaboración y extendido de las mezclas bituminosas: supone un menor consumo energético.

**(\*) SACYR GREEN (\*\* Universidad Tecnológica Nacional. La Plata.**

**(\*\*\*) CEMOSA (\*\*\*\*) TECNOFIRME**

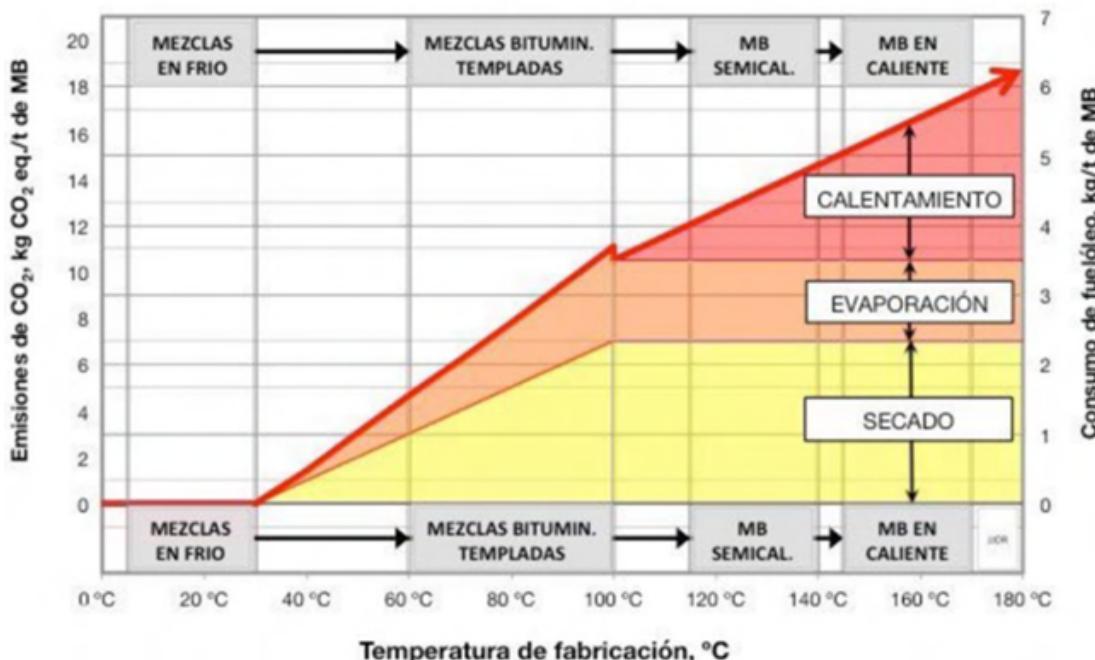
- d) Mezclas bituminosas ultrafinas (AUTL, del inglés Asphalt for Ultra-Thin Layer): menor consumo de recursos.
- e) Mezclas bituminosas con polvo de caucho: se fabrican utilizando un residuo y se puede obtener una mayor durabilidad.
- f) Usos de subproductos de otras industrias como agentes rejuvenecedores de asfaltos oxidados como así también para disminuir la temperatura de elaboración y mejorar la trabajabilidad de las mezclas bituminosas
- a) Aditivos para la producción de mezclas asfálticas fabricadas en caliente o semicalientes, que se aplican incluso a bajas temperaturas (-20°C) con prestaciones de mezclas asfálticas en caliente.

La evaluación de la sostenibilidad podrá evaluarse si se consideran aspectos ambientales tales como la descarbonización, caminando hacia la Neutralidad Climática en 2050, la economía circular, y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos en la Agenda 2030.

Si consideramos en forma específica el consumo de energía en el proceso de elaboración y puesta en obra, las mezclas bituminosas se clasifican en mezclas en caliente (MBC), semicalientes (MBS), templadas (MBT) y en frío (MBF).

- a) Las mezclas en caliente (MBC) o hot mix asphalt (HMA) son aquellas cuya temperatura de fabricación se fija en torno a 150 - 165°C.
- b) Las mezclas semicalientes (MBS) o warm mix asphalt (WMA) son en las que, mediante el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, se logra disminuir la temperatura mínima de mezclado en torno a 25-30°C respecto a la mezcla equivalente, de tal forma que sus temperaturas de fabricación se sitúan entre 130 - 150°C. Se pueden citar aditivos sostenibles, por lo que conocer el origen de cada materia prima será central a la hora de la evaluación.
- c) Las mezclas templadas (MBT) o half-warm mix asphalt (WMA) son aquellas fabricadas a temperaturas aún menores, entre 60 y 100°C. Este tipo de mezclas pueden fabricarse a partir de betunes asfálticos aditivados o espumados, o empleando aditivos que provengan de subproductos de otras industrias, lo que hace al proceso mas sostenible.
- d) Las mezclas bituminosas en frío (MBF) o cold mix asphalt, son aquellas en las que no se calientan los componentes, y el proceso de fabricación y puesta en obra tiene lugar a temperatura ambiente, gracias al empleo de emulsiones bituminosas como ligante o aditivos.

**En la Figura 1 se observan representadas los tipos de mezclas bituminosas**



**Figura 1. Tipos de mezclas bituminosas de acuerdo la temperatura de elaboración**

La utilización de betunes modificados, uso de NFVU, empleo de aditivos, selección de granulometrías adecuadas, y una puesta en obra especialmente controlada, permiten alcanzar valores de resistencias finales muy elevadas en las mezclas bituminosas que se fabrican a menores temperaturas que las mezclas en caliente.

Lo cierto es que, desde el punto de vista de la sostenibilidad y sus dimensiones social, económica y ambiental, las mezclas bituminosas en caliente implican unos grandes costos debido a los materiales constituyentes y al gasto energético necesario para el calentamiento de los materiales y la mezcla durante el proceso de fabricación.

Si se piensa en el uso de combustibles fósiles, en el uso del bitumen convencional, de los polímeros tales como SBS y SBR, áridos vírgenes de los yacimientos, fillers, entre otros, cualquier estrategia que permita sustituir materias primas de origen y disminuir el consumo de combustible, será más que bienvenida en la industria de la carretera.

**Es por ello que en SACYR GREEN, se trabaja en ese contexto, innovando en tecnologías que permitan realizar aportes concretos en el escenario planteado hasta aquí.**

## 1. El caso de las mezclas bituminosas sostenibles de SACYR GREEN

EL grupo empresarial brinda soluciones a las mezclas bituminosas hasta aquí planteadas por medio de alternativas tecnológicas específicamente desarrolladas, entre las cuales citamos:

### a) RARx. Caucho modificado o pre digerido de polvo de neumático al final de su vida útil (NFVU).

En este caso RARx, que ha ganado el mercado en España, ha crecido su uso en Europa y Latinoamérica. El RARx reemplaza a la utilización de polímeros vírgenes (SBS). Este polímero se ha visto encarecido por el aumento de las materias primas derivadas del petróleo por el efecto de la guerra de en Ucrania. EL polvo de NFVU pre digerido representa un subproducto de la trituración de los neumáticos fuera de uso, de alto valor tecnológico, que modifica a las mezclas bituminosas, permitiendo diseñar y ejecutar las mezclas bituminosas señaladas en la introducción de este artículo.

Permite eliminar la fibra de celulosa de las mezclas tipo SMA, eliminando otra materia prima de creciente costo en el mercado internacional.

Las mezclas bituminosas con RARx, han demostrado la posibilidad de construir capas de firmes de menor espesor a igualdad de ciclos resistidos a la fatiga.

Habiendo sido realizado en análisis de ciclo de vida, donde ha podido valorar energía consumida y kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera, se muestran en la tabla 1 y 2 los valores obtenidos para igualdad de espesores, analizando además la estrategia de rehabilitación en 25 años, donde el SMA con polvo pre digerido presenta mayor durabilidad con una tasa de reposición en los 25 años menor. Se observa que la energía consumida es menor para la producción del SMA con caucho de NFVU pre digerido que para el uso de SBS y fibra de celulosa. De la misma forma en la tabla 2 se puede observar la menor cantidad de emisiones para la mezcla tipo SMA con NFVU.

| Consumos de energías no renovables (MJ)       |  |  |
|---|--|--|
| Etapa de la obra                              | SMA<br>Asfalto con SBS + Fibra de celulosa | SMA<br>Asfalto convencional + polvo de caucho pre-digerido |
| Construcción de la capa                       | 14.678                                     | 13.290   |
| Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,50 % | 8.398+1.155                                |  |
| Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,15 % |  | 3.182+1.155  |
| <b>TOTAL DE ENERGIA NO RENOVABLE (MJ)</b>     | <b>24.231</b>                              | <b>17.627</b>  |

**Tabla 1. Consumos de energía de producción de SMA en 25 años de vida de servicio para igualdad de espesores. Proyecto Guyana.**

| Emisiones de potencial de calentamiento global (KgCO2eq)      |  |  |
|---|--|--|
| Etapa de la obra  | SMA<br>Asfalto con SBS + Fibra de celulosa | SMA<br>Asfalto convencional + polvo de caucho pre-digerido |
| Construcción de la capa                                       | 854  | 770  |
| Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,50 %                 | 506+81                                     |  |
| Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,15 %                 |  | 204+81   |
| <b>EMISIONES DE POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GOBLAL KgCO2eq</b> | <b>1441</b>                                | <b>1055</b>  |

**Tabla 2. Emisiones de potencial de calentamiento global (KgCO2) para la producción de SMA 25 años de servicio para igualdad de espesores**

### a)Aditivos BIOROAD.

Los aditivos producidos en Valencia, de la línea denominada BIOROAD, presentan varias características que son una verdadera revolución tecnológica, principalmente porque son aditivos mucho más sostenibles que sus competidores en el mercado.

Es un producto líquido procedente de diversas corrientes de subproductos y aditivos químicos con gran aporte de subproductos de los residuos. Su composición es compleja y se ha adecuado al origen de aceites residuales vegetal, alpechín, mediante adición de componentes químicos y compuestos grafénicos.

| COMPONENTES                               |
|---|
| Alpechín                                  |
| Tensioactivos anfóteros <u>anfifilico</u> |
| Amidas de ácidos grasos                   |
| Aceites residuales vegetales              |
| <u>Tetraetilenpentamina</u>               |
| Grafeno                                   |

**Tabla 3. Componentes del BIOROAD**

Los compuestos presentes en los aditivos permiten observar la presencia del Alpechín, subproducto de la industria del olivo, orgánico, de disponibilidad en España, trasformando un residuo que es un verdadero problema ambiental en España, en un nuevo producto para la elaboración de mezclas bituminosas a menor temperatura y almacenables.



**Fotografía 1. Grandes Balsas de alpechín en Jaén.**

### **España genera 5,6 millones de toneladas de alpechín por año.**

Son aditivos para asfalto de última generación, a base de tensioactivo anfifílico con base en Ester de ácido graso vegetal residual ecológico enriquecido con grafeno que proporciona una mayor duración del aglomerado asfáltico al tiempo que mejora los procesos de fabricación, extendido y compactado. Es un aditivo ecológico para mezclas asfálticas semicalientes o tibias (fabricadas entre 100 °C hasta 140 °C), enriquecido con grafeno que proporciona mejoras relevantes en el proceso de producción de las mezclas bituminosas.

Su comportamiento tras ser incorporado a la mezcla bituminosa puede ser interpretado como un aditivo promotor de adhesividad y/o un aditivo para fabricar y extender semicaliente o tibias.

Su aporte de grafeno aumenta la conductividad del calor y la electricidad fácilmente. Este aditivo usado en muchas industrias confiere muchas propiedades útiles a sustancias con las que está junto y probablemente sea el promotor de la eficacia en su función dentro de una mezcla semicaliente o tibia. El grafeno posee estructura tipo red es responsable de las características mecánicas propias del material que derivan de la fuerte interacción covalente entre los átomos de carbono mejorando la trabajabilidad.

**Uno de los aditivos, con la dosis correcta, tiene un efecto rejuvenecedor y permite ser combinado con tasas elevadas de RAP/RAS (hasta 100%).**

Aumenta la resistencia al agua medida con el ensayo de tracción indirecta y ensayo del cántabro. Incorpora tensioactivos anfóteros garantizando el carácter neutro de la base compuesta y su estabilidad.

Además facilita el proceso de compactación debido a la mayor trabajabilidad de la mezcla.

El aditivo puede ser incorporado al tanque de betún con una ligera agitación o recirculación, o dosificado a bascula de ligante, o directamente en la mezcladora después de añadir y mezclar el betún con los áridos.

La dosificación final dependerá de las prestaciones requeridas y será determinado o verificado mediante ensayos previos de laboratorio, utilizando la formulación y materiales disponibles en cada caso.



**Fotografía 2. Dosificación de BIOROAD en laboratorio**



Las dosis del aditivo pueden variar dependiendo de dos factores esenciales:

- El tipo de aditivo.
- Y la temperatura deseada de fabricación y compactación.

# BIOROAD MW

Tabla 4. Temperaturas vs Dosis de Biooad

11% de Sodio

0%  
pida  
%

La incorporación del aditivo se puede observar en la cisterna de las plantas asfálticas utilizadas, se puede realizar según se ve en la fotografía 3. El mismo se mezcla con el bitumen por medio de la bomba de recirculación de la propia cisterna de la planta



**Fotografía 3. Aditivo BIOROAD en planta**

El aditivo posee certificación ambiental europea como así también de calidad y comercialización.

En cuanto a la seguridad en su manejo: no contiene COVs, ni sustancias volátiles. Esta formulado con compuestos naturales reciclados que eximen de cualquier clasificación de peligrosidad. Por otro lado, al trabajar a menor temperatura, se genera una reducción de humos y emisiones durante el proceso de fabricación, extendido y compactación del aglomerado, incluso a temperaturas cercanas a 120°C se constata la desaparición de humos, vapores y olores de los ligantes. Se trata de un producto sin olores, termo-resistente y estable a temperaturas de almacenamiento. Esto último provoca una reducción de emisión de gases derivadas por el ahorro de combustible (hasta 50% de reducción de combustible). Salubridad, confort y manipulación segura de los operarios debido a la disminución de las temperaturas de trabajo y el empleo de un aditivo vegetal no peligroso. Las emisiones de CO<sub>2</sub> para la fabricación del BIOROAD son mínimas, ya que utilizamos casi todos los ingredientes reciclados.

**En cuanto su sostenibilidad económica en comparación con la mezcla convencional, la mezcla semicaliente o tibia con BIOROAD WM puede ser entre 1 y 2€ más económica por tonelada fabricada.** Por otro lado la fabricación a menor temperatura provoca un menor desgaste de las piezas de la planta, lo que supone un ahorro de piezas de repuesto y de horas de trabajo en el mantenimiento correctivo.

### **BIOROAD se presenta en tres versiones:**

- BIOROAD SB, para mezclas en frío almacenables o en sacos
- BIOROAD WM, destinado a mezclas semicalientes y tibias
- BIOROAD LAZARO, para mezclas con 100% de material fresado

### **c) BIOROAD LAZARO**

Aditivo ecológico **ideal para elaborar en forma trabajable mezclas bituminosas en caliente con 100% de RAP, actuando como un rejuvenecedor del ligante envejecido.**

El proceso de fabricación puede ser en caliente o en frío, lo importante es tener el fresado sin humedad, si se fabrica en frío se recomienda esperar de 3 a 5 días para la completa digestión del aditivo con el aglutinante envejecido para su aplicación.

En mezclas bituminosas preparadas en caliente, la dosis de aplicación de BIOROAD LAZARO puede ser de hasta el 2% del peso total de la mezcla, dependiendo del tipo de betún presente en el fresado y del tiempo de almacenamiento deseado.

Para mezclas bituminosas preparadas en frío, la dosis de aplicación de BIOROAD LAZARO puede ser de hasta el 4% del peso total de la mezcla, dependiendo del tipo de betún presente en el fresado y del tiempo de almacenamiento deseado.

Aumenta la penetración y la adherencia, reduciendo el uso de otros aditivos nocivos.

Al estar enriquecido con grafeno, que conduce fácilmente el calor y la electricidad, es casi transparente y confiere muchas propiedades útiles a las sustancias con las que se combina. Mejora la digestión del aditivo con el betún envejecido, lo que permite reducir la temperatura de transformación de la mezcla asfáltica reciclada.

**BIOROAD LAZARO no presenta riesgos específicos para los operarios en ninguna de las etapas de la obra vial.**

En la tabla 5 se pueden observar las características del aditivo

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| Aspecto:    | Líquido Negro          |
| Olor:       | Característico         |
| Densidad:   | 0,90 g/cm <sup>3</sup> |
| Viscosidad: | 60,00 cSt a 40º        |

**Tabla 5. Características del BIOROAD LAZARO**

**Fotografía 4. BIOROAD LAZARO**



## a) Mezcla bituminosa en frio MBF con RAP y BIOROAD LAZARO

Las mezclas bituminosas se diseñan sobre fresado de obra, al cual se le realizan los siguientes análisis:



**Fotografía 5. Mezcla bituminosa recuperado/ fresado de obra**

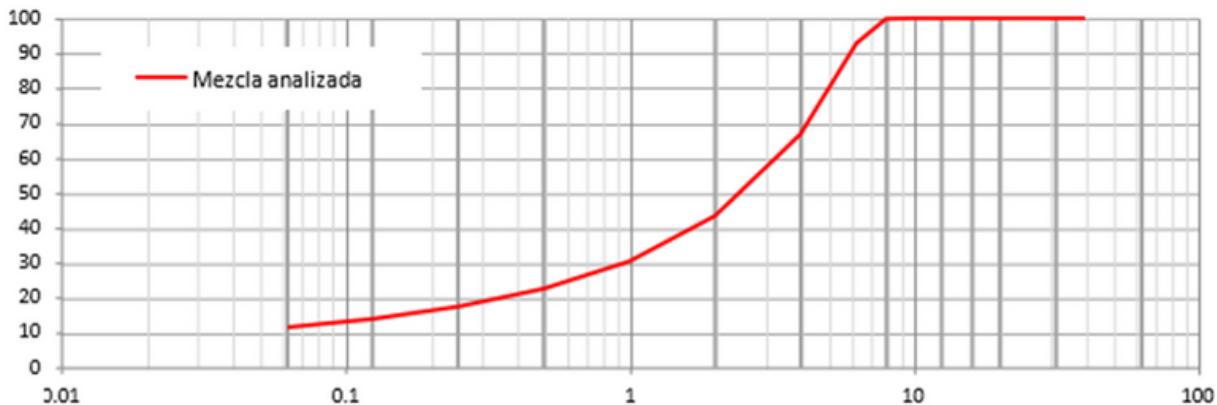
### Análisis granulométrico

ES 12697-2:2015+A1:2019 - DETERMINACIÓN DESDE EL GRANULOMETRÍA DE MEZCLA BITUMINOSA

| Tamiz [mm] | Pasante [%] |
|------------|-------------|
| 40,00      | 100,0       |
| 31,50      | 100,0       |
| 20,00      | 100,0       |
| 16,00      | 100,0       |
| 14,00      | 100,0       |
| 12,50      | 100,0       |
| 10,00      | 100,0       |
| 8,00       | 99,9        |

| Tamiz [mm] | Pasante [%] |
|------------|-------------|
| 6,30       | 92,9        |
| 4,00       | 66,8        |
| 2,00       | 43,4        |
| 1,00       | 30,4        |
| 0,500      | 22,5        |
| 0,250      | 17,4        |
| 0,125      | 13,9        |
| 0,063      | 11,5        |

**Tabla 6. Granulometría del RAP**



**Grafico 1. Granulometría de la muestra analizada**

Se determino el porcentaje de bitumen de la muestra por el método de ignición UNI es 12697-1:2020 - MEZCLAS BITUMINOSO: CONTENIDO DE AGLUTINANTE SOLUBLE.

**% de bitumen sobre áridos: 4,7 %**

**% de bitumen sobre mezcla: 4,5 %**

Posteriormente se ha pasado determinado la composición petrográfica de la fracción retenida en el tamiz nº 4.

UNE ES 932-3:2004 - DESCRIPCIÓN PETROGRAFICO SIMPLIFICADO

|   |       |
|---|-------|
| Grava calcárea y dolomítica surgiendo vamas depósitos<br>fluvioglaciars | 26,0% |
| Agregar De origen artificial  | 7,9%  |
| grava De origen porfidico   | 16,2% |
| grava De origen basáltico   | 49,9% |
| Elementos extraños  | 0,0%  |

**Tabla 7. Composición del RAP en la fracción retenida en tamiz nº4**

El análisis petrográfico permite visualizar el tipo de roca que compone las fracciones de la mezcla bituminosa y las afinidades o grado de dificultad de recubrimiento por parte del bitumen al que se le sumará la acción del BIOROAD.

A continuación, se puede observar el cambio producido en el fresado al agregar el BIOROAD LAZARO



**Fotografía 6. RAP sin y con BIOROAD LAZARO**

Se adiciona el 1,5% de BIOROAD LAZARO

Se uniformiza la distribución:



**Fotografía 7. RAP con BIOROAD LAZARO**

Luego a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo Marshall bajo la norma UNE ES 12697-34:2020 - ENSAYO MARSHALL.



**Fotografía 8. Probetas Marshall**

|                                  |                   |              |       |
|----------------------------------|-------------------|--------------|-------|
| Estabilidad Marshall promedio kN | correcto          | <b>4,9</b>   | > 3.0 |
| Flujo medio                      | mm                | <b>2,3</b>   | -     |
| Cociente Marshall medio kN/mm    | corregido         | <b>2,1</b>   | > 1.5 |
| Densidad Marshall                | Mg/m <sup>3</sup> | <b>2.267</b> | -     |
| Contenido del vacío              | %                 | <b>13,6%</b> | -     |

**Tabla 7. Valores obtenidos en el moldeo Marshall**

Luego se procede a realizar el ensayo de tracción indirecta

La tracción indirecta resulta ser una medida de la cohesión interna de la mezcla bituminosa.

UNE Es 12697-23:2018 - DETERMINACIÓN DESDE EL RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA



**Fotografía 9. Ensayo de tracción indirecta**

Probetas en laboratorio

Método moldeo de prensa giratoria (UNI es 12697-31)

Temperatura De prueba 25°C

Ciclos de rotura

Maduración [días] 7

| <b>Ensayo</b>                     | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> | <b>límites</b> |
|-----------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| Resistencia a tracción indirecta  | Kpa           | 71           | >55            |
| Coeficiente de tracción indirecta | Mpa           | 5            |                |

**Tabla 8. Valores de tracción indirecta**

### 3. CASOS DE OBRAS

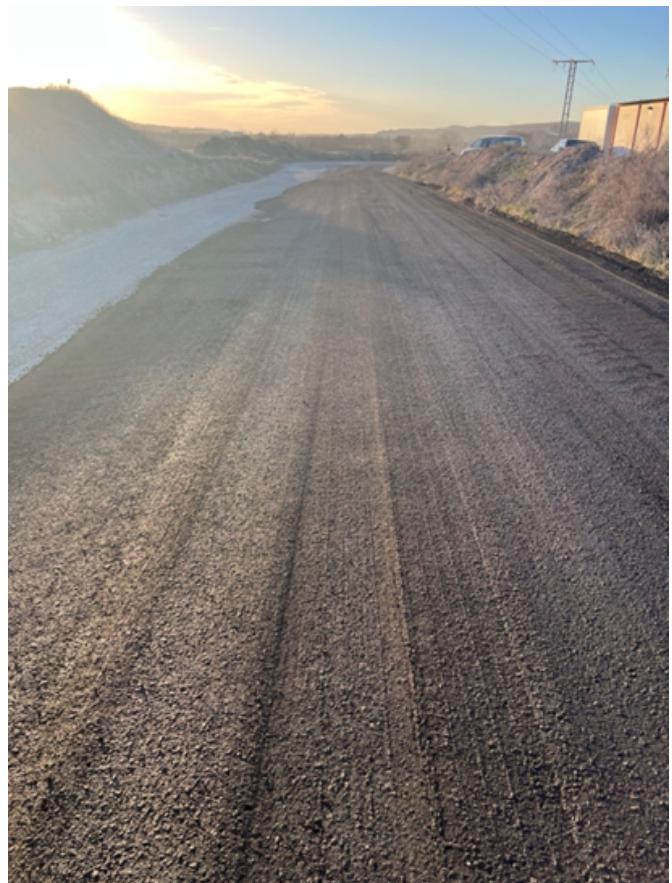
#### 3.1. CCR Nova Dutra - Rodovia Presidente Dutra Km 184,3 - Santa Isabel, SP - Brasil



#### 3.2. Rue de Moutfort, Contern – Luxemburgo



### 3.3. M320 - Villarubia de Santiago - España



## 4. CONCLUSIONES

---

- Ecoler Ambiental y Único Asfaltos se comprometen con la sustentabilidad fabricando productos que permiten bajar los niveles de consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- En la línea de los NFVU, comercializa el RARx, caucho pre digerido que permite obtener las mezclas posicionadas hoy en día como sostenibles, con menores espesores y mayor durabilidad.
- Desde el punto de vista de la energía y las emisiones, comercializa 3 aditivos de la línea BIOROAD, con los cuales se pueden elaborar mezclas tibias, semicalientes y con 100% de fresado.
- En la presentación se pueden observar para la utilización del BIOROAD LAZARO con 100 % de RAP, los valores sobre muestras de diseño han arrojado resultados volumétricos aceptables para las exigencias de obras en Europa.
- Por otro lado, los valores mecánicos medidos en el ensayo Marshall y resistencia a tracción indirecta, han demostrado capacidad mecánica y de cohesión más que satisfactorios.
- En este caso particular de estudio se trabajo con RAP, en frío con una dosis de 1,5% de BIOROAD LAZARO sobre mezcla.