CIRCULARIDAD EN LA CAPA DE RODADURA DE LA AVANZADA DE LEIOA

Manuel Salas Casanova
(CEMOSA EUSKO CONTROL)

15 de octubre de 2026

HARRI GREEN

cemosa
eusko control

TABLA DE CONTENIDOS

01 OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES A ALCANZAR CON LAS OBRAS DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ARIDOS VALORIZADOS.

02 MATERIALES RESIDUALES
ÁRIDO SIDERÚRGICO.
POLVO DE CAUCHO

03 CONTROL DE CALIDAD.
ENSAYOS PARA EL ESTUDIO DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN LA CAPA DE RODADURA.

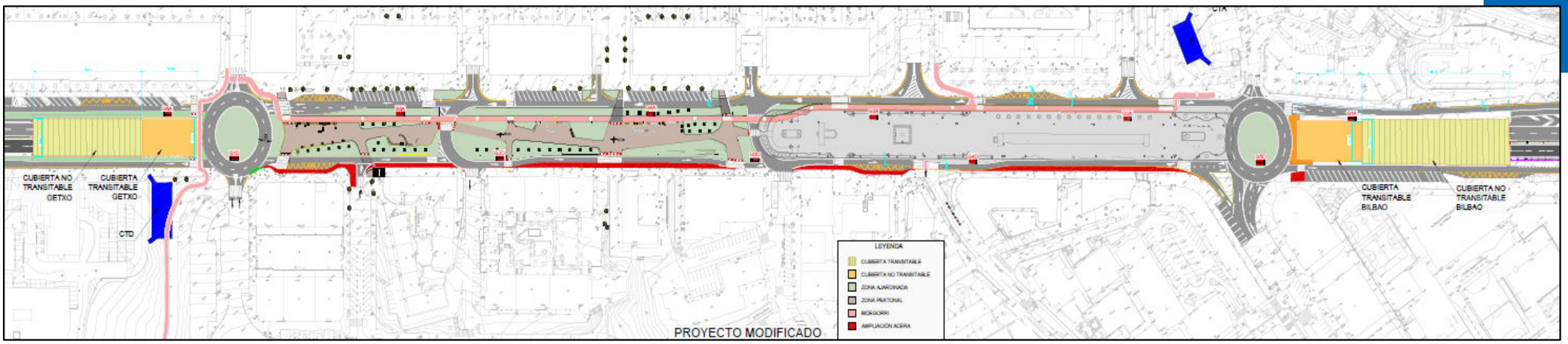
04 EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD.
ANÁLISIS DE LAS PRESTACIONES AMBIENTALES.

01

OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES A ALCANZAR CON LAS OBRAS DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ARIDOS VALORIZADOS.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA DE LA CUBIERTA DE LA AVANZADA

La Bi-637 constituye el eje principal de conexión de la margen derecha del área metropolitana de Bilbao, articulando el tránsito entre Getxo, Leioa, Uribe-Kosta y el centro urbano, así como con las vías de alta capacidad que enlazan con la Margen Izquierda y el Txorierri. Se trata de una autovía metropolitana con altos volúmenes de tráfico, alcanzando intensidades medias diarias cercanas a los 100.000 vehículos, lo que genera congestiones recurrentes, especialmente en las horas punta laborales. Su trazado atraviesa zonas densamente urbanizadas, como Leioa, donde un tramo de 310 metros se encuentra soterrado en el denominado Túnel de La Avanzada



OBRA PROMOVIDA POR INTERBIAK

OBJETIVOS GENERALES DEL PROYECTO

Eliminación de la barrera arquitectónica que supone la carretera BI-637 a cielo abierto en el casco urbano de Leioa consiguiendo un entorno más amable para la ciudadanía, mejorando la permeabilidad en el municipio tanto del transito peatonal como el rodado.

Minimización de las molestias acústicas generadas por el intenso tráfico que circula por la N-637 en las zonas colindantes a esta, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

Adecuación de las instalaciones a los requisitos de seguridad establecido en la norma de seguridad vigente, minimizando posibles situaciones de riesgo para los usuarios de la vía y de la propia estructura

MEDIDAS PARA ATENUAR EL RUIDO EN EL TUNEL DE LA AVANZADA DE LEIOA

- CUBRICIÓN DE LAS TRINCHERAS EXISTENTES EN LA TRAMA URBANA.
- INSTALACIÓN DE PANELES FONOABSORBENTES EN HASTIALES Y CUBIERTAS
- INSTALACIÓN DE PANTALLAS ACUSTICAS EN LA SALIDAS DE LAS BOCAS
- DISMINUCIÓN DE VELOCIDAD DE CIRCULACION PERMITIDA A 20 KM/H
- EMPLEO DE MEZCLAS FONO-REDUCTORAS EN LA CAPA DE RODADURA.

OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL PROYECTO

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la licitación recoge en su articulado el siguiente requisito.

8.16.1. Utilización de materiales residuales

La legislación ambiental establece, en aras de fomentar la reutilización de materiales residuales, la recomendación de utilizar escorias negras de acería, ligantes modificados por adición de polvo de neumáticos y otros materiales residuales normalizados.

SOLUCIÓN SELECCIONADA

La mezcla seleccionada ha sido la SMA (Stone Mastic Asphalt) empleada ampliamente en carreteras de alta capacidad debido a su durabilidad y resistencia a la deformación permanente, **en una doble variedad**:

- **SMA con áridos siderúrgicos y betún modificado con polímeros para el interior del túnel.**
- **SMA con áridos siderúrgicos, betún convencional y polvo de caucho reciclado para las zonas del tronco exteriores.**

02

ÁRIDO SIDERÚRGICO

Está demostrado la viabilidad técnica de la escoria de horno eléctrico (EAF, *Electric Arc Furnace slag*) como sustituto de áridos naturales, tanto en hormigones como en mezclas bituminosas.

Las principales propiedades que caracterizan a este material son:

- **Alta densidad** (≈3,7–3,9 g/cm³).
- **Elevada resistencia al desgaste y a la fragmentación** (Los Ángeles < 12%).
- Su **textura rugosa y elevada angularidad** favorecen la adherencia con el ligante bituminoso.
- Mejora, frente al árido natural, el **comportamiento frente al deslizamiento** (Coeficiente de Pulido Acelerado de 58).

TODO ELLO CONDUCE A UNA MAYOR DURABILIDAD DE LA MEZCLA BITUMINOSA

ÁRIDO SIDERÚRGICO EMPLEADO EN LA OBRA

El árido siderúrgico empleado procede de la escoria de la acería de **SIDENOR**, localizada en Basauri. Este subproducto se genera en los hornos de arco eléctrico durante la fabricación de acero, diferenciándose en dos fracciones principales: **escoria negra** y **escoria blanca**, siendo la primera la más utilizada como árido en aplicaciones de ingeniería civil.

El proceso de valorización y acondicionamiento del material fue llevado a cabo por la empresa **HARRIGREEN RECYCLING S.L.** especializada en el tratamiento de escorias siderúrgicas para su reutilización en aplicaciones constructivas.



Zona de gestión de escorias negras en la acería de SIDENOR

El proceso de valorización y acondicionamiento del material incluye operaciones de:

- Enfriamiento controlado con agua.
- Machaqueo.
- Cribado y clasificación granulométrica, con el fin de obtener fracciones de árido que cumplan con las especificaciones de la normativa vigente sectorial de aplicación (PG-3, Código Estructural y normativa autonómica de dimensionamiento de firmes del País Vasco).

Para esta obra, se ha incluido un machaqueo adicional en instalación de cantera, lo que favorece su fracturación y angularidad, asegurando la calidad final del árido

02

POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE LA TRITURACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE SU VIDA ÚTIL. NFVU

La inclusión del caucho en el ligante o en la propia mezcla:

- Mejora la resistencia a la fisuración.
- Aumenta la elasticidad y
- Prolonga la vida útil del pavimento.

Estos efectos se deben a la capacidad del caucho para modificar el comportamiento reológico del betún, incrementando:

- Su viscosidad y
- Punto de ablandamiento.

Objetivos medioambientales

El uso de caucho reciclado en mezclas asfálticas representa una estrategia eficaz de valorización de un residuo considerado problemático a escala mundial, como son los neumáticos fuera de uso (NFVU).

Su incorporación permite reducir el volumen destinado a vertederos y fomentar la economía circular en el sector de la construcción de carreteras

POLVO DE CAUCHO PRETRATADO EMPLEADO EN LA OBRA

El caucho empleado en las mezclas bituminosas ha sido el pretratado por TYREXOL.

El polvo de caucho es el triturado por RENECAL a partir de NFVU.

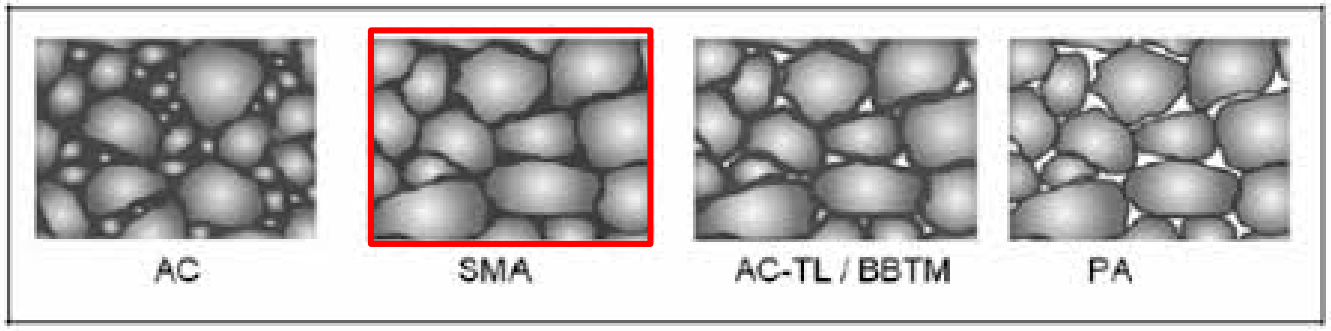




03

CONTROL DE CALIDAD. ENSAYOS PARA EL ESTUDIO DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN LA CAPA DE RODADURA.

Mezclas bituminosas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt)



Stone Mastic Asphalt

Gran cantidad de:

- Árido grueso
- Filler
- Ligante

Ventajas

• Envejecimiento más lento.
• Se pueden emplear en espesores reducidos.
• Mezclas con gran cohesión, debido a la elevada proporción de ligante y polvo mineral.
• Gran resistencia mecánica, debido a que existe un mayor contacto entre las partículas de árido grueso.
• Gran durabilidad frente a la fisuración por el elevado contenido en betún.
• Buena macrotextura debido a la baja proporción de árido de tamaños medios.
• Mayor resistencia a las deformaciones plásticas debido a la alta proporción de árido grueso.
• Buena estabilidad a altas temperaturas y buena flexibilidad a bajas temperaturas.
• Buena impermeabilidad, por el bajo contenido en huecos.
• Bajo ruido de rodadura por la macrotextura negativa.

EL FABRICANTE DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS HA SIDO ASFALTADOS OLARRA

Es de destacar que, siendo mezclas novedosas:

- SMA
- EMPLEO DE ÁRIDO SIDERÚRGICO
- EMPLEO DE CAUCHO PRETRATADO POR VÍA SECA

No se produjo NO CONFORMIDAD ni en la fabricación, ni en la puesta en obra.

Control previo a la ejecución. Fórmulas de trabajo

MEZCLAS EMPLEADAS	LOCALIZACIÓN
SMA 11 SURF PMB 45/80-65	INTERIOR DEL TUNEL
SMA 11 SURF 50/70 0,8 NFVU	ZONAS DEL TRONCO EXTERIOR DEL TUNEL

MATERIALES COMPONENTES

ÁRIDOS		
TIPO	**NATURALEZA**	**PROCEDENCIA**
4/12	SIDERÚRGICO	HARRI GREEN
0/2	CALIZO	LA CILLA
FILLER	CEMENTO	

LIGANTES	
SMA 11 SURF PMB 45/80-65	
MATERIAL	**FABRICANTE**
BETÚN PMB 45/80-65	REPSOL
SMA 11 SURF 50/70 0,8 NFVU	
MATERIAL	**FABRICANTE**
BETÚN 50/70	REPSOL
CAUCHO PRETRATADO	TYREXOL

Control previo a la ejecución. Fórmulas de trabajo

CALIDAD ÁRIDO SIDERÚRGICO

CARACTERÍSTICAS DEL ÁRIDO			DENSIDAD (Mg/m³)			ABSORCIÓN DE AGUA (%)
TIPO	NATURALEZA	PROCENCIA	Aparente de las partículas (pa)	De las partículas secadas en estufa (prd)	De las partículas saturadas y secadas superficialmente (pssd)	
ARIDO 4/12	SIDERÚRGICO	HARRI GREEN	3,92	3,73	3,78	1,30

CARACTERÍSTICAS DEL ÁRIDO			ÍNDICE DE LAJAS IL %)	CARAS DE FRACTURA (%)			DESGASTE LOS ÁNGELES (DLA %)	COEFICIENTE DE PULIDO ACELERADO (CPA)
TIPO	NATURALEZA	PROCENCIA		Media Cc	Media Cr	Media Ctc		
ARIDO 4/12	SIDERÚRGICO	HARRI GREEN	2	100	0,00	100	11	**58**
ESPECIFICACIONES PG-3			*≤ 25*	*100*	*0,0*	*100*	*≤ 15*	*≥ 56*

Control previo a la ejecución. Fórmulas de trabajo

PROPORCIÓN MATERIALES COMPONENTES

COMPONENTES	PROPORCIÓN F.T (%)
ÁRIDOS	
4/12	72
0/2	20
FILLER	8
SMA 11 SURF PMB 45/80-65. (% SOBRE MEZCLA)	
BETÚN (PMB 45/80-65)	4,8
SMA 11 SURF 50/70 0,8 NFVU. (% SOBRE MEZCLA)	
BETÚN 50/70	5,0
CAUCHO	0,8

Control previo a la ejecución. Fórmulas de trabajo

CARACTERÍSTICAS DE LAS SMA

PARÁMETROS		SMA 11 SURF 50/70 0,8 NFVU	SMA 11 SURF PMB45/80-65	ESPECIFICACIONES PG-3
DENSIDAD Máxima. (Mg/m3) (UNE EN 12697-5)		3,125	3,103	-
DENSIDAD. Aparente S.S.S. (Mg/m3) (UNE EN 12697-6)		2,975	2,977	-
% HUECOS (UNE EN 12697-8)	Aire	4,8	4,1	4 - 6
	Áridos	18,7	18,5	-
	Rellenos	74,3	78,1	-
SENSIBILIDAD AL AGUA (UNE EN 12697-12)	ITS w (KPa)	1691,3	1650,5	-
	ITS d (KPa)	1986,1	1799,4	-
	ITSR (%)	90,5	91,7	≥ 90
DEFORMACIÓN EN PISTA (UNE EN 12697-22)	WTS aire (mm/10^3)	0,07	0,042	≤ 0,07
	PRD aire (%)	11,12	7,61	-
	RD (mm)	4,448	3,042	-
ESCURRIMIENTO (%)		0	0	0

Control de la ejecución. Fresado





Tras el fresado se confirma lo determinado en el informe de inspección del firme, que la actuación podía limitarse al fresado y reposición de la capa de rodadura.

NO SE OBSERVAN FISURAS EN LA CAPA INTERMEDIA.

Control de la ejecución. Riego de adherencia





Control de la ejecución. Extensión SMA





La SMA 11 surf PMB 45/80-65. En el interior del túnel se llevó la mezcla a la extendedora con Dumper.

Control de la ejecución. Compactación SMA





Compactadores empleados en la pavimentación.

Control de la ejecución. Ensayos de muestras

PARÁMETROS		SMA 11 SURF PMB45/80-65	SMA 11 SURF 50/70 0,8 NFVU	ESPECIFICACIONES PG-3
DENSIDAD Máxima. (Mg/m3) (UNE EN 12697-5)		3,313	3,199	-
DENSIDAD. Aparente S.S.S. (Mg/m3) (UNE EN 12697-6)		3,158	3,045	-
% HUECOS (UNE EN 12697-8)	Aire	4,7	4,7	4 - 6
	Áridos	18,5	18,7	-
	Rellenos	74,7	74,3	-
SENSIBILIDAD AL AGUA (UNE EN 12697-12)	ITS w (KPa)	2096	2425	-
	ITS d (KPa)	2325	2687	-
	ITSR (%)	90,2	90,2	≥ 90
DEFORMACIÓN EN PISTA (UNE EN 12697-22)	WTS aire (mm/10^3)	0,06	0,07	≤ 0,07
	PRD aire (%)	7,83	9,37	-
	RD (mm)	3,133	3,748	-
ESCURRIMIENTO (%)		0	0	0

Control de la unidad terminada. Ensayos



ENSAYOS CÍRCULO DE ARENA Y PÉNDULO



EXTRACCIÓN DE PROBETAS TESTIGO

Control de la unidad terminada. Ensayos

PARÁMETRO	SMA 11 SURF PMB45/80-65	SMA 11 SURF 50/70 0,8 NFVU	ESPECIFICACIONES PG-3
MACROTEXTURA CÍRCULO DE ARENA (UNE EN 13036-1)	1,8	1,2	**≥ 0,9**
MICROTEXTURA COEFICIENTE ROZAMIENTO (PÉNDULO) (UNE EN 13036-4)	78	67	**≥ 60**

ASPECTO SMA





Control de la evolución de las mezclas bituminosas

En septiembre de 2026 se realizó el primer control de seguimiento de las mezclas bituminosas.

NO SE DETECTARON ANOMALÍAS EN NINGUNO DE LOS DOS TIPOS DE MEZCLA

Ni fisuras, desprendimiento de áridos, hundimientos etc.

Al menos durante los tres próximos años se realizarán, y documentarán controles de seguimiento

04

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD. ANÁLISIS DE LAS PRESTACIONES AMBIENTALES

La sostenibilidad de las mezclas diseñadas se ha determinado mediante un análisis simplificado de ciclo de vida (ACV), centrado en la cuantificación de la huella de carbono asociada a la fabricación de los materiales empleados.

El estudio consideró los módulos A1–A3, abarcando:

- El suministro de materias primas.
- El transporte a planta y
- Los procesos de fabricación de los componentes de las mezclas.

Conviene señalar que, al tratarse de un ACV simplificado, los resultados representan tendencias comparativas y no deben interpretarse como valores absolutos para el ciclo de vida completo.

MEZCLA SMA CON ÁRIDOS NATURALES					
Material	**Prop (%)**	**Unidad**	**Cantidad**	**Factor de emisión (kg CO_2-eq/t)**	**Emisiones (kg CO_2-eq/t)**
Cemento Filler	8	ton	0.0760	582.00	44.23
4/12 Árido Calizo	72	ton	0.6840	4.84	3.31
0/2 Arena Caliza	20	ton	0.1900	4.84	0.92
Betún	5	ton	0.0500	792.00	39.60
Polvo de caucho	0.00	ton	0.0000	–1,060.00	0.00
Total	—	—	**1**	—	**88.06**

MEZCLA SMA CON ÁRIDO GRUESO SIDERÚRGICO Y POLVO DE CAUCHO					
Material	**Prop (%)**	**Unidad**	**Cantidad**	**Factor de emisión (kg CO_2-eq/t)**	**Emisiones (kg CO_2-eq/t)**
Cemento Filler	8	ton	0.0754	582.00 [49]	44.23
4/12 Árido siderúrgico	72	ton	0.6782	3.93 [47]	2.69
0/2 Arena Caliza	20	ton	0.1884	4.84 [46]	0.92
Betún	5	ton	0.0500	792.00 [48]	39.60
Polvo de caucho	0.8	ton	0.0080	–1,060.00 [40]	–8.5
Total	—	—	**1**	—	**78.96**

MEZCLA SMA CON ÁRIDO GRUESO SIDERÚRGICO					
Material	**Prop (%)**	**Unidad**	**Cantidad**	**Factor de emisión (kg CO_2-eq/t)**	**Emisiones (kg CO_2-eq/t)**
Cemento Filler	8	ton	0.0762	582.00	44.23
4/12 Árido siderúrgico	72	ton	0.6854	3.93	2.69
0/2 Arena Caliza	20	ton	0.1904	4.84	0.92
Betún	4.80	ton	0.0480	792.00	38.02
Polvo de caucho	0.00	ton	0.0000	–1,060.00	0.00
Total	—	—	**1**	—	**85.86**

MEZCLA TIPO	Emisiones (kg CO_2-eq/t)
SMA CON ÁRIDOS NATURALES Y SIN POLVO DE CAUCHO	88,06
SMA CON ÁRIDO GRUESO SIDERÚRGICO Y SIN POLVO DE CAUCHO	85,86
SMA CON ÁRIDO GRUESO SIDERÚRGICO Y CON POLVO DE CAUCHO	78,96

CONCLUSIONES

TÉCNICAS

Las mezclas bituminosas convencionales SMA con áridos naturales y betún modificado con polímeros están consideradas como las mejores mezclas que se fabrican en España.

Las mezclas bituminosas SMA fabricada con árido siderúrgico y polvo de caucho han presentado prestaciones técnicas muy similares, algunas de ellas mejores, que la convencionales.

El elevado CPA del árido siderúrgico proporcionará mayor durabilidad del CRT .

CONCLUSIONES

MEDIOAMBIENTALES

El empleo del árido siderúrgico y el polvo de caucho ha disminuido la emisión de CO_2 de las mezclas bituminosas.

MEZCLA TIPO	Emisiones (kg CO_2-eq/t)	% DISMINUCIÓN
SMA CON ÁRIDOS NATURALES Y SIN POLVO DE CAUCHO	88,06	-
SMA CON ÁRIDO GRUESO SIDERÚRGICO Y SIN POLVO DE CAUCHO	85,86	2,50
SMA CON ÁRIDO GRUESO SIDERÚRGICO Y CON POLVO DE CAUCHO	78,96	10,33

Los resultados evidencian una reducción progresiva del impacto ambiental al sustituir los áridos naturales por subproductos industriales.

La mezcla con árido siderúrgico mostró una disminución del 2.50 % respecto al escenario convencional, asociada al menor requerimiento energético en la valorización de la escoria siderúrgica frente a los procesos de extracción y machaqueo de áridos naturales.

En conjunto, los resultados del ACV simplificado ponen de manifiesto que la incorporación de materiales valorizados —escoria de horno eléctrico y polvo de caucho reciclado— en mezclas SMA contribuye de forma efectiva a la reducción de la huella de carbono por tonelada de mezcla producida (10,33%).

¡Gracias por su atención!