

## **HACIA UNA ECONOMIA CIRCULAR: OBRA REALIZADA CON UNA MEZCLA BITUMINOSA SOSTENIBLE RECICLANDO 50.000 BOTELLAS DE PLÁSTICO.**

M. Barral,  
[mbarral@campezo.com](mailto:mbarral@campezo.com),  
Grupo Campezo

Alex Sainz de la Encina, Arquitecto  
[alexsainz@movistar.es](mailto:alexsainz@movistar.es)  
Axular lizeoa ikastola

### **RESUMEN**

En esta comunicación se presenta el trabajo realizado en el proyecto de “Acera para el desarrollo sostenible” que pretende ser un prototipo replicable para transferir lo realizado y lo aprendido a otros lugares, convirtiéndose así en un referente. Así mismo, este proyecto ha sido financiado por la Diputación Foral de Gipuzkoa, en la convocatoria de subvenciones 2021 *“destinadas a centros escolares del Territorio Histórico de Gipuzkoa para inversión en equipamientos, instalaciones, y espacios, que contribuyan a la formación y sensibilización en materia de desarrollo sostenible”* del Departamento de Medio Ambiente.

Este proyecto surge de una iniciativa propuesta por el Director del Colegio Axular Lizeoa, en Donostia cuyo fin era situar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el centro del proceso de enseñanza y aprendizaje de Axular ikastola. Para ello, se inició el proyecto con la recogida de las botellas de plástico por parte del alumnado y profesorado del colegio, posteriormente a través de la empresa Ekorec, mediante un tratamiento de reciclado, se ha obtenido una materia prima denominada finos de PET que ha sido utilizada por la empresa Asfaltia en la formulación de la nueva mezcla bituminosa sostenible. De esta forma se ha implicado a toda la cadena de valor, creando una acera y vial de acceso al colegio sostenible y circular que ha dado respuesta a un problema de seguridad.

Así mismo, como complemento a la actuación realizada, se colocaron bancos y papeleras suministradas por Ekomodo elaborados ambos a partir de los tapones de las botellas de plástico reciclado. Aproximadamente se han reciclado un total de 50.000 botellas de plásticos en la actuación realizada que a continuación detallaremos.

Asfaltia, empresa del grupo Campezo, dentro de su estrategia de innovación, tiene presente los principios de sostenibilidad y de la economía circular, trabajando desde el ecodiseño, buscando minimizar los residuos, sin perjudicar la reciclabilidad de nuestro producto bituminoso. Por esta razón, se comprometió a través del departamento de I+D+i del grupo, a desarrollar una nueva mezcla bituminosa sostenible con plásticos de botellas que cumpliera con las prestaciones requeridas para la actuación solicitada y que a continuación se describe con mayor detalle.

### **INTRODUCCIÓN**

Axular Lizeoa Kooperatiba Elkarte es una cooperativa educativa formada por unas 550 familias gipuzkoanas, para un total aproximado de 880 alumnos que se integran en la misma en sus diferentes etapas: educación infantil, primaria, secundaria obligatoria, y bachillerato. Fundada hace más de 50 años, la misión que le llevó a nacer, así como la intención de seguir creando valor a las familias y la sociedad que le rodea, es lo que le empuja a la exploración constante con el objetivo de la evolución y mejora continua en todos los ámbitos.

Así, tradicionalmente, su cultura le ha llevado a la implantación, puesta en marcha, y desarrollo de diversas iniciativas y proyectos estratégicos; siendo referencia a su vez en la mejora continua de otros agentes, y en la generación de valores añadidos que trascienden a su pura labor docente. En este sentido, y estando el sistema educativo en general normalmente alejado de la realidad circundante en sus procedimientos y modos de hacer, el colegio Axular Lizeoa considera que una de las mejores fuentes de conocimiento pueda ser la inmersión de la comunidad educativa en proyectos y formas de hacer que aporten valor añadido a la sociedad.

En definitiva, un proceso de aprendizaje – enseñanza de niños y jóvenes, de las propuestas planteadas y presentadas, que puedan ser factibles y reales, centrándose en metodologías y procedimientos eficaces que generen un aprendizaje integral de la ciudadanía; generando a la postre una relación horizontal entre el propio colegio y la sociedad, tanto en el alumno como en cualquier otro ciudadano.

Es en base a estos principios generales, en lo que se fundamenta el proyecto de “Acera para la sostenibilidad”, que nos ocupa.

En este sentido, y teniendo en cuenta la fórmula del “Learning by doing”, el colegio Axular Lizeoa entiende que sea necesaria la implementación de más experimentación/acción en el mundo de la educación; y, con ello, más reflexión/aprendizaje, para dar además un valor añadido a la sociedad Guipuzcoana, afrontando en este caso concreto los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los fundamentos de la Economía Circular.

Todo ello acorde además con la iniciativa del propio centro educativo denominada #GEROA2030 (<https://labur.eus/FJ1QK>), entre cuyas prioridades está la de hacer de Axular Lizeoa cada día un colegio más sostenible; analizando y haciendo también propuestas de mejora de su entorno y la propia ciudad, junto con otros centros y agentes participantes en la Agenda Local 2030, de todos los aspectos medioambientales acordados. Todo ello con el expreso propósito de intercambio de experiencias, metodologías, y herramientas de investigación y recursos para la aplicación y evaluación del proyecto en cuestión.

Es por ello por lo que, Axular considera que el proyecto de “Acera para la sostenibilidad” servirá de ejemplo y referencia a otros centros educativos, instituciones, y localidades; además de convertirse en una iniciativa repetitiva y transferible a otros lugares. Suponiendo un proyecto referente, no solo tras la propia ejecución de la acera y vial a base de materiales reciclados, sino creando un procedimiento de concienciación y participación del alumnado y las propias familias con la recogida y aporte de estos residuos.

De esta manera tendrá por tanto un impacto directo en la sociedad más cercana, Donostialdea y Gipuzkoa; suponiendo un proceso totalmente horizontal que busca el crecimiento de los tres mundos: ecosistema educativo/Objetivos de Desarrollo Sostenible y Economía Circular/sociedad, sin establecer prioridades, siendo la misión principal la transformación y el desarrollo.

### **Origen de la iniciativa**

La iniciativa “Acera para la sostenibilidad” tiene su origen en los problemas de acceso y falta de seguridad detectados, que, para todas aquellas personas, tanto propias del centro educativo (alumnos, docentes, personal administrativo y auxiliar, familiares, etc.) como ajenas al mismo, suponía la existencia de un solo acceso peatonal, a tales efectos insuficiente, desde su conexión con el viario público; y la necesidad de subsanación que dicha circunstancia conllevaba.

Hay que señalar que, tanto entonces como a día de hoy, el recinto correspondiente al colegio Axular Lizeoa dispone de un único punto acceso por parte de sus usuarios, tanto para el tráfico rodado, como para el peatonal. Dicho acceso, ubicado en el extremo noreste de la parcela, se articula en la práctica como “fondo de saco” de la calle Arostegui, vial de titularidad pública; y está compuesto por una verja de entramado metálico, donde se contienen a su vez las puertas correspondientes, tanto a la calzada rodada en toda su anchura (2 carriles), como las correspondientes a las aceras públicas peatonales a las que da frente. (Ver fotografía N°1).



*Foto 1: Foto de acceso hacia el interior del colegio (izq.) y hacia el exterior del colegio (dcha.) ambas antes de la actuación.*

Así, la acera derecha, en el sentido de entrada al recinto, de 1,4m de anchura total, se interrumpía bruscamente en su encuentro con la cancela en ese punto; no disponiendo de continuidad alguna hacia el interior del recinto escolar; todo ello a pesar de disponer de la correspondiente puerta peatonal al efecto en ese punto. Por otro lado, la acera opuesta, de 2,6 m de anchura total, sí que disponía de continuidad dentro del recinto escolar; siendo esta acera la única disponible para recoger y encauzar el tráfico peatonal generado desde, y hacia, el propio recinto escolar.

Todo ello redundaba, con frecuencia, en la invasión por parte de los peatones de la calzada rodada y zonas verdes correspondientes a la rotonda interior, con las evidentes situaciones de peligro generadas por interacción con el tráfico rodado; así como las aglomeraciones producidas, también de puertas hacia afuera del centro educativo, ya en el propio vial público, donde se reproducían las situaciones de peligro aludidas por el efecto “embudo”, cuando no agravadas por el estacionamiento irregular e irresponsable de vehículos particulares directamente sobre las aceras en cuestión, impidiendo físicamente el paso a los peatones.

### **Propuesta de actuación**

La propuesta de actuación pasaba por la ejecución de una nueva acera en el margen derecho hacia el interior del colegio; de manera que pudiera dar continuidad al esquema de la sección tipo del vial público al que enfrenta (1,4 m de anchura). Todo ello aprovechando la disposición de puerta peatonal de acceso al efecto que ya disponía la verja de entrada al recinto.

Así, y dado que en prácticamente 2/3 de la longitud de la traza donde se pretendía ubicar dicha acera, no se disponía del espacio suficiente para su habilitación, entre el margen de la calzada existente y el cierre de parcela, la solución propuesta pasaba por la obligada modificación del trazado viario actual; más concretamente del carril de acceso rodado al colegio, que aumentaría, y adaptaría, el radio de curvatura que lo definía, en detrimento de parte de las superficies de terreno correspondiente a las isletas ajardinadas, que habilitan y definen, su encuentro y posibles maniobras con el resto de la vialidad.



*Foto 2: Fotos de las isletas y acceso vial rodado al colegio.*

La actuación propuesta contemplaba además de la entrega y conexión de dicha acera, prácticamente enfrente del espacio exterior cubierto existente en la esquina noreste de la edificación, a cota de planta baja; siendo este el punto neurálgico de concentración de personas en horas punta dentro del recinto del colegio. Dicha conexión se realizaría mediante paso de cebra sobre elevado con respecto a la cota del pavimento actual de la calzada rodada, y enrasado con las cotas de la acera existente en ese punto. Solución esta que no solo resulta

acorde con los criterios vigentes de accesibilidad, si no que garantizaría la reducción de la velocidad de los vehículos en ese punto, redundando en la seguridad de las personas usuarias.



*Foto 3: Foto del punto neurálgico donde se ubicaría el paso peatonal de entrada al edificio escolar.*

Tal y como ya se ha explicitado con anterioridad, la pretensión del colegio a la hora de realizar la actuación expuesta va más allá de criterios puramente formales, técnicos y de seguridad; ya que se pretendía hacer partícipes, implicar y concienciar, a toda la comunidad educativa en la misma, contribuyendo con los ODS y la economía circular; de tal manera que pudiera tener también un impacto en la sociedad circundante, así como una vocación de iniciativa referente en otros centros, instituciones, localidades, etc. Es por ello por lo que, se propuso la ejecución de un pavimento bituminoso con base de materiales reciclados, parte de estos recogidos y aportados por ellos mismos para su posterior envío a la planta de reciclado, para su valorización.

En este sentido, el colegio Axular Lizeoa, con el inestimable apoyo económico de la Diputación Foral de Gipuzkoa, contó con el soporte para ello, tanto técnico y de ejecución en el proceso puramente constructivo, como formativo y pedagógico en el proceso de concienciación y sensibilización educativo ya referido anteriormente, de dos empresas que ya habían colaborado previamente entre ellas en la investigación y desarrollo de soluciones innovadoras para pavimentos como el que nos ocupa; de tal manera que la presente iniciativa ha supuesto una verdadera oportunidad para su implementación práctica y ejecución, además de una fase más a futuro para su aplicación en otras actuaciones. Dichas empresas son Asfaltia, perteneciente al Grupo Campezo con amplia y contrastada experiencia en numerosos campos referidos a la construcción, en especial en firmes y pavimentos a lo que se refiere esta comunicación; su investigación y desarrollo y Ekorec como empresa referente en economía circular del sector del plástico, su recogida, valorización y reutilización en nuevas aplicaciones.

### **Descripción general de la solución constructiva realizada**

Los trabajos comenzaron en agosto del 2021, desmontando y retirando, tanto del vallado de la parcela existente en el tramo considerado, como de las instalaciones existentes en superficie en ese punto (farolas, barrera de corte de tráfico, etc.). El vallado de la parcela se sustituyó durante el tiempo de duración de las obras por otro provisional, de manera que se garantizó la correcta delimitación, y el debido control de acceso a la zona objeto de intervención.

Seguidamente, se comenzó con la excavación y movimiento de tierras, habiendo procedido previamente al replanteo de la nueva geometría que definiría la nueva solución viaria; tomando como referencia para ello, la traza del cierre de parcela entonces existente en todo el desarrollo de la actuación, el espacio disponible entre este y la traza del vial rodado en cuestión, y el respeto de las dimensiones y características de este último y la previstas para la nueva acera objeto.

Así, se procedió primero a la demolición y levantado previo, tanto del bordillo y cuneta de hormigón de los tramos de borde del pavimento afectados, como de la totalidad de la sección del firme en toda la superficie del mismo objeto de modificación. Posteriormente se ejecutaron los trabajos de excavación y vaciado, hasta las cotas previstas, tanto de la superficie de terreno afectado en ambas isletas ajardinadas; como los referentes a el ensanchamiento de caja y cimentación de la acera prevista y el murete que la define contra el talud, donde se anclaría el nuevo cierre de parcela. Así como de la zanja de instalaciones bajo la misma por donde se

tenderían las nuevas conducciones en reposición de las actuales, correspondientes al abastecimiento de agua, incendios, energía eléctrica, y de telecomunicaciones.

Una vez ejecutado lo anterior, se procedió al vertido de una capa de hormigón de limpieza en el fondo de la zanja correspondiente a la cimentación del nuevo muro de hormigón armado de contención de tierras; así como al posterior encofrado, armado, y hormigonado, primero de su zapata, y posteriormente el alzado. Disponiendo además del correspondiente drenaje en su trasdós, a base de colocación al pie de tubo dren, y relleno de material a los efectos. Posteriormente, se procedió a la reposición, tendido, y conexión, de las nuevas instalaciones soterradas; incluida la ejecución de las correspondientes arquetas de paso, registro, y/o corte.

Las actuaciones continuaron con la regularización y preparación de toda la superficie correspondiente a la nueva acera, mediante el aporte extendido, y compactación de una capa de material tipo ZA-20. Todo ello a modo de asiento y soporte del pavimento bituminoso definitivo a colocar, a base de áridos reciclados procedentes de RCD, que se pusieron en obra, extendieron, y compactaron, en sus diferentes capas.

Paralelamente a lo anterior, se procedió así mismo a la mejora del firme y posterior pavimentación en sección completa de las zonas de ampliación del vial actual, previamente cajeadas, mediante el aporte y compactación con idénticos materiales; así como al fresado, y reposición, de la capa de rodadura de la zona de actuación.

Posteriormente, se procedió a la reposición y conexión de la barrera de tráfico y farola, desmontadas y acopiadas al comienzo de la obra.

Las actuaciones previstas se completaron con la colocación del nuevo cierre perimetral de parcela en sustitución del previamente levantado, a base de módulos de valla de pies derechos y entramado metálico plastificados tipo "Hércules"; así como a la ejecución, mediante idéntico material bituminoso en caliente (asfalto) al empleado en la pavimentación de la acera, y previo fresado de su superficie, del nuevo paso de cebra sobre elevado en calzada previsto, su acabado pintado conforme al diseño previsto, y el pintado del resto de la señalización vial.

A continuación, se describe mas en detalle el desarrollo de la mezcla bituminosa sostenible extendida en la acera y en el vial, sus componentes y propiedades. Finalmente, terminaremos con un reportaje fotográfico del proceso de ejecución y acabado de la obra realizada.

## **SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA MEZCLA BITUMINOSA SOSTENIBLE.**

Para comenzar con el diseño de cualquier mezcla bituminosa, en primer lugar, hay que definir el tipo de mezcla a formular en función de las características de la obra. Como ya se ha descrito anteriormente se trata de una mezcla bituminosa que va a ir extendida en una acera donde solo va a circular peatones y un vial para el tránsito de vehículos no pesados. Por todo ello se decidió diseñar un hormigón bituminoso de granulometría continua y con un tamaño máximo nominal de árido de 8 mm.

Para cumplir con el objetivo del proyecto, buscando una mezcla sostenible y circular, se han utilizado como recursos dos materiales valorizados procedentes de residuos de dos sectores diferentes, por un lado, finos de PET procedentes de botellas de plásticos reciclados por la empresa EKOREC y por otro lado árido siderúrgico en sustitución del árido grueso procedente de cantera.

A continuación, se describen los materiales utilizados y sus características técnicas.

### **Plásticos de botellas**

La empresa EKOREC envió al laboratorio de investigación de Grupo Campezo diferentes tipos de plásticos valorizados a partir de las botellas de plástico, en diferentes formatos, para

estudiar su viabilidad en la fabricación de mezclas bituminosas. De los materiales enviados, finalmente se seleccionaron dos, que fueron los siguientes:

- 1) Tapones de botellas procesados
- 2) Finos de PET

Aquí algunas características de los dos plásticos seleccionados:

Tapones - > densidad: 0,95 g/cm<sup>3</sup> / Temperatura de fusión: 130 °C

Finos de PET -> densidad: 1,40 g/cm<sup>3</sup> / Temperatura de fusión: 260 °C

A continuación, se presentan fotografías de los dos plásticos seleccionados:



Foto 4: Finos de PET (izq.) y tapones de botellas (dcha.)

## Áridos

Como áridos se utilizaron tres tipos, dos de ellos procedentes de cantera (árido fino calizo y ofítico) y el otro, un árido artificial procedente del sector de la siderurgia (árido grueso).

Se utilizó solo la fracción gruesa como árido siderúrgico, ya que las arenas siderúrgicas suelen carecer de finos y dificultan su ajuste en el huso granulométrico a cumplir.

En cuanto a las características técnicas de los distintos áridos utilizados fueron las siguientes:

### Arenas caliza y ofita

En la tabla siguiente podemos ver las diferentes características de la arena caliza y ofita utilizada.

Características	NORMA	Arena caliza 0/4 mm					Arena ofita 0/6 mm	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	UNE EN 1097-6	2.730					2.821	
Absorción al agua (%)	UNE EN 1097-6	0.6					0.9	
Equivalente de arena (%)	UNE EN 933-8	69					84	
Azul de metileno	UNE EN 933-9	0.3					0.7	
Tamaño de los tamices, mm		8	5.6	4	2	0.5	0.25	0.063
Arena caliza, % pasa		100	100	99	76	33	24	14.6
Arena ofita lavada, % pasa		100	98	86	54	18	10	2.4

Tabla 1: Características de las arenas naturales empleadas

En cuanto al árido artificial siderúrgico:

Características	Norma								Fracción 4/11
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	UNE EN 1097-6								3.819
Absorción al agua (%)	UNE EN 1097-6								1.9
Resistencia a la fragmentación, LA (%)	UNE EN 1097-2								11
Resistencia al desgaste, M <sub>DE</sub>	UNE EN 1097-1								6
PSV	UNE EN 1097								59
índice de lajas, %	UNE EN 933-3								2.4
Caras de fractura, %	UNE EN 933-5								100
<b>Tamaño de los tamices</b>	11.2	8	5.6	4	2	0.5	0.25	0.063	
<b>% pasa (4/11)</b>	99	70	28	11	6	5	4	1.9	

Tabla 2: Características del árido siderúrgico empleado

Otras propiedades específicas de los áridos siderúrgicos son:

Característica	NORMA	Valor	Especificación
Expansividad de las escorias a 168h, %	UNE EN 1744-1	0.2	<3.5
Contenido de cal libre, %	UNE EN 1744-1	0.26	<0.5
Sulfatos solubles en agua, %	UNE EN 1744-1	0.02	<0.7

Tabla 3: Otras características de los áridos siderúrgicos.

Como polvo mineral se utilizó filler de recuperación de origen calizo. Todos los áridos utilizados disponen de marcado CE.

A continuación, se muestra una fotografía del árido siderúrgico empleado en el diseño de la mezcla con una fracción granulométrica 4/11 mm.



Foto 5: Árido siderúrgico 4/11 mm

### Ligante bituminoso

El ligante bituminoso utilizado ha sido un betún de penetración 50/70, con su correspondiente marcado CE.

Característica	Unidad	Método Ensayo	Resultado
----------------	--------	---------------	-----------

Penetración a 25°C	0,1 mm	UNE EN 1426	63
Punto de Reblandecimiento	°C	UNE EN 1427	50,1
Índice de penetración	-	UNE EN 12591	-0,6

Tabla 4: Caracterización del betún de penetración 50/70.

### Diseño de la mezcla bituminosa sostenible en laboratorio

La mezcla bituminosa sostenible fue diseñada en el laboratorio de investigación de Grupo Campezo. Como ya se ha indicado anteriormente se estudió la viabilidad de reciclar dos tipos de plásticos de botellas, el procedente del cuerpo de la botella (finos de PET) y el procedente de los tapones de las botellas (Poleolefinas).

La dosificación de la mezcla se llevó a cabo en volumen por la diferencia de densidades entre los distintos áridos utilizados, pero los datos que se presentan se han convertido a masa.

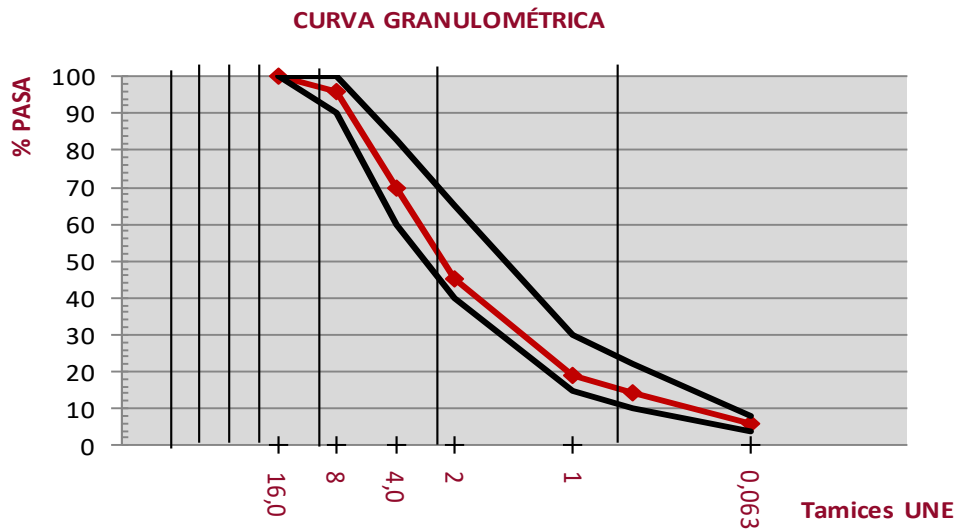
La dosificación en caliente utilizada para cumplir con la curva granulométrica es la siguiente:

FRACCIÓN ARIDO (en caliente)	NATURALEZA	% DOTACION
0/4	Caliza-ofita al 50%	66
4/8	siderúrgico	23
8/12	siderúrgico	9
Polvo mineral calizo	recuperación	2
TOTAL		100

La curva granulométrica resultante es la siguiente:



Tamiz UNE	16	8	4	2	0,5	0,25	0,063
% PASA	100	96	70	45	19	14	5,7
Huso	100	100	83	65	30	22	8
	100	90	60	40	15	10	4



El contenido de ligante, una vez corregido teniendo en cuenta la densidad de la mezcla de los áridos y su absorción ha sido de 4,8 % sobre el total de mezcla.

A partir de esta dosificación se prepararon mezclas con los dos plásticos en una proporción del 1% en peso y se estudiaron las mismas características en ambas mezclas.

A continuación, se presentan unas fotografías de la mezcla en el mezclador de laboratorio con el plástico de tapones de botellas, la misma mezcla se llevó a cabo con el plástico finos de PET.



*Foto 6: Mezcla plásticos de tapones de botellas con árido siderúrgico.*

A continuación, en la siguiente tabla se resumen las características de ambas mezclas y se comparan con la de referencia, que sería la misma mezcla, pero sin plásticos.

<b>AC8 SURF 50/70 D siderúrgico</b>				
CARACTERÍSTICA	Muestra de referencia	Muestra con PET	Muestra con PO	Especificación
% ligante s/m	4,8	4,8	4,8	>4.1*
% polímero s/m	0	1	1	-
Densidad máxima Mg/m <sup>3</sup>	2,785	2,738	2,720	-

Densidad aparente SSD, Mg/m <sup>3</sup>	2,643	2,581	2,580	-
Huecos mezcla, %	5,1	5,7	5,1	3-6
Resistencia en seco, kPa	2058	1909	2403	-
Resistencia en húmedo, kPa	1688	1543	1764	-
ITSR %	82	81	73	>80
WTS aire, mm	0,05	0,04	0,04	-

\*Betún mínimo corregido según la densidad de la mezcla de los áridos.

Como se puede observar de los resultados obtenidos, la mezcla con plásticos finos de PET cumple con todos los requisitos exigidos, por ello fue la mezcla seleccionada para llevar a cabo la obra.

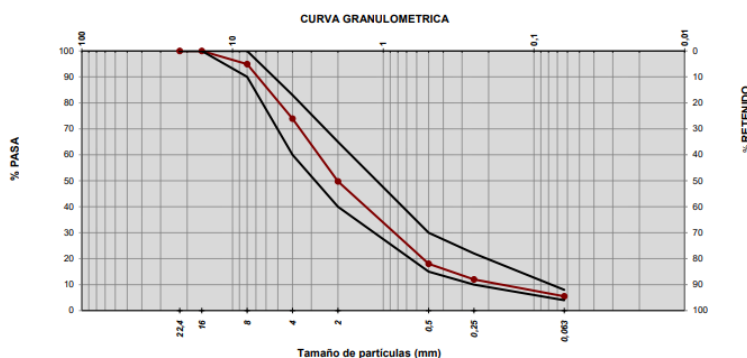
## FABRICACIÓN DE LA MEZCLA BITUMINOSA SOSTENIBLE

La fabricación de la mezcla bituminosa sostenible diseñada en el laboratorio fue llevada a cabo en una planta asfáltica INTRAME de 200 t/h ubicada en Andoain. La fabricación fue como cualquier mezcla convencional, con la salvedad de que el plástico de botellas (finos de PET) se adicionaron por vía seca como si se tratara de un árido más y se incrementó el tiempo de mezclado para asegurar una mayor homogeneidad, mezclado del plástico en la mezcla y envuelta.

La incorporación del plástico se llevo a cabo en el propio mezclador por vía seca.

Como en cualquier fabricación se tomaron muestras en planta para su control de calidad y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

CARACTERÍSTICA	Formula de trabajo	Muestra fabricada en obra 18/08/21	Especificación
%, ligante s/m	4,8	4,9	>4,1
% polímero s/m	1	1	-
Densidad máxima, Mg/m <sup>3</sup>	2,738	2,730	-
Densidad aparente SSD, Mg/m <sup>3</sup>	2,581	2,595	-
% Huecos mezcla	5,7	4,9	3-6
Resistencia en seco, kPa	1909	2488	-
ITSR %	81	84	>80
WTS aire, mm	0,04	0,045	-



Como se puede observar, los resultados obtenidos durante la fabricación y comparados con los obtenidos en la fórmula de trabajo son satisfactorios, cumpliendo las especificaciones requeridas.

Ademas, durante el control de fabricación se realizó el ensayo fénix a tres temperaturas 5, 20 y -5 °C y se comparó con una mezcla tipo similar sin plásticos.

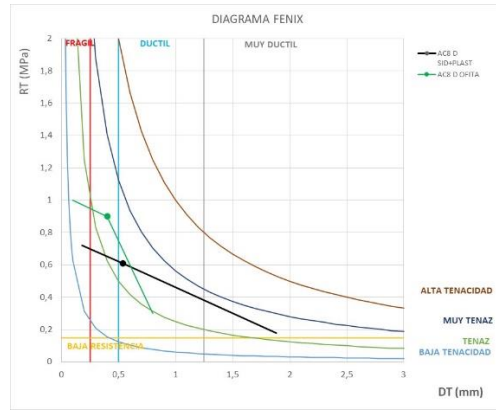


Foto 7: Ensayo fénix, mezcla AC8D sin plásticos (línea verde), mezcla AC8D con plásticos (línea negra).

Como se puede observar en el gráfico fénix, hay un claro cambio en el comportamiento de la mezcla bituminosa AC8D siderúrgico con plásticos presentando un comportamiento más tenaz y dúctil que su homóloga sin plásticos.

### PUESTA EN OBRA

A continuación, se presentan una serie de fotografías donde se puede ver las distintas fases de ejecución de la acera y el vial con la mezcla bituminosa sostenible, desde el riego, extendido y compactación.



Foto 8: Extendido y compactación de la mezcla sostenible en la nueva acera y en el vial de acceso al colegio.

A continuación, se presentan fotos de la unidad terminada con la señalización horizontal y las papeleras y bancos realizados con tapones de botellas durante el acto de inauguración que se llevó a cabo con el Diputado de Medio Ambiente de la DFG. En el borde exterior de la nueva acera, así como en el paso de cebra se han pintado los colores que identifican a los 17 objetivos de desarrollo sostenible.



*Foto 9: Fotos de la nueva acera y del vial terminado así como de las papeleras y bancos realizados reciclando tapones de botellas durante el acto de inauguración.*

## CONCLUSIONES

Como conclusiones se pueden citar las siguientes:

- 1.- Se ha conseguido desarrollar una mezcla bituminosa sostenible en cuya composición se recicla dos materias primas secundarias, árido siderúrgico y plásticos de botellas.
- 2.- La fabricación, así como la puesta en obra ha sido satisfactoria y el comportamiento del material en servicio hasta el momento está siendo el esperado.
- 3.- Con esta iniciativa se ha conseguido reciclar aproximadamente 50.000 botellas de plástico, que han sido recogidas por el alumnado y personal trabajador del centro escolar.

Con este proyecto se ha hecho realidad una vez más, una apuesta por la sostenibilidad y la economía circular. Las empresas envueltas en este trabajo han contribuido con los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS), siendo más eficientes con el uso de los recursos y creando alianzas entre empresas para innovar en productos circulares más respetuosos con el medio ambiente, cuidando nuestro planeta.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer en primer lugar a la Diputación Foral de Gipuzkoa por la financiación de este proyecto. Así mismo, a todas las personas involucradas en el desarrollo de este trabajo desde el alumnado, profesorado, trabajadores, investigadores, etc. por su dedicación y colaboración.

Gracias a las alianzas entre las distintas entidades participantes (Axular Lizeoa, Ekorec, Grupo Campeo/Asfaltia) ha sido posible hacerlo una realidad.

## **REFERENCIAS**

- 1.- Reutilización de residuos plásticos agrícolas en la fabricación de mezclas bituminosas para uso en carreteras siguiendo la tecnología por vía seca. Proyecto Plastic-road. P. Partal, J.E. Martín, ME Hidalgo, J. Torres, MJ Sierra, ML García, H Pedraza. XI Jornada Nacional de Asefma (2016).
- 2.-Reciclar plástico para construir carreteras, una nueva salida a los residuos. Innovation (2019)
- 3.- Uso de plástico en asfalto: mas resistencia y menos costo. "Asfalto verde" J. Alvarado (2018)