

Bienvenid@s

WEBINAR





#WebinarsAEMAC



ALICIA AGUADO
CARTIF

*Reutilización de materiales compuestos
procedentes del sector eólico en pavimentos asfálticos*

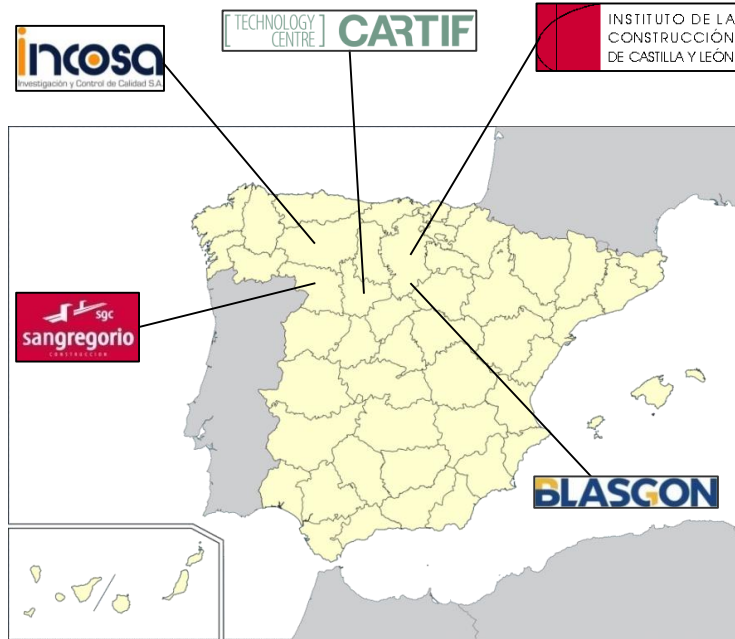
27 de Mayo de 2021, 16 horas. (Madrid, GMT +2)

REUTILIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PROCEDENTES DEL SECTOR EÓLICO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS



CONSORCIO

5



CONSORCIO

» 5 empresas Castilla y León

FECHAS

» 01/10/2017 – 31/12/2020

PRESUPUESTO

» 1.789.539 €

» Contribución UE: 60%

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

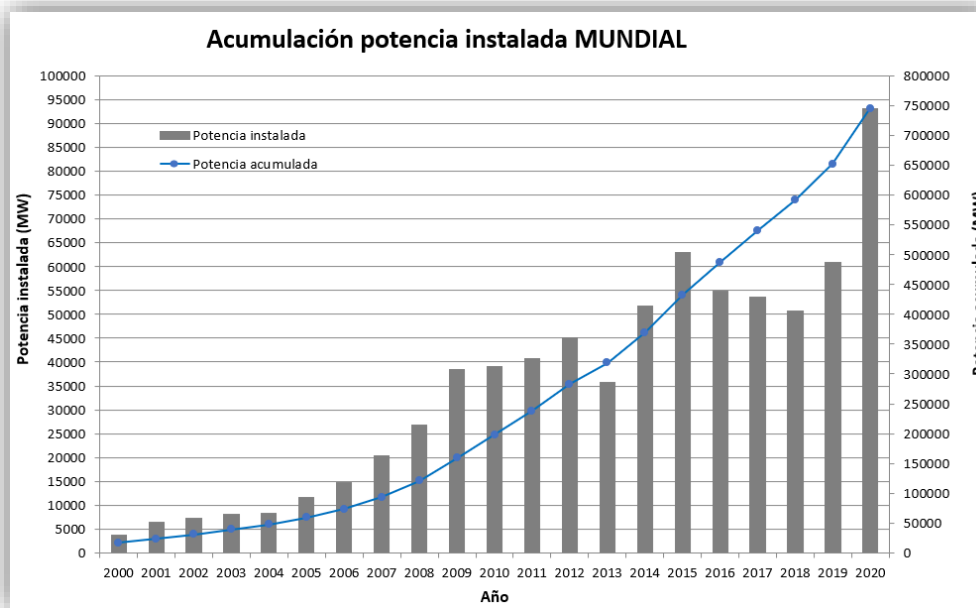
1. PALAS AEROGENERADOR

7



1. ¿CÓMO SURGE EL PROYECTO?

8

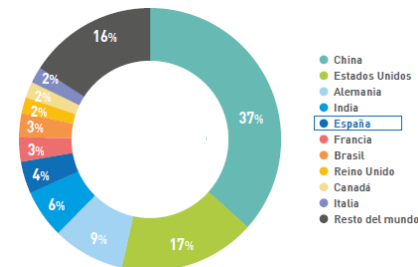


Fuente: Global Wind Energy Council (GWEC)

MUNDIAL (2020)

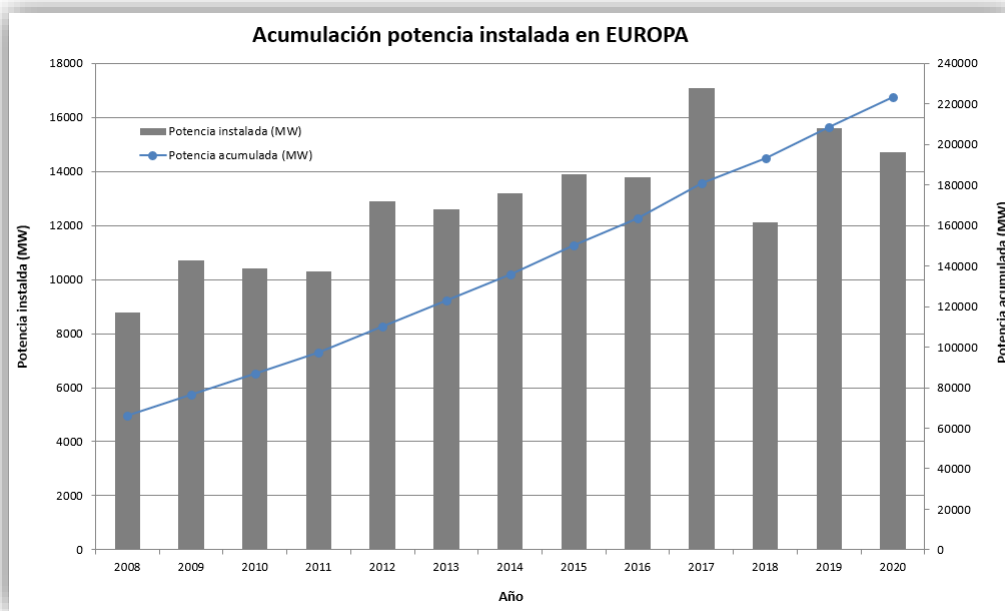
743 GW potencia eólica total acumulada →

6,7 millones toneladas de palas instaladas



1. ¿CÓMO SURGE EL PROYECTO?

9

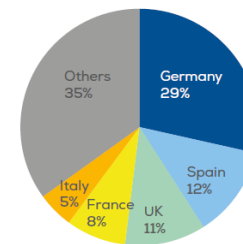


Fuente: WindEurope

EUROPA (2020)

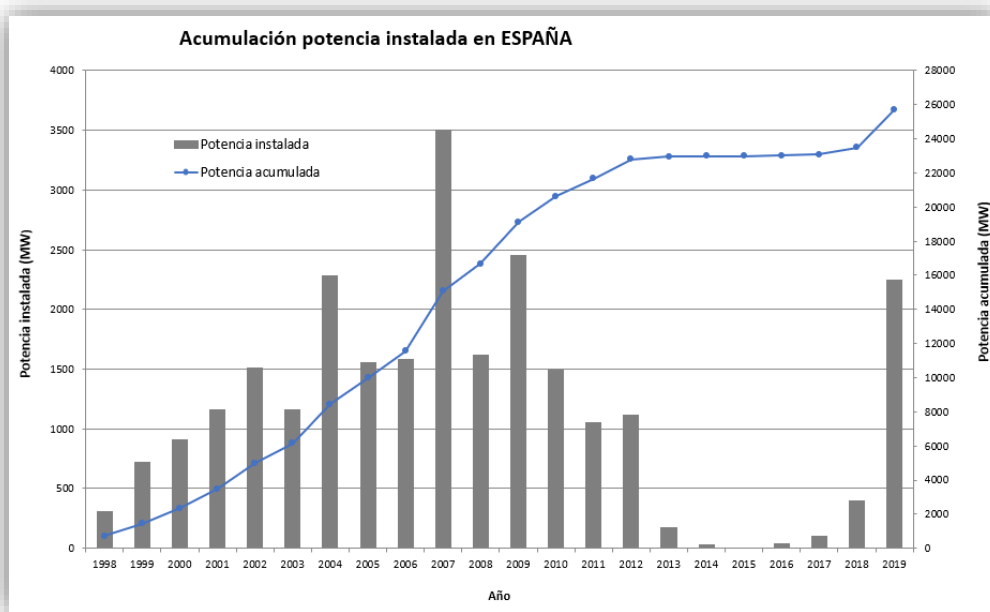
220 GW potencia eólica total acumulada →

2 millones toneladas de palas instaladas



1. ¿CÓMO SURGE EL PROYECTO?

10



Fuente: Asociación Empresarial Eólica (AEE)

ESPAÑA (2019)

25,7 GW potencia eólica
total acumulada →

231.300 toneladas de
palas instaladas

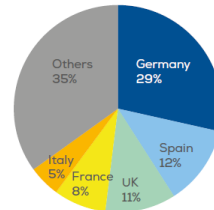
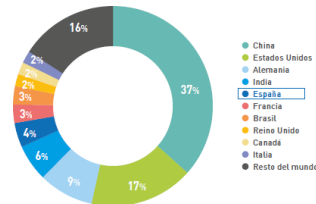


1. ¿CÓMO SURGE EL PROYECTO?

11

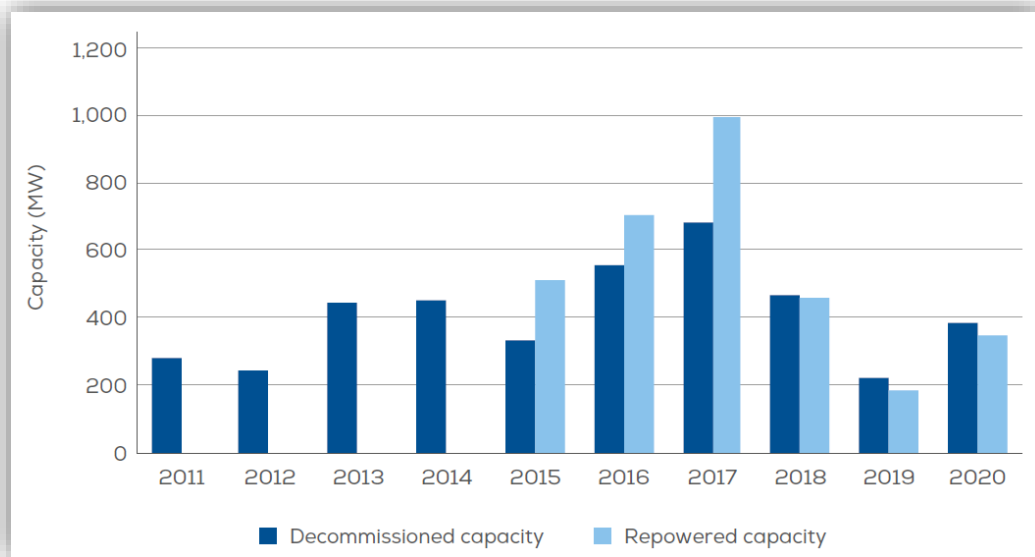
- Los países con más potencia acumulada mundial son China, EEUU, Alemania, India y España.
- En Europa son Alemania, España, Reino Unido, Francia e Italia → tienen instalada el 68% de toda la potencia eólica europea.

España es el segundo país europeo y quinto a nivel mundial con más aerogeneradores implantados.



1. ¿CÓMO SURGE EL PROYECTO?

12



Fuente: Wind Europe

DECOMISIÓN en Europa
en 2020:

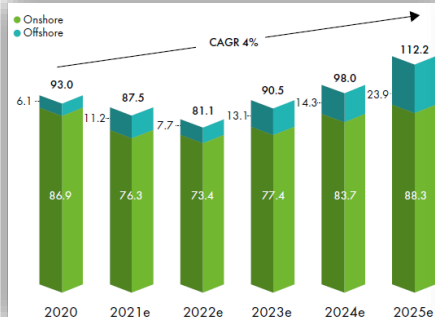
388 MW fueron
decomisionados

3500 toneladas de palas

1. MIRANDO HACIA EL FUTURO

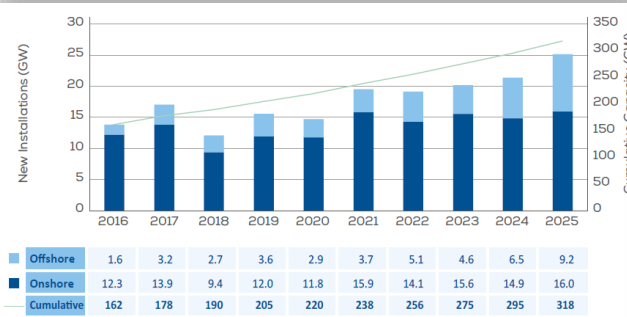
13

Instalación a nivel mundial



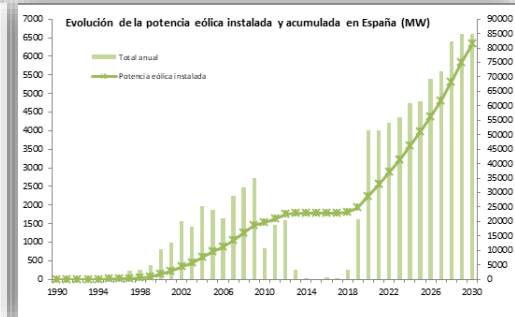
Fuente: Global Wind Energy Council (GWEC)

Instalación en Europa



Fuente: WindEurope

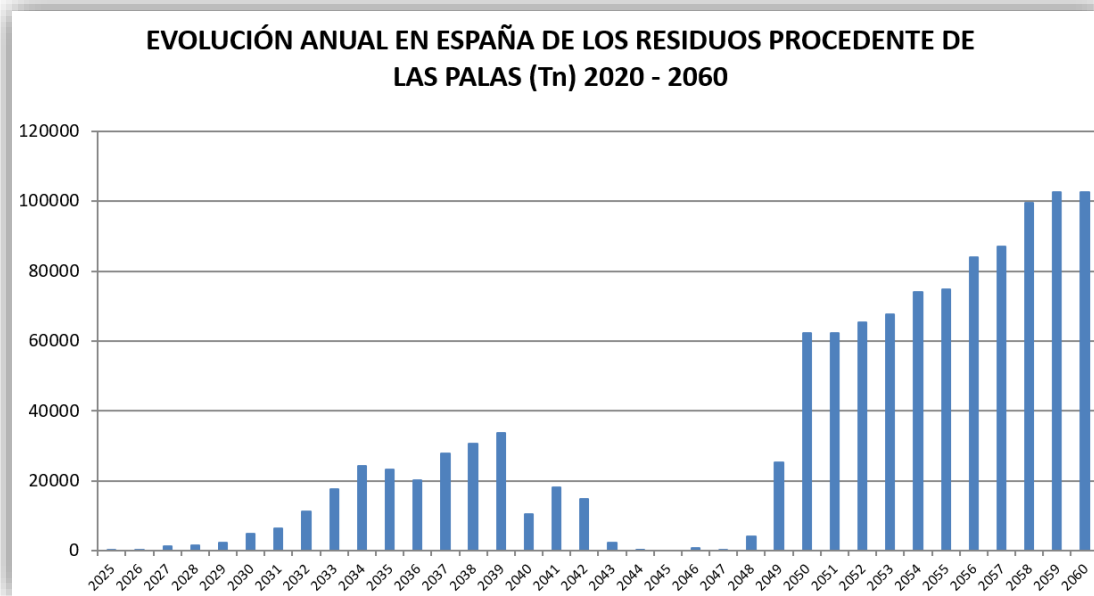
Instalación en España



Fuente: Altertec Renovables

1. MIRANDO HACIA EL FUTURO

14



Fuente: Altertec renovables

1. ¿CÓMO SURGE EL PROYECTO?

15

- Queda demostrado el problema actual existente → LIFE REFIBRE surge para dar solución al problema ambiental que supone la acumulación de una enorme cantidad de residuos de palas de aerogeneradores en vertedero, las cuales no son biodegradables y ocupan un gran volumen debido a su tamaño.



2. LIFE REFIBRE

OBJETIVO
ACCIONES

2. OBJETIVO

17

- ❑ El objetivo del proyecto **LIFE REFIBRE** es promover la gestión sostenible de las **palas de aerogenerador** una vez finalizada su vida útil con el fin de valorizar la **fibra de vidrio reforzada** que conforman la estructura y así iniciar un **segundo ciclo de vida de alto valor añadido** incorporándola, como materia prima, en las mezclas de **aglomerado asfáltico**.
- ❑ **Cerrar el ciclo de vida de las palas de aerogenerador**, dándoles un valor añadido usando la fibra de vidrio recuperada de su interior para introducirla en mezclas asfálticas.

2. ACCIONES

18



3. ACOPIO, PRETRATAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN PALAS

3. ACOPIO PALAS FUERA DE USO

20

- ❖ Se han gestionado 12 palas de aerogenerador → 40 toneladas de residuo tratado.
 - EDP
 - General Electrics
 - SIEMENS-GAMESA
- ❖ Pretratamiento in situ de las palas de aerogenerador con la finalidad de optimizar el transporte a la planta de reciclado mecánico.



3. ACOPIO PALAS FUERA DE USO

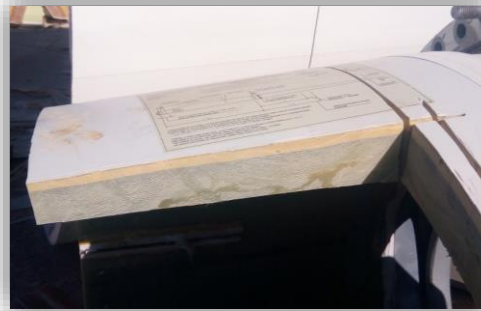
21



3. CARACTERIZACIÓN PALAS AEROGENERADOR

22

67% PRFV
32% madera de balsa
1% otros compuestos

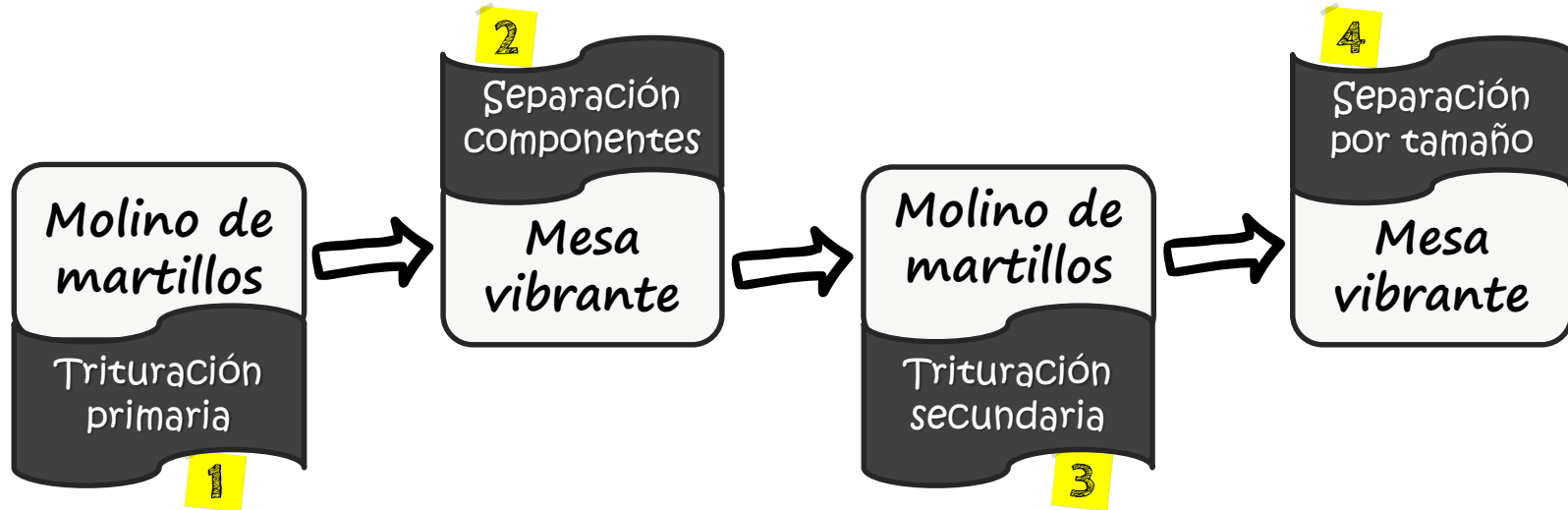


4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA RECICLADO DE PALAS

MOLINO DE MARTILLOS MESA VIBRANTE

4. PROTOTIPO RECICLADO DE PALAS AEROGENERADOR

24



4. MOLINO DE MARTILLOS

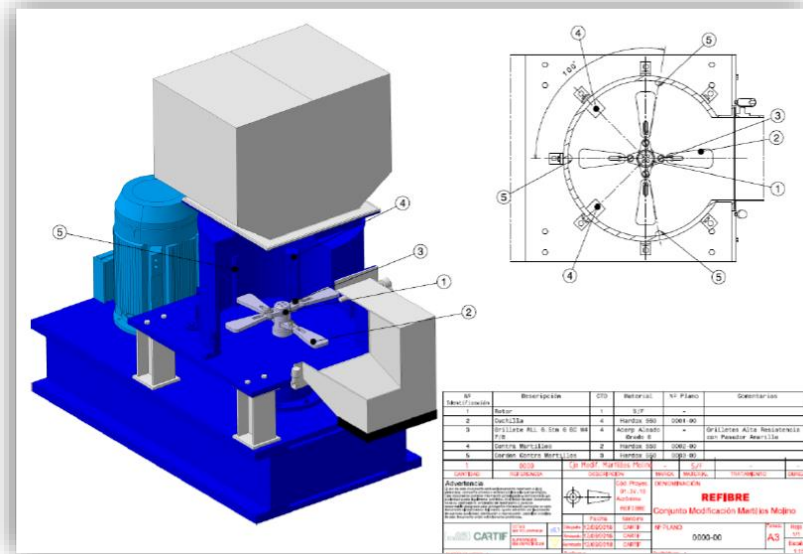
25

❖ Sistema de triturado

Diseño *Molino de martillos* de eje vertical que permite:

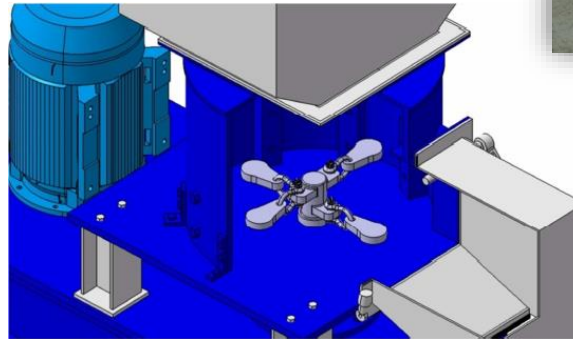
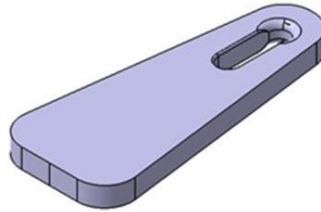
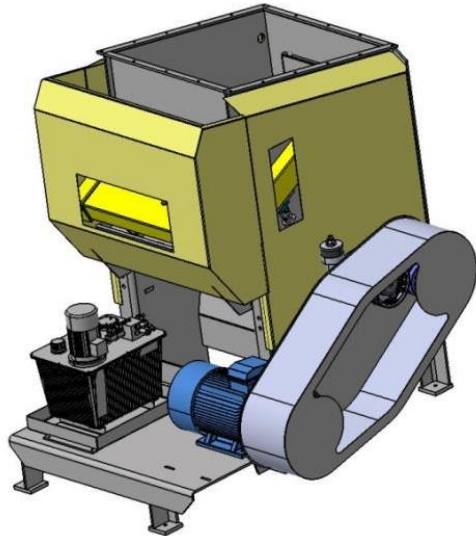
1º Etapa: rotura de la estructura de la pala.

2º Etapa: reducción del tamaño de la fibra.



4. DISEÑO MOLINO DE MARTILLOS

26



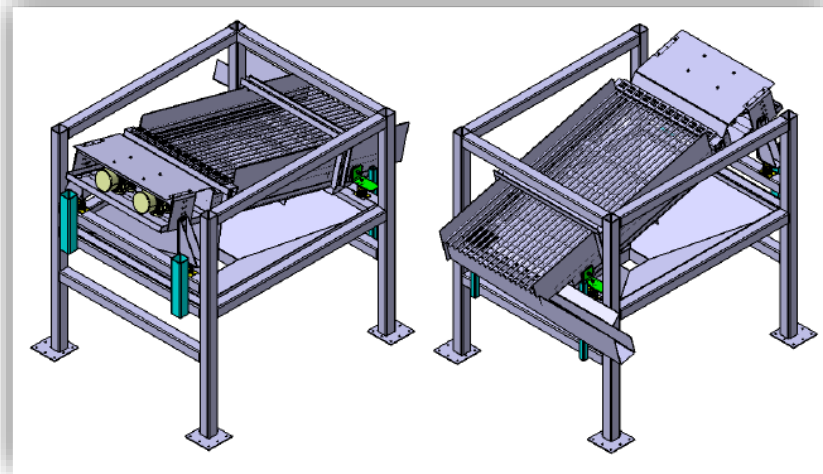
4. DISEÑO MESA VIBRANTE

27

❖ Sistema de clasificación/separación

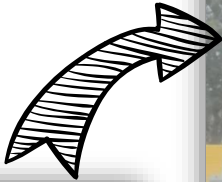
Diseño *Mesa vibrante* compuesta por:

- **Sistema de barras** que permite la separación de los distintos componentes.
- **Sistema tamices** que clasifica el tamaño de la fibra de vidrio obtenida.



4.1. TRITURACIÓN PRIMARIA: MOLINO DE MARTILLOS

28



Pala troceada entrando al molino de martillos



Madera de balsa y fibra de vidrio

4.2. SEPARACIÓN DE COMPONENTES: MESA VIBRANTE (BARRAS)

29

2

Madera de balsa
y fibra de vidrio
procedente del
molino

Madera de balsa



Fibra de vidrio



4.3. TRITURACIÓN SECUNDARIA: MOLINO DE MARTILLOS

30

3



Fibra de vidrio
procedente de la
mesa vibrante



Fibra de vidrio a
tamaño reducido



4.4. SEPARACIÓN POR TAMAÑO: MESA VIBRANTE (TAMICES) ³¹



Fibra de vidrio
procedente del molino



Fibra de vidrio
con tamaño
óptimo < 2cm



4

4. PROTOTIPO RECICLADO DE PALAS AEROGENERADOR

32



5. CARACTERIZACIÓN FIBRA DE VIDRIO RECUPERADA

SEM
TGA

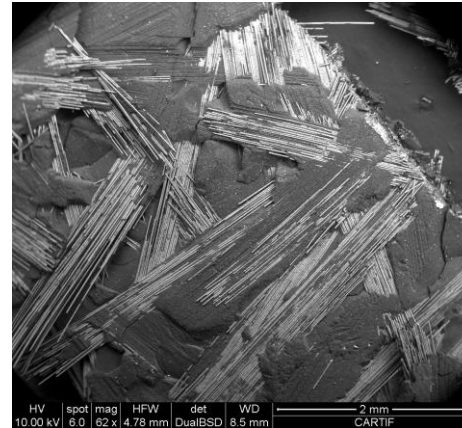
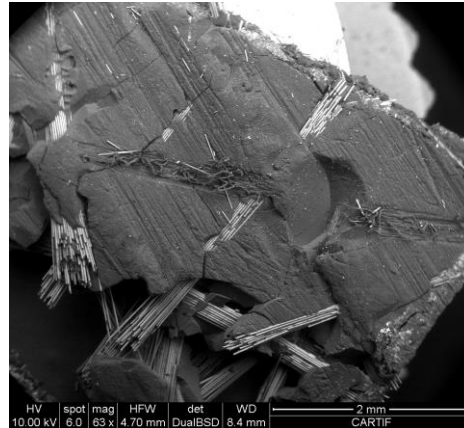
5. SEM, Microscopía electrónica de barrido

34



5. SEM, Microscopía electrónica de barrido

35

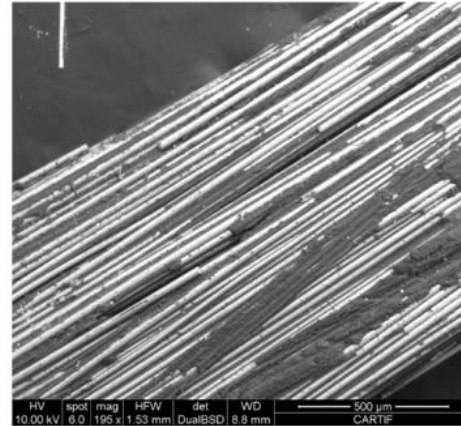
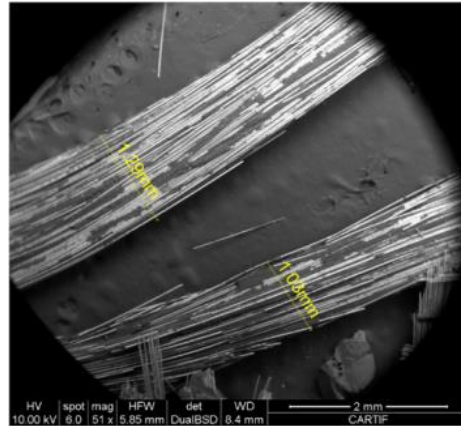


PRFV antes reciclado



5. SEM, Microscopía electrónica de barrido

36

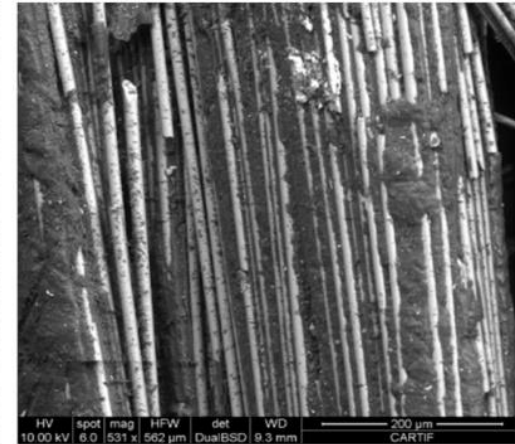
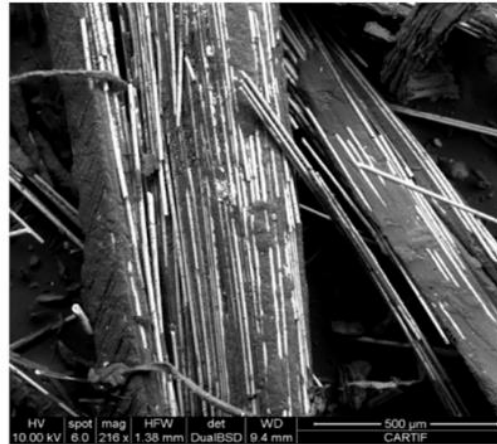
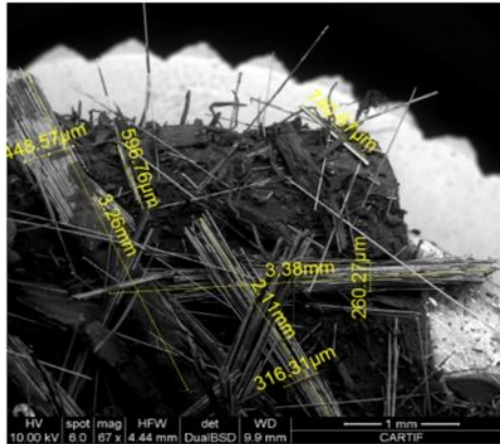


Fibra larga > 3 cm



5. SEM, Microscopía electrónica de barrido

37

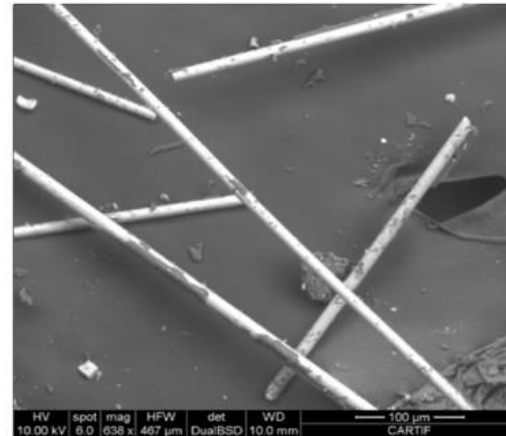
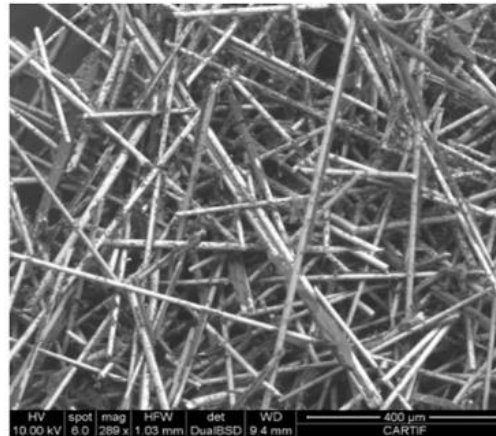
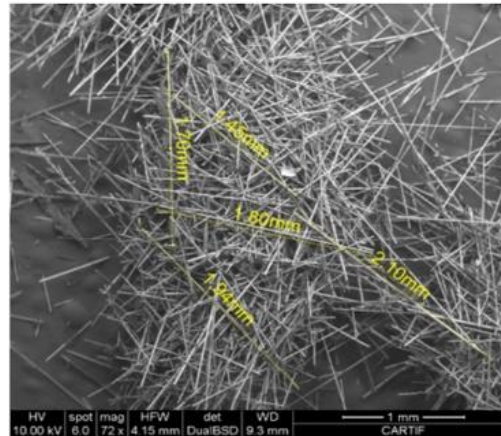


Fibra < 2 cm



5. SEM, Microscopía electrónica de barrido

38

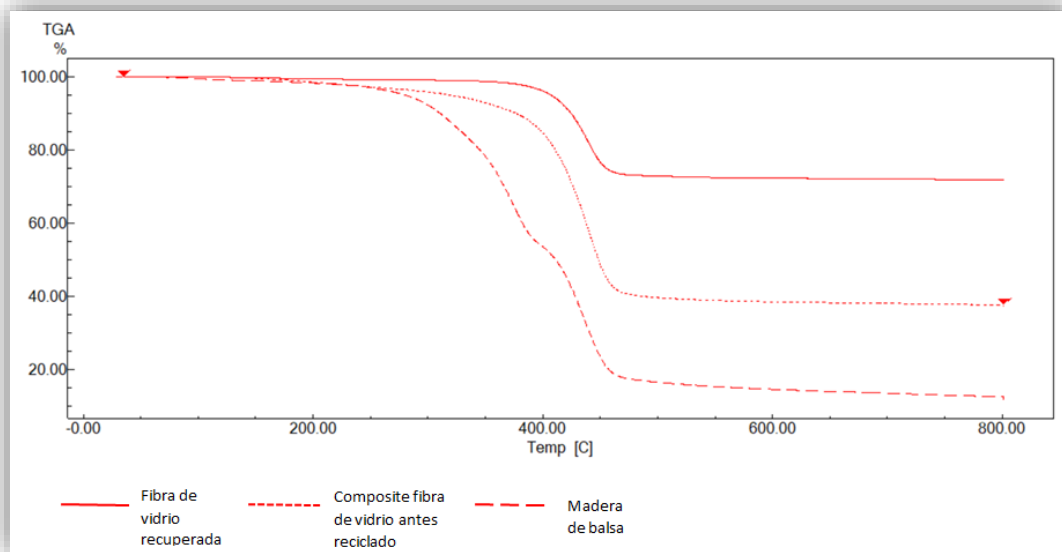


Polvo de fibra de vidrio



5. TGA, Análisis termogravimétrico

39



Muestra	%resina	%fibra de vidrio
Composite	68,49%	31,51%
Fibra recuperada	28,15%	71,85%

6. CONSTRUCCIÓN TRAMO DEMOSTRADOR DE CARRETERA CON FIBRA DE VIDRIO

40

**ESTUDIO DOSIFICACIONES FIBRA VIDRIO
INTRODUCCIÓN FIBRA VIDRIO EN ASFALTO
MONITORIZACIÓN TRAMO DEMOSTRADOR**

6. ESTUDIO FÓRMULAS DE TRABAJO

41

Se han analizado los parámetros y características de los principales componentes de las mezclas bituminosas por separado.

Áridos	Norma
Granulometría de las partículas	UNE-EN-933-1
Densidad partículas y absorción del agua	UNE-EN- 1097-6
Evaluación de los finos (ensayo equivalente de arena)	UNE-EN-933-8
Evaluación de los finos (ensayo de azul de metileno)	UNE-EN-933-9

Ligantes hidrocarbonatos	Norma
Penetración de los materiales bituminosos	NLT-124
Punto de reblandecimiento anillo y bola de los materiales bituminoso	NLT-125

Fibras de vidrio
Granulometría
SEM
TGA

6. ESTUDIO FÓRMULAS DE TRABAJO

42

Se han estudiando diversas fórmulas de trabajo con diferentes porcentajes de cada componente, realizando diversos ensayos a todas las formulaciones obtenidas.

*Tamaño fibra de vidrio →
< 20 mm*

*Porcentaje dosificación
fibra de vidrio → < 1%*

Ensayos probetas	Norma
Ensayo Marshall:	NLT-159
Estabilidad	
Deformación	
Densidad (mezcla)	
% Huecos (mezcla)	
% Huecos (árido)	
Sensibilidad al agua	UNE-EN-12697-12
Resistencia a tracción indirecta	
Contenido en ligante	UNE-EN-12697-39

Normativa Española aplicable: Artículos 542 y 543 del Pliego de prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes, PG-3.
Especificaciones técnicas Junta Castilla y León.

6. ESTUDIO FÓRMULAS DE TRABAJO

43



6. INTRODUCCIÓN FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 44

Las fibras de vidrio recuperadas se añaden a la mezcla en el proceso de fabricación de aglomerado asfáltico, cuando los áridos ya se han clasificado y dosificado y antes de mezclarlos con el betún, de acuerdo con la fórmula de trabajo optimizada.



6. INTRODUCCIÓN FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 45



6. INTRODUCCIÓN FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 46

- ❑ Construcción tramo demostrador de carretera de 1500 metros de largo y 8 metros de ancho para probar el resultado final del proyecto (12.000 m²)→ en la provincia de Zamora entre los p.k. 0+440 al 1+940 de la carretera ZA-705, que une la A11 con la entrada a la localidad de Toro.
- ❑ 5 secciones diferentes de 300 metros de longitud cada una: con 0%, 0,5%, 0,75%, 0,85% y 1% de fibra de vidrio.



6. INTRODUCCIÓN FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 47



6. INTRODUCCIÓN FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 48



6. MONITORIZACIÓN TRAMO DEMOSTRADOR CARRETERA

49

Ensayo	Norma	Frecuencia
Inspección visual	---	2 veces al mes
Densidad y espesor	UNE-EN-12697-6	Anual
Ensayos Marshall	NLT-15-168	Anual
Método del círculo de arena	UNE 13036-1	Trimestral
Permeabilidad “in situ”	NLT-327	Trimestral
Inmersión-compresión	NLT-162	Anual
Ensayo de rodadura	UNE-EN-12697-22	Anual
Resistencia a la fatiga	Metodología BCN	Anual
Índice de rigidez	Ensayo Fénix	Anual
Módulo de resiliencia	Metodología BCN	Anual
Mediciones sonoras	UNE-EN-ISO-11819-2:2017	Anual

Este tramo demostrador de carretera ha estado monitorizado durante su primer año de vida para ver el comportamiento y mejora de las propiedades mecánicas de la carretera mediante la realización de multitud de ensayos bajo normativa.

6. MONITORIZACIÓN TRAMO DEMOSTRADOR CARRETERA

50



6. RESULTADOS - MONITORIZACIÓN TRAMO DEMOSTRADOR 51

- ✓ Aumento de la resistencia a la deformación de un 23,5%.
- ✓ Aumento de la resiliencia en un 5,5%.
- ✓ Aumento de la resistencia a la fatiga de un 12,2%.
- ✓ Incremento de la rigidez en un 16,6%.
- ✓ Mayor resistencia de la carretera a temperaturas extremas, lo que supone menor aparición de grietas.
- ✓ Mejoras de las cualidades acústicas de la carretera (entre 0,5-2dB).
- ✓ Aumento de la durabilidad de las carreteras.

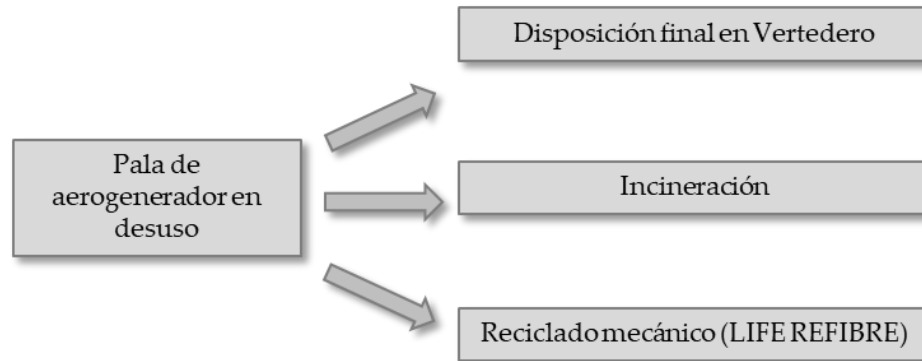
7. IMPACTO AMBIENTAL

Metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) UNE-ISO 14040/44

7. IMPACTO AMBIENTAL

53

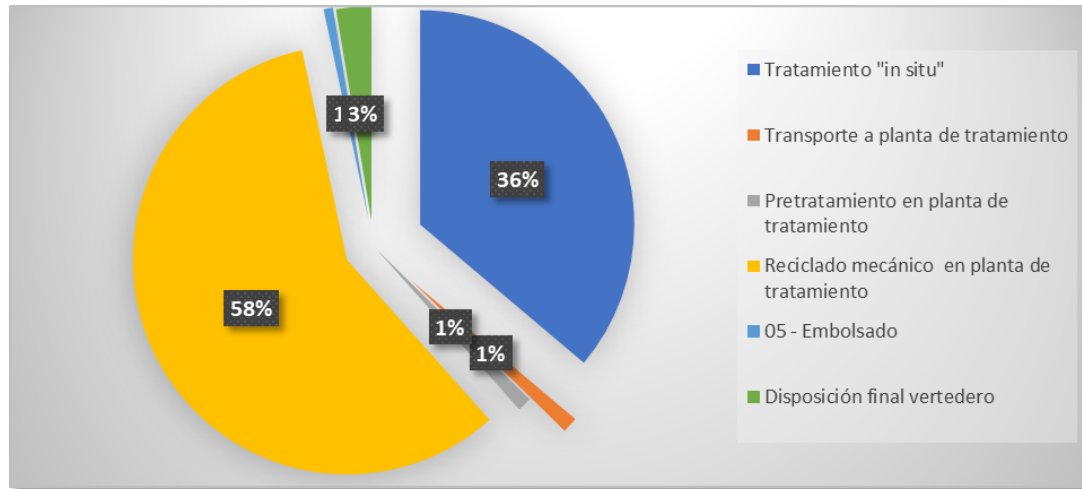
1. Gestión de las palas de aerogenerador en desuso



7. IMPACTO AMBIENTAL

54

Evaluación medioambiental del proceso de **reciclado mecánico** en cuanto a términos de emisiones de gases efecto invernadero.



REN prototipo: 59%

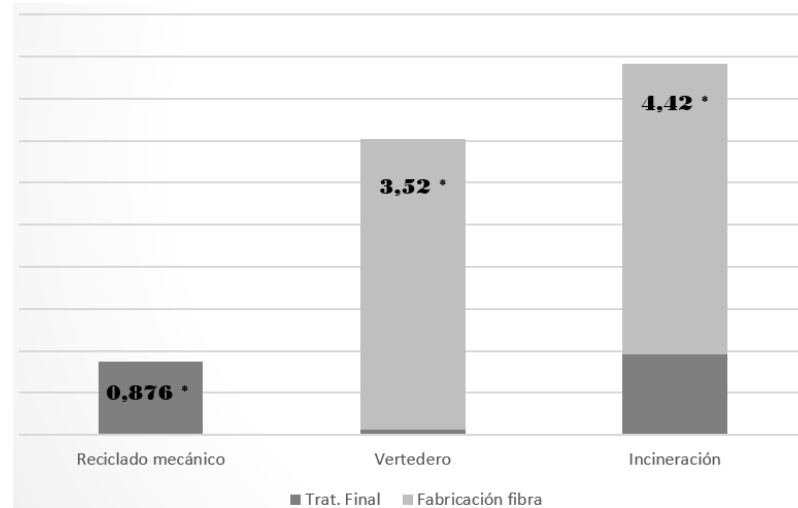
Contenido en Fibra de vidrio: 67%

7. IMPACTO AMBIENTAL

55

Comparación ambiental del proceso reciclado mecánico LIFE REFIBRE con los escenarios bases.

La obtención de la fibra de vidrio reciclada evita más de un 75% de las emisiones de gases efecto invernadero en comparación con los escenarios base considerados

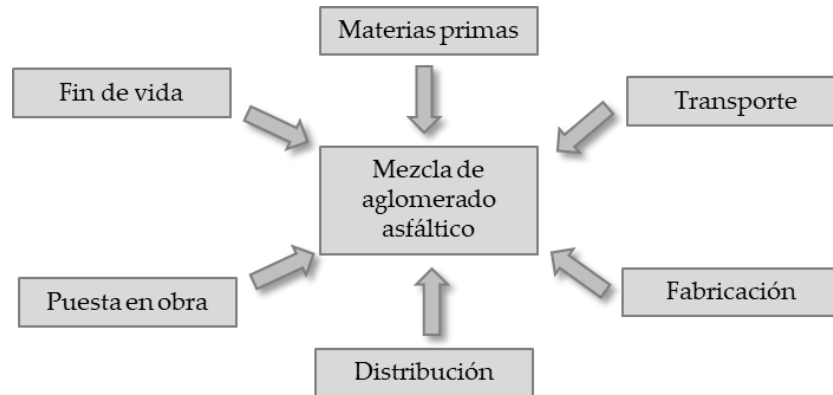


* kg CO₂ eq/kg pala tratada

7. IMPACTO AMBIENTAL

56

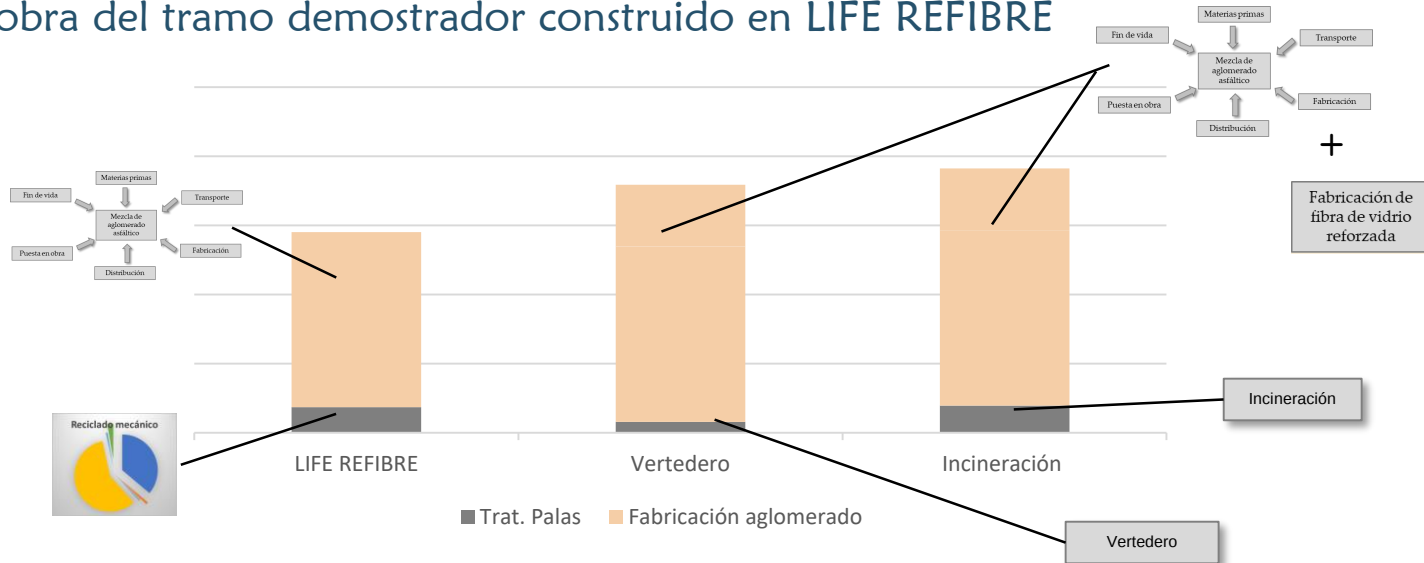
2. Fabricación de las mezclas de aglomerado asfáltico



7. IMPACTO AMBIENTAL

57

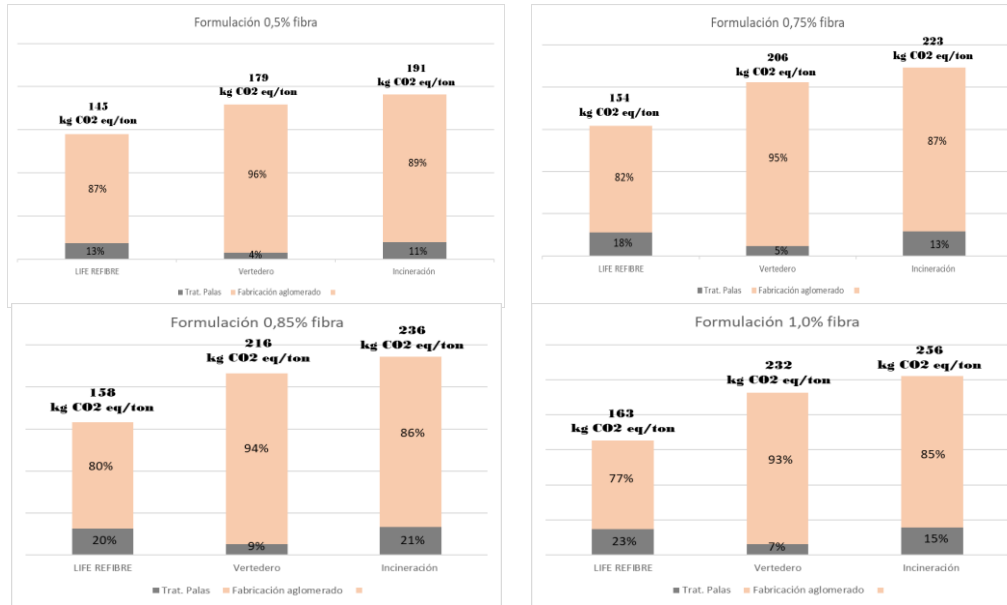
Evaluación ambiental conjunta de todos los procesos de fabricación y puesta en obra del tramo demostrador construido en LIFE REFIBRE



7. IMPACTO AMBIENTAL

58

Comparación de las mezclas asfálticas con diferentes % fibra de vidrio.



7. IMPACTO AMBIENTAL

59

Resultados: La construcción del tramo demostrador ha evitado:

131 toneladas de CO₂ eq. si se compara con el escenario tradicional de la incineración (Reducción del 31%)

97 toneladas de CO₂ eq. si este escenario se compara con la disposición en vertedero (Reducción del 25%)



8. CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

61

- ✓ Creación de un modelo logístico y de acopio de residuos.
- ✓ Acopio de **12 palas** → **40 toneladas** palas evitadas de ser enviadas a vertedero.
- ✓ Caracterización de las palas antes de su reciclado.
- ✓ Diseño y construcción de un prototipo para el reciclado de las palas:
 - Capacidad 100 kg/h.
 - Rendimiento 59%.
 - Caracterización fibras de vidrio recuperadas → **válidas** para su uso en mezclas asfálticas.

8. CONCLUSIONES

62

- ✓ Estudio de diferentes **dosificaciones de fibra de vidrio** en la formulación **asfáltica** para que cumplan con los requisitos técnicos mínimos necesarios según el reglamento asfáltico.
- ✓ Introducción de **14,3 toneladas de fibras de vidrio** en un tramo demostrador de carretera de **1500 metros** (12.000 m² de superficie), con 5 tramos de estudio diferentes con **porcentajes de fibra de 0%, 0,5%, 0,75%, 0,85% y 1%**.
- ✓ Se consigue evitar la emisión de **97 toneladas de CO_{2,equivalente}**, al reciclar esas palas y no enviarlas a vertedero.
- ✓ Se consigue evitar la emisión de **131 toneladas de CO_{2,equivalente}**, al no incinerar esas palas.

8. CONCLUSIONES

63

- ✓ Con la introducción de esta fibra de vidrio en la carretera, además de conseguir valorizar un residuo que actualmente va a vertedero, y recuperar la fibra de vidrio de su interior para darla un segundo uso de gran valor añadido, se consigue **mejorar las propiedades mecánicas de la carretera**, como por ejemplo:
 - Incremento de la vida útil del pavimento,
 - Incremento de la resistencia a la deformación,
 - Menor aparición de grietas, etc.

8. CONCLUSIONES

64

- ✓ Estudio futura viabilidad industrial del proceso → **positiva**.
- ✓ Alta replicabilidad del proyecto que evitará el envío de grandes cantidades de palas a vertedero, consiguiendo recuperar la fibra de vidrio de su interior, aportando a las mismas un segundo ciclo de vida.
- ✓ Resultados fácilmente extrapolables al resto de España y otros países europeos, debido a la extensa red de carreteras existente en toda Europa, así como al elevado número de parque eólicos existentes.
- ✓ Cerrar el ciclo de vida de estos residuos, consiguiendo una economía circular recuperando la fibra de vidrio de las palas, la cual es válida para su introducción y mejora de carreteras.

MUCHAS GRACIAS



www.liferefibre.eu



aliagu@cartif.es



@liferefibre



LIFE REFIBRE

