

# Proyecto de Investigación

## Análisis de la Reutilización de Residuos Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

### Participantes

Consejería de Obras Públicas

Sacyr

E.T.S.I.C.C.P. UGR (Labic)

Antonio Belmonte Sánchez

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director Territorial de Sacyr, Zona Sur y Levante

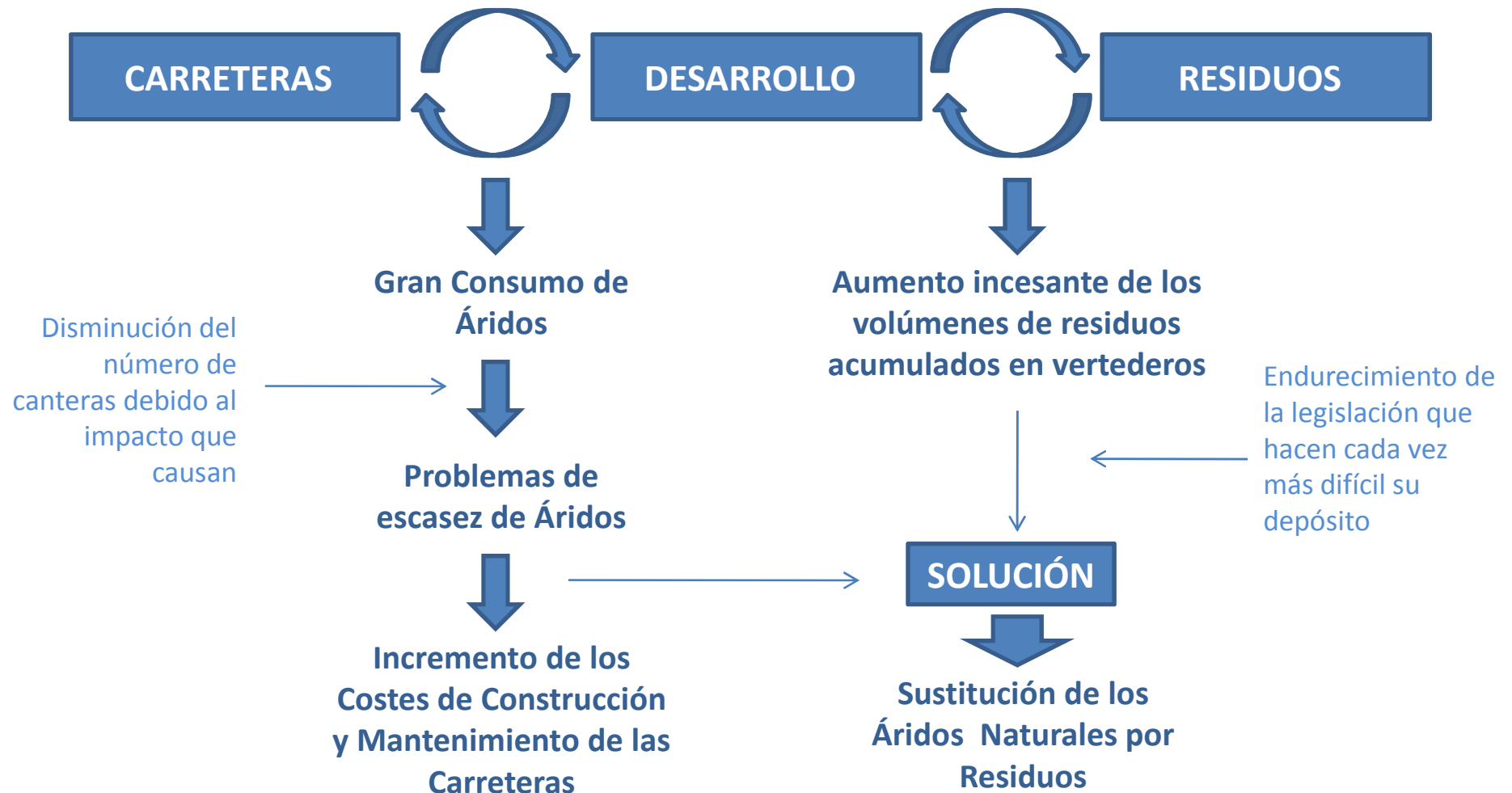
## CONTENIDOS

1. Introducción
2. Objetivos del Proyecto
3. Metodología
4. Resultados Obtenidos
5. Conclusiones



## INTRODUCCIÓN

### Reutilización de Residuos en Carreteras



## **INTRODUCCIÓN**

**Reutilización de Residuos en Carreteras**

**Incorporación de Residuos a Mezclas Bituminosas**

**Numerosas Actuaciones a nivel de Laboratorio**



**Polvo de Neumático Fuera de Uso y  
Reciclado de Firmes**

**Escorias de Acero, RCD,  
Plásticos, Vidrios y Cenizas  
Volantes**

**Residuos de Mármol,  
Subproductos  
Mineros, Cuero,  
Lodos de  
Depuradora...**

## INTRODUCCIÓN

Material Silestone®

Descripción de los Residuos Silestone®

La Fabricación de  
Silestone® Genera dos  
Tipos de Residuos

Tejos de Silestone®



Procedentes de los recortes de las tablas producidas, espesor máximo de 3 cm, compuesto por sílice, cuarzo, granito, espejo, cristal, resina...



Lodos de Silestone®



Procedentes del lavado del material, polvo muy fino compuesto básicamente por cuarzo



## Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

### OBJETIVOS

-Problemática asociada a la acumulación de residuos y escasez de áridos naturales

-Características Tejos Silestone® acumulados en vertederos

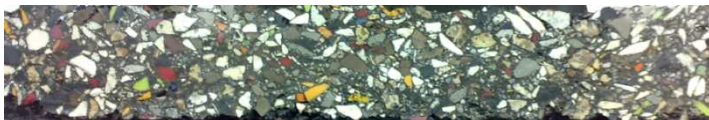
Solución Eficaz

#### Objetivo General:

- Estudio de la posibilidad de reutilización de los residuos procedentes de la Industria de Silestone® como áridos en la fabricación de mezclas bituminosas para su empleo en firmes de carreteras



1. Caracterización de los residuos de Silestone® para su reutilización en la fabricación de mezclas bituminosas.
2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®.
3. Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®.



# **Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas**

## **METODOLOGÍA**

1. Caracterización de los residuos de Silestone® para su reutilización en la fabricación de mezclas bituminosas
  - 1.1. Tratamiento previo de los residuos
  - 1.2. Plan de ensayos general
  - 1.3. Plan de ensayos específico
2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®
  - 2.1. Elección del tipo de mezcla y fórmulas de trabajo
  - 2.2. Diseño de las fórmulas de trabajo
  - 2.3. Fabricación y análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio
3. Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®
  - 3.1. Descripción del tramo de prueba
  - 3.2. Fabricación de las mezclas, extendido y compactación del tramo de prueba
  - 3.3. Análisis Económico

# Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

## METODOLOGÍA

Caracterización de los residuos de Silestone® para su reutilización en la fabricación de mezclas bituminosas

Tratamiento previo de los residuos



# Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

## 4. METODOLOGÍA

Caracterización de los residuos de Silestone® para su reutilización en la fabricación de mezclas bituminosas

Plan de ensayos general

Plan de Ensayos General	
Fracción Gruesa Residuos Silestone®	<u>Ensayo de Lixiviación</u> según NLT-326
	<u>Análisis Granulométrico</u> según UNE-EN 933-1
	<u>Proporción de Partículas trituradas</u> (angulosidad del árido grueso) según UNE-EN 933-5
	<u>Forma del árido grueso</u> (Índice de Lajas) según UNE-EN 933-3
	<u>Resistencia a la fragmentación del árido grueso</u> (Coeficiente Los Ángeles) según UNE-EN 1097-2
	<u>Resistencia al pulimento del árido grueso</u> (coeficiente de pulimento acelerado, CPA) según anexo D de la UNE 146130
	<u>Limpieza del árido grueso</u> (contenido de impurezas) según anexo C de la UNE 146130
	<u>Densidad relativa y absorción</u> (NLT-153)
	<u>Análisis de la adhesividad de las partículas con el betún</u> , según NLT-166
Fracción Fina Residuos Silestone®	<u>Equivalente de Arena</u> según UNE-EN 933-8, y en su caso, Azul de Metileno según UNE-EN 933-9
	<u>Análisis Granulométrico</u> según UNE-EN 933-1
	<u>Resistencia a la fragmentación del árido fino</u> (Coeficiente Los Ángeles) según UNE-EN1097-2
	<u>Densidad relativa y absorción</u> (NLT-153)
	<u>Análisis de la adhesividad de las partículas con el betún</u> , según NLT-355

## METODOLOGÍA

Caracterización de los residuos de Silestone® para su reutilización en la fabricación de mezclas bituminosas

Plan de ensayos específico

Plan de Ensayos específico
<u>Resistencia a la fragmentación del árido</u> (Coeficiente Los Ángeles) según UNE-EN 1097-2, tras someter los áridos a una temperatura de 200 °C durante un periodo de una hora.
<u>Ensayo de pérdida de peso por temperatura</u> según UNE-EN 196-2



Acondicionamiento  
en estufa a 200°C  
durante 1 hora



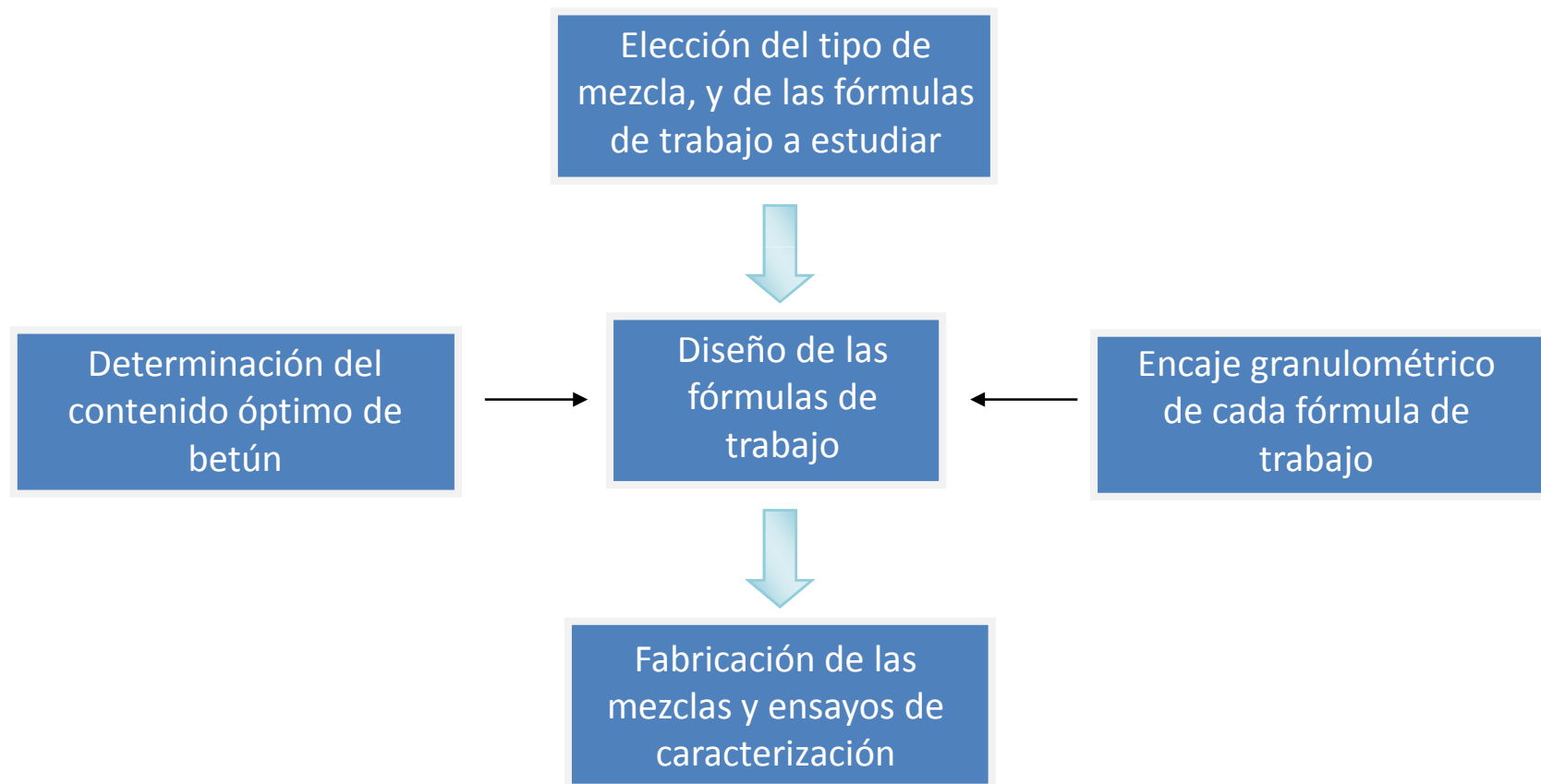
Ensayo de  
Desgaste de Los  
Ángeles



Análisis de la  
resistencia tras la  
exposición a altas  
temperaturas

## METODOLOGÍA

Diseño en laboratorio de m. bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®



## Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

### METODOLOGÍA

Diseño en laboratorio de m. bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

Elección del tipo de mezcla y fórmulas de trabajo

Fórmula de Trabajo	Fracción del Árido	Material	Porcentaje
F 10-1	6/12	Silestone®	50%
		Ofita	50%
	0/3	Silestone®	50%
		Caliza	50%
	Filler	Cemento	100%
F 10-2	6/12	Silestone®	50%
		Ofita	50%
	0/3	Caliza	100%
	Filler	Cemento	100%
F 10-3	6/12	Silestone®	100%
	0/3	Caliza	100%
	Filler	Cemento	100%
F 10-4	6/12	Silestone®	100%
	0/3	Silestone®	100%
	Filler	Cemento	100%
F 10-Convencional	6/12	Ofita	100%
	0/3	Caliza	100%
	Filler	Cemento	100%

## METODOLOGÍA

Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

Diseño de las fórmulas de trabajo



Encaje Granulométrico de  
los Áridos de cada  
Fórmula de trabajo



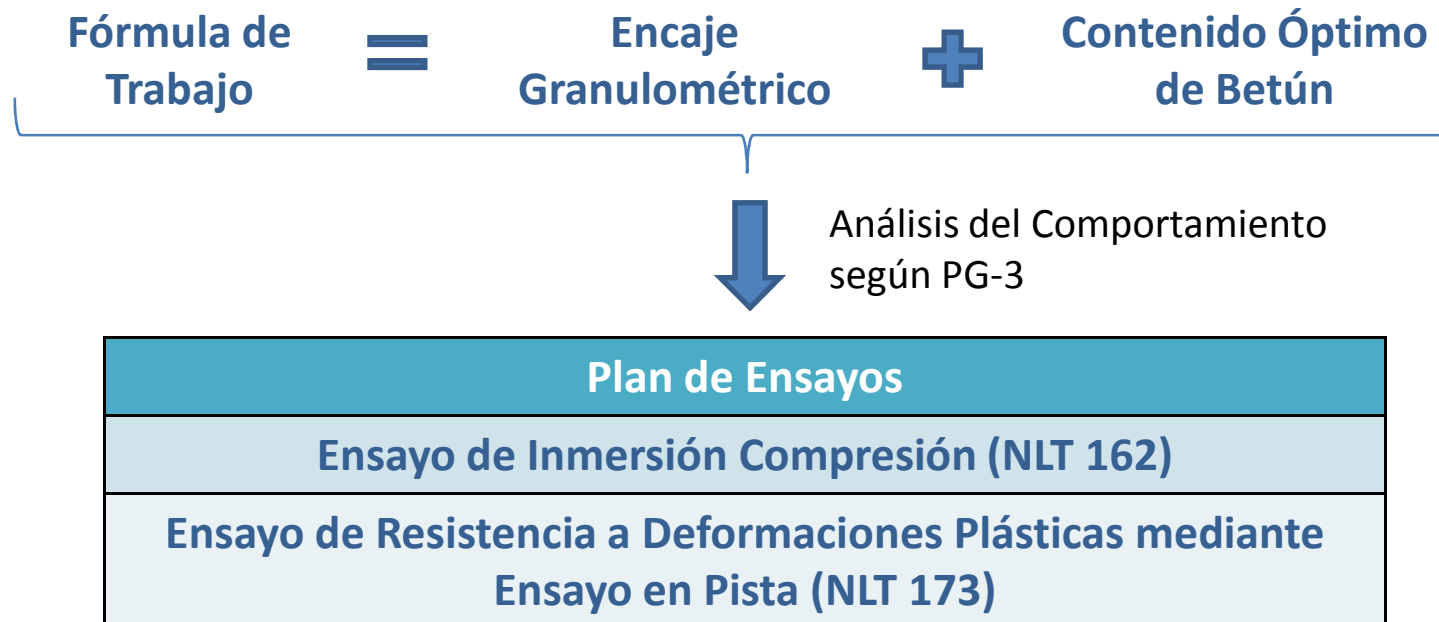
Ensayo Marshall

Determinación del los  
Contenidos Óptimos de  
Betún de cada Fórmula  
de Trabajo

## METODOLOGÍA

Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

Fabricación y análisis del comportamiento de las mezclas fabricadas en laboratorio



# Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

## METODOLOGÍA

### Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®

Control de fabricación de la mezcla  
en planta (amasada de prueba)



Buen comportamiento del residuo  
durante el proceso de fabricación

Control de calidad de las  
mezclas fabricadas



Mezcla fabricada en planta con las mismas  
propiedades que la diseñada en laboratorio

Control de calidad durante la  
puesta en obra de las mezclas



Resultados de control de puesta  
en obra favorables

Análisis económico de la fabricación  
y puesta en obra proceso



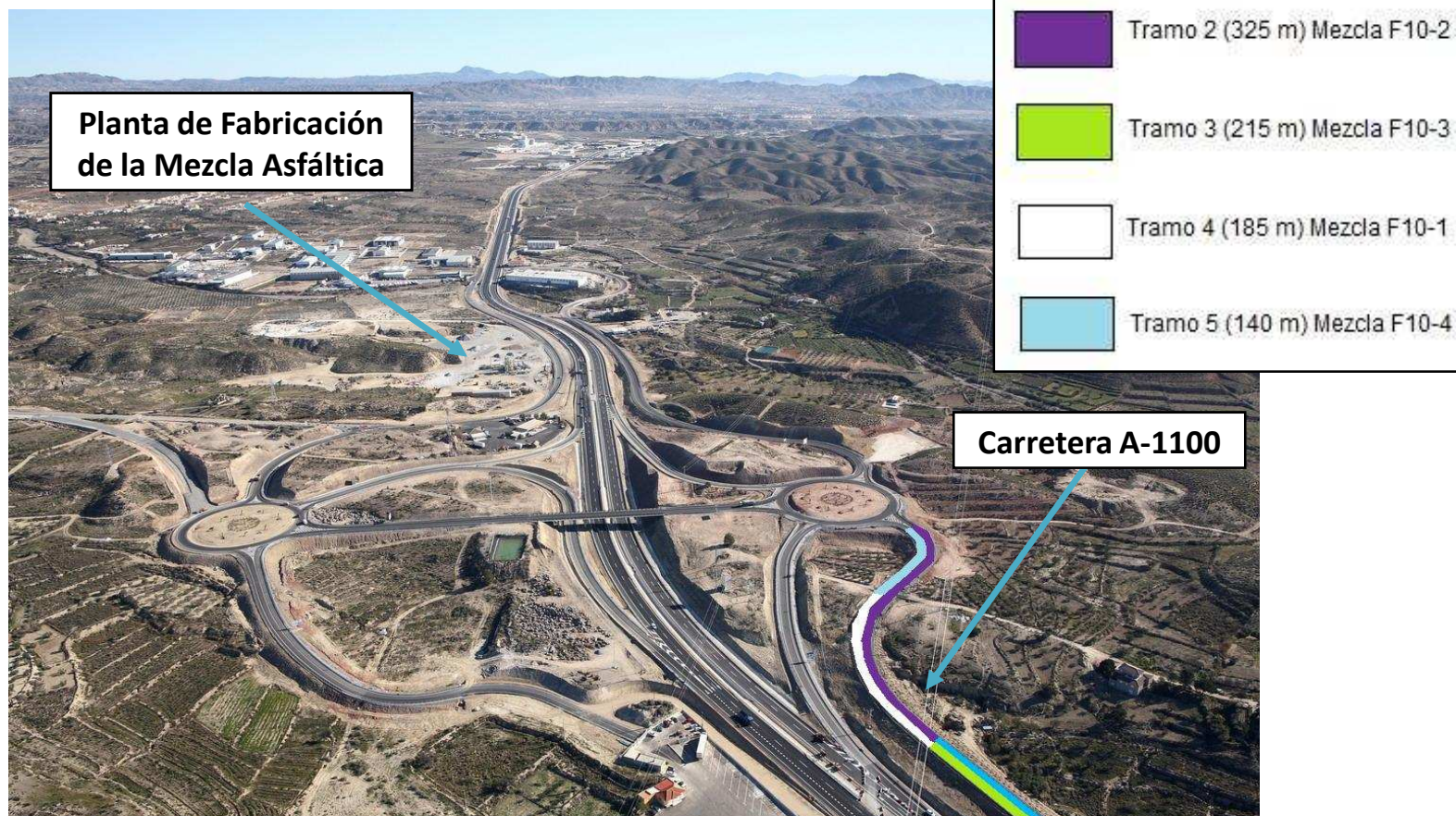
Económicamente viable

Residuo reutilizable en la fabricación  
de mezclas bituminosas

## METODOLOGÍA

Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®

Descripción del tramo de prueba



## METODOLOGÍA

Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®

Fabricación de las mezclas, extendido y compactación del tramo de prueba

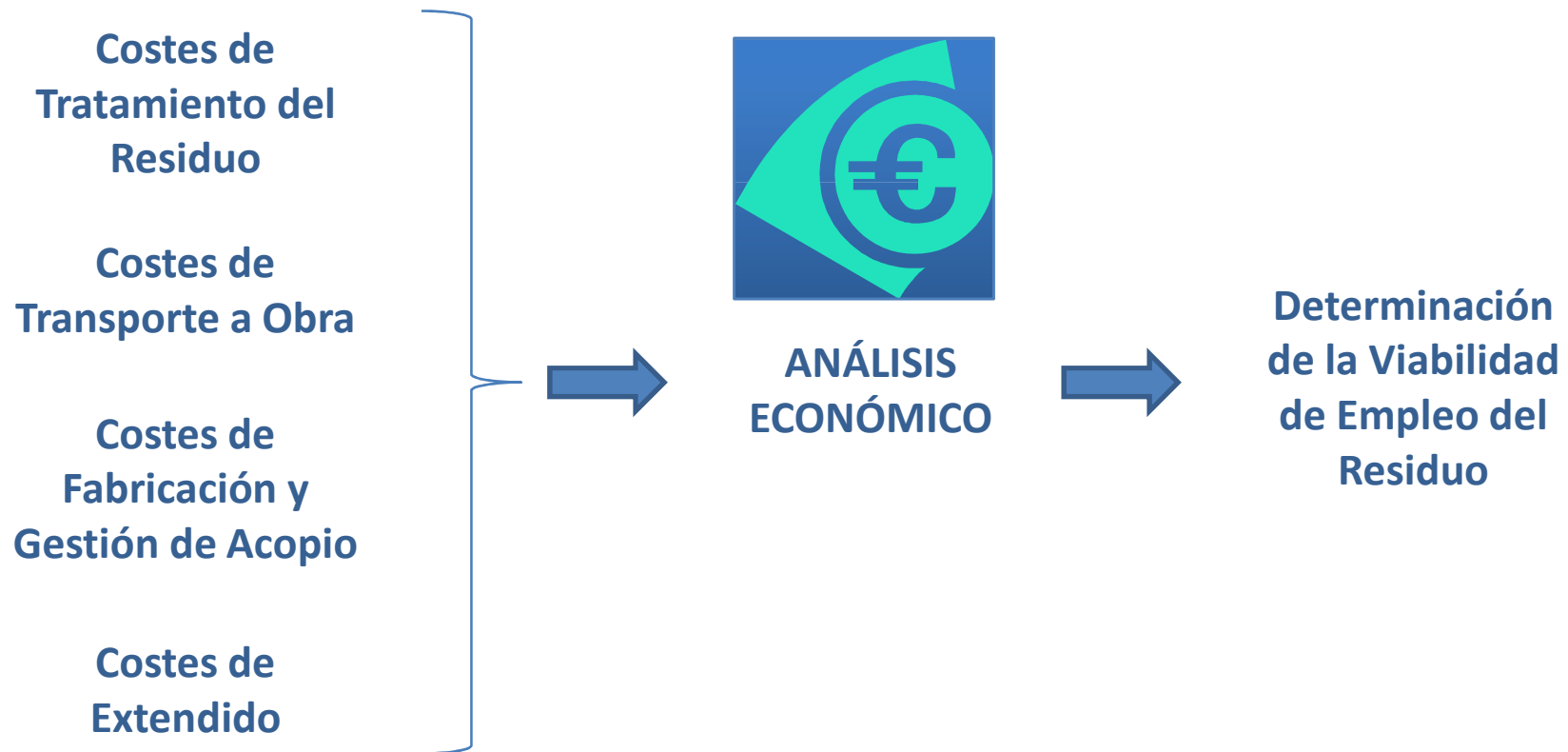
Ensayos de Control de Fabricación de las Mezclas	
Amasada en Blanco	<u>Análisis Granulométrico</u> según UNE-EN 933-1
	<u>Resistencia a la fragmentación del árido</u> (Coeficiente Los Ángeles) según UNE-EN 1097-2
Amasada de Prueba	<u>Ensayo Marshall</u> según NLT 159
	<u>Análisis granulométrico</u> según NLT 165
	<u>Contenido de ligante</u> según NLT 164

Ensayos de Control de Extendido, Compactación y Comportamiento en Obra	
<u>Índice de Regularidad Superficial (IRI)</u> previo al extendido del tramo	
<u>Ensayos de Inmersión-Compresión (NLT 162)</u> de control de las mezclas extendidas	
<u>Ensayos de Resistencia a Def. Plásticas en Pista (NLT 173)</u> de control de las mezclas extendidas	
<u>Índice de Regularidad Superficial (IRI) y Ensayo de Macrotextura</u> tras el extendido del tramo	
<u>Índice de Regularidad Superficial (IRI)</u> 6 meses después del extendido del tramo	

## **METODOLOGÍA**

**Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®**

**Análisis Económico**



## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **1. Caracterización de los residuos de Silestone® para su reutilización en la fabricación de mezclas bituminosas**

- 1.1. Plan de ensayos general
- 1.2. Plan de ensayos específico

### **2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®**

- 2.1. Diseño de las fórmulas de trabajo
- 2.2. Análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio

### **3. Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®**

- 3.1. Fabricación de las mezclas, extendido y compactación del tramo de prueba
- 3.2. Análisis Económico

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

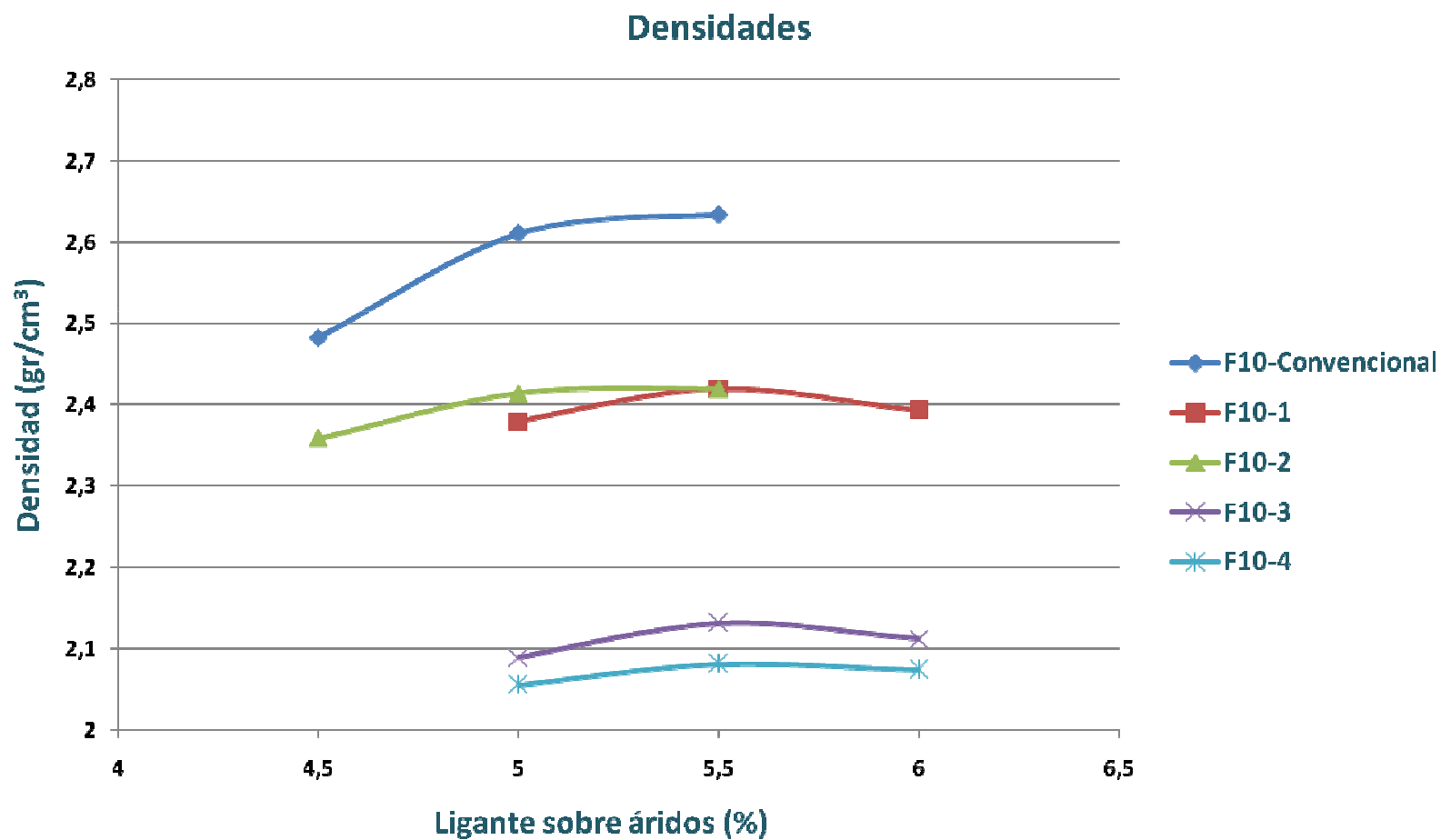
### **2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®**

#### **2.1. Diseño de las fórmulas de trabajo (Contenidos Óptimos de Betún)**

<b>Mezcla</b>	<b>F10-Convencional</b>	<b>F10-1</b>	<b>F10-2</b>	<b>F10-3</b>	<b>F10-4</b>
<b>Contenido óptimo de betún</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,5%</b>

## Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

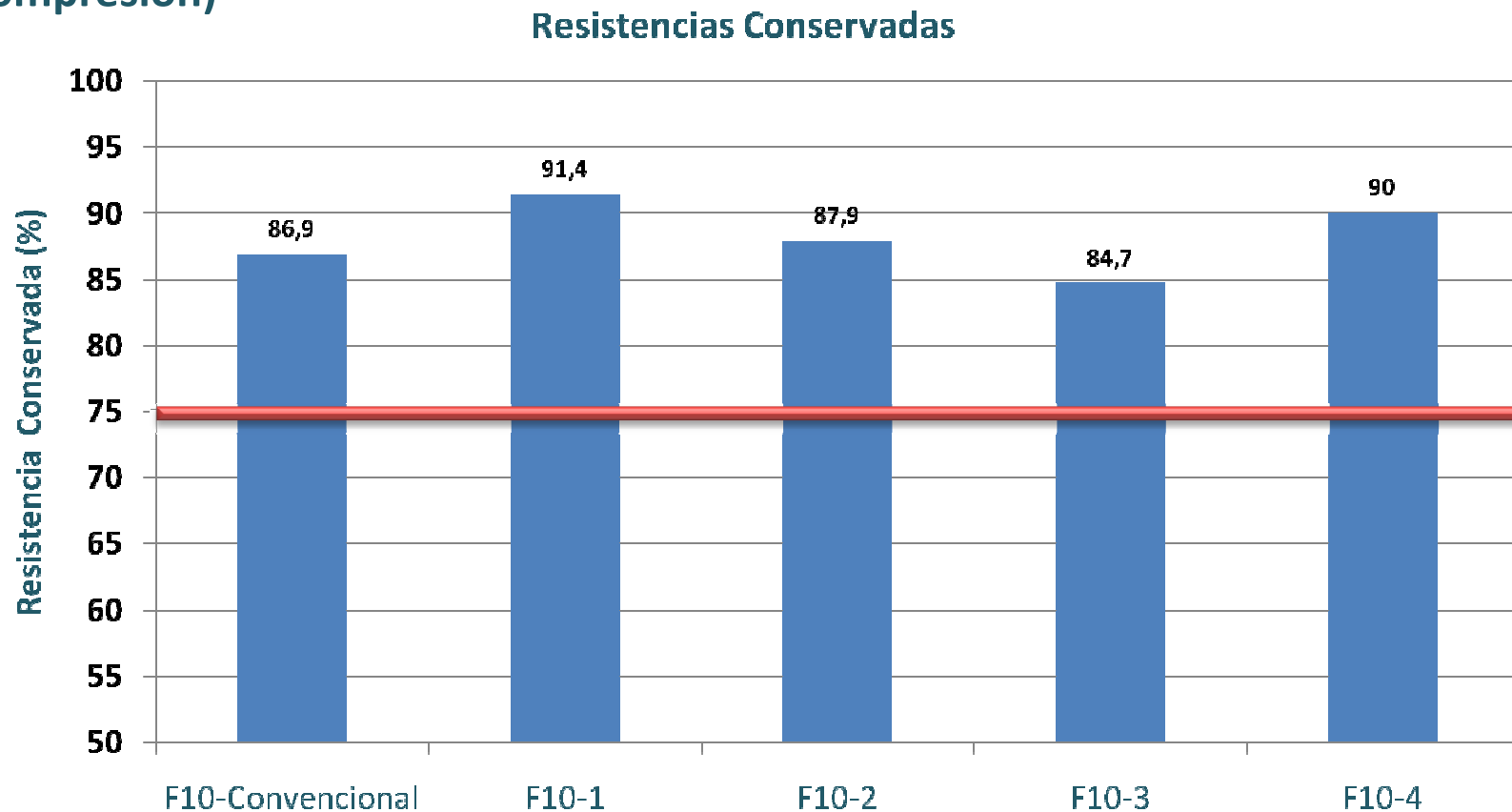
### ANÁLISIS DE RESULTADOS



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

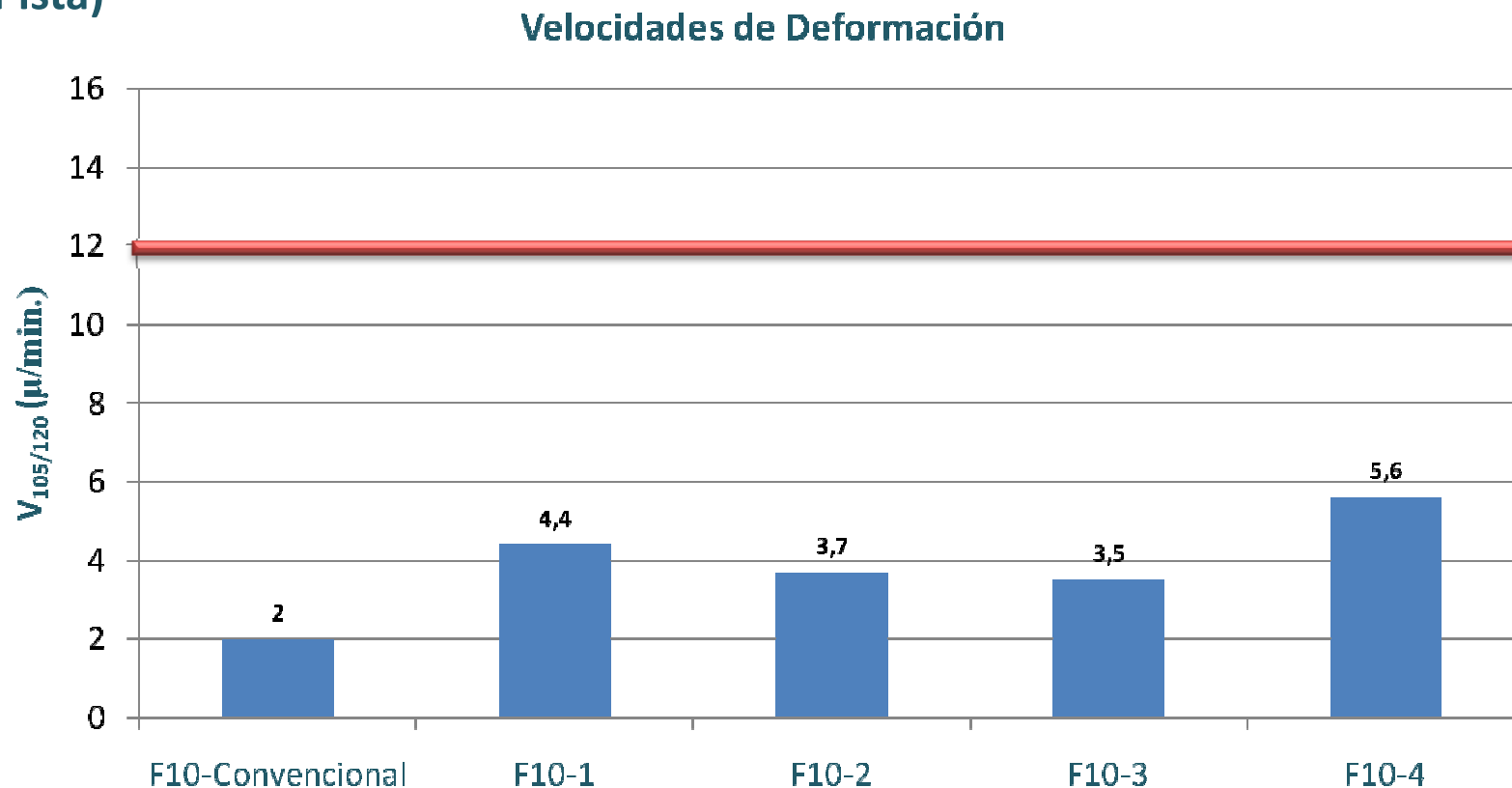
2.2. Análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio (Inmersión-Compresión)



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

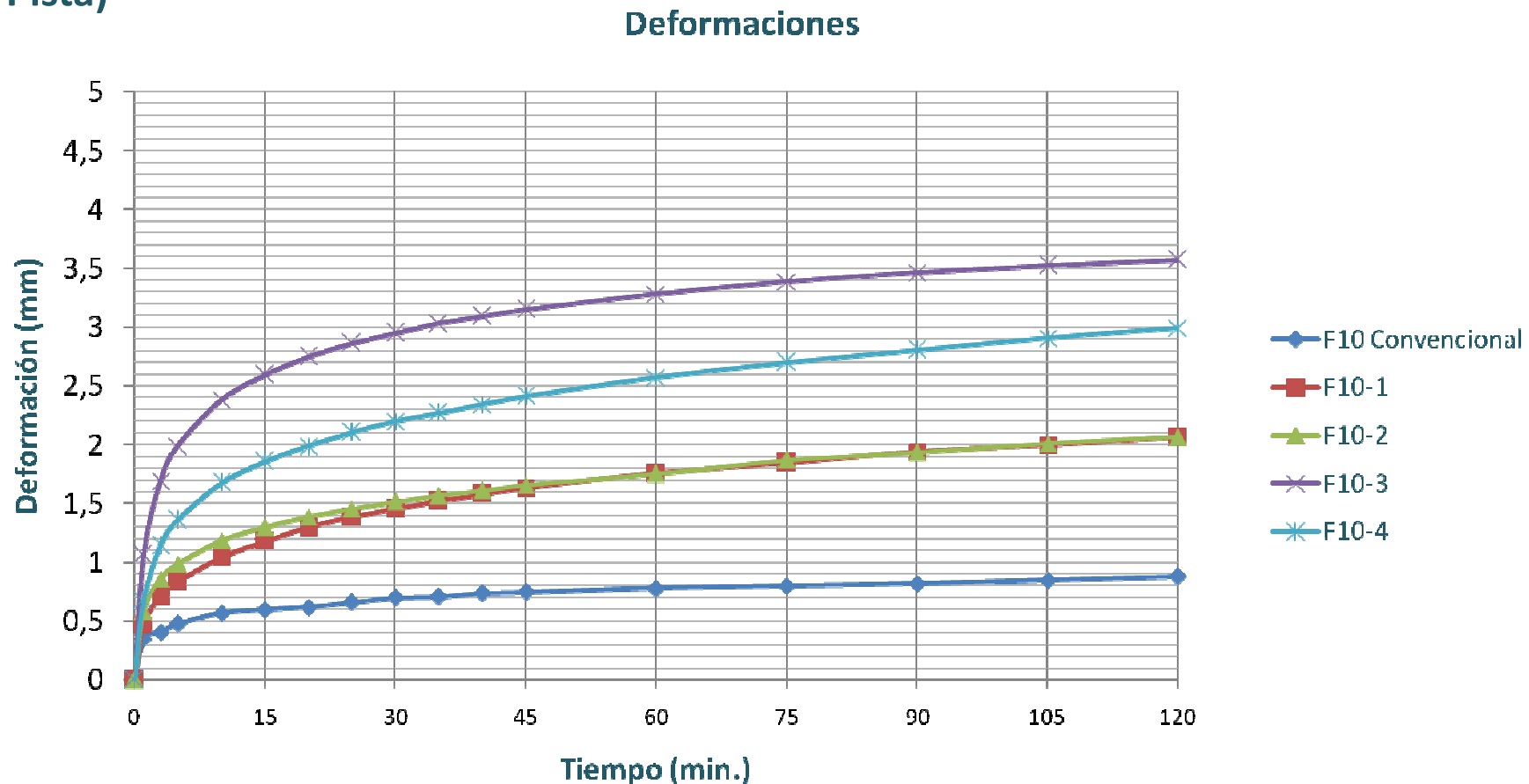
#### 2.2. Análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio (Ensayo en Pista)



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

#### 2.2. Análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio (Ensayo en Pista)



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Análisis de la viabilidad de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas con residuos de Silestone®

Los resultados obtenidos en los tramos de prueba resultaron satisfactorios para todas las formulas de trabajo



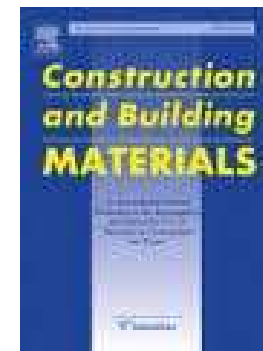
## DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

“Propiedades Mecánicas de Mezclas Bituminosas en Caliente Fabricadas con Áridos Reciclados de Residuos Silestone®”



“Reuse of waste material from decorative quartz solid surfacing in the manufacture of hot bituminous mixes”



## **CONCLUSIONES**

- Las propiedades mostradas por los residuos de Silestone® durante los ensayos de caracterización lo convierten en un material muy interesante para ser reutilizado como sustitutivo de áridos naturales en la fabricación de mezclas bituminosas para capas de rodadura en firmes de carretera.
- Las mezclas diseñadas en laboratorio con dichos residuos como sustitutivos, totales o parciales, de áridos naturales cumplen con todas las especificaciones exigidas por la normativa de carreteras, y por tanto son aptas para su utilización en la capa de rodadura de firmes de carretera.
- El comportamiento durante la fabricación y la puesta en servicio de las mezclas con residuos de Silestone® demuestra la viabilidad de su utilización en la construcción de carreteras.
- La fabricación y puesta en obra de las mezclas con residuos de Silestone® puede ejecutarse con la misma maquinaria de las mezclas convencionales, lo que supone una ventaja frente a otros residuos que necesitan modificaciones en la maquinaria utilizada.

## CONCLUSIONES

- La reutilización de residuos de Silestone® en la fracción gruesa de la granulometría de la mezcla en lugar de los áridos naturales supone un ahorro económico considerable.
- La disminución de densidad mostrada por las mezclas que incorporan residuos de Silestone® suponen un ahorro económico en los costes de construcción de la carretera (menores costes en la producción y menores costes en el transporte).
- Las mezclas que incorporan residuos de Silestone® son más estables a las variaciones de betún que las mezclas convencionales. Este hecho supone una ventaja en caso de fallo en la dosificación de betún en planta, puesto que sus propiedades no variarán demasiado.
- Aunque la resistencia ofrecida es menor, el comportamiento de las mezclas con residuos de Silestone® ante la acción del agua es sustancialmente mejor que el de las mezclas convencionales.

# Proyecto de Investigación

## Análisis de la Reutilización de Residuos Silestone® en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

### Agradecimientos

Consejería de Obras Públicas

Personal de Sacyr

Personal del Laboratorio de Ingeniería de la Construcción (UGR)