

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



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y VIVIENDA



Laboratorio de Ing. de la Construcción
E.T.S.I.C.C.P. UGR



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

CONTENIDOS

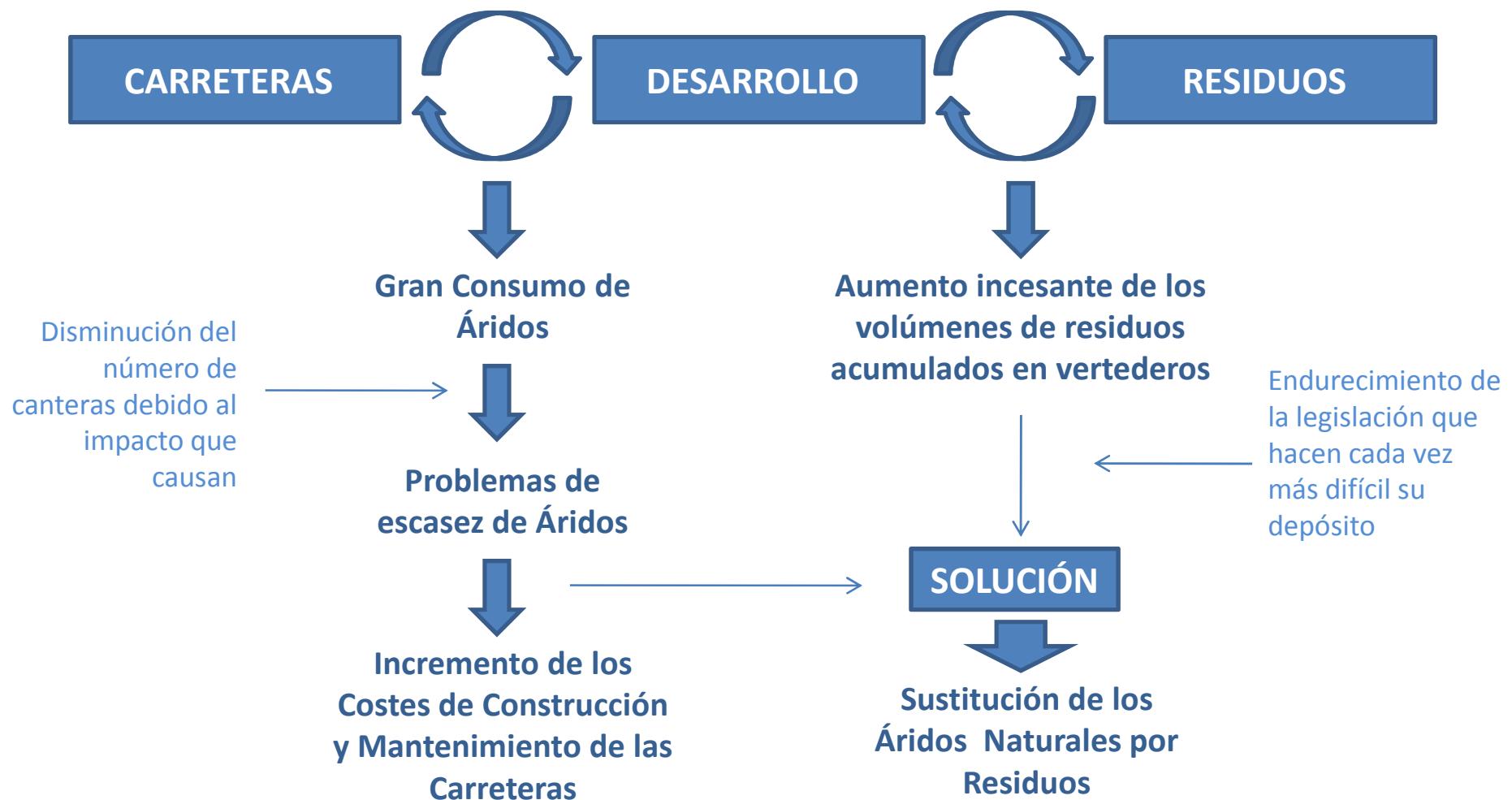
1. Introducción
2. Objetivos del Proyecto
3. Metodología
4. Resultados Obtenidos
5. Conclusiones



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

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...

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

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



OBJETIVOS

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

-Características
Tejos Silestone®
acumulados en
vertederos

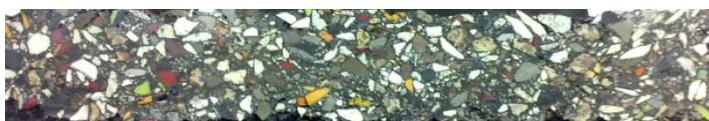
Solución
Eficaz

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>Ánálisis 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 Angeles) 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>Ánálisis 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>Ánálisis Granulométrico</u> según UNE-EN 933-1
	<u>Resistencia a la fragmentación del árido fino</u> (Coeficiente Los Angeles) según UNE-EN1097-2
	<u>Densidad relativa y absorción</u> (NLT-153)
	<u>Ánálisis de la adhesividad de las partículas con el betún</u> , según NLT-355

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

Plan de ensayos específico

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



Acondicionamiento
en estufa a 200ºC
durante 1 hora



**Ensayo de
Desgaste de Los
Ángeles**

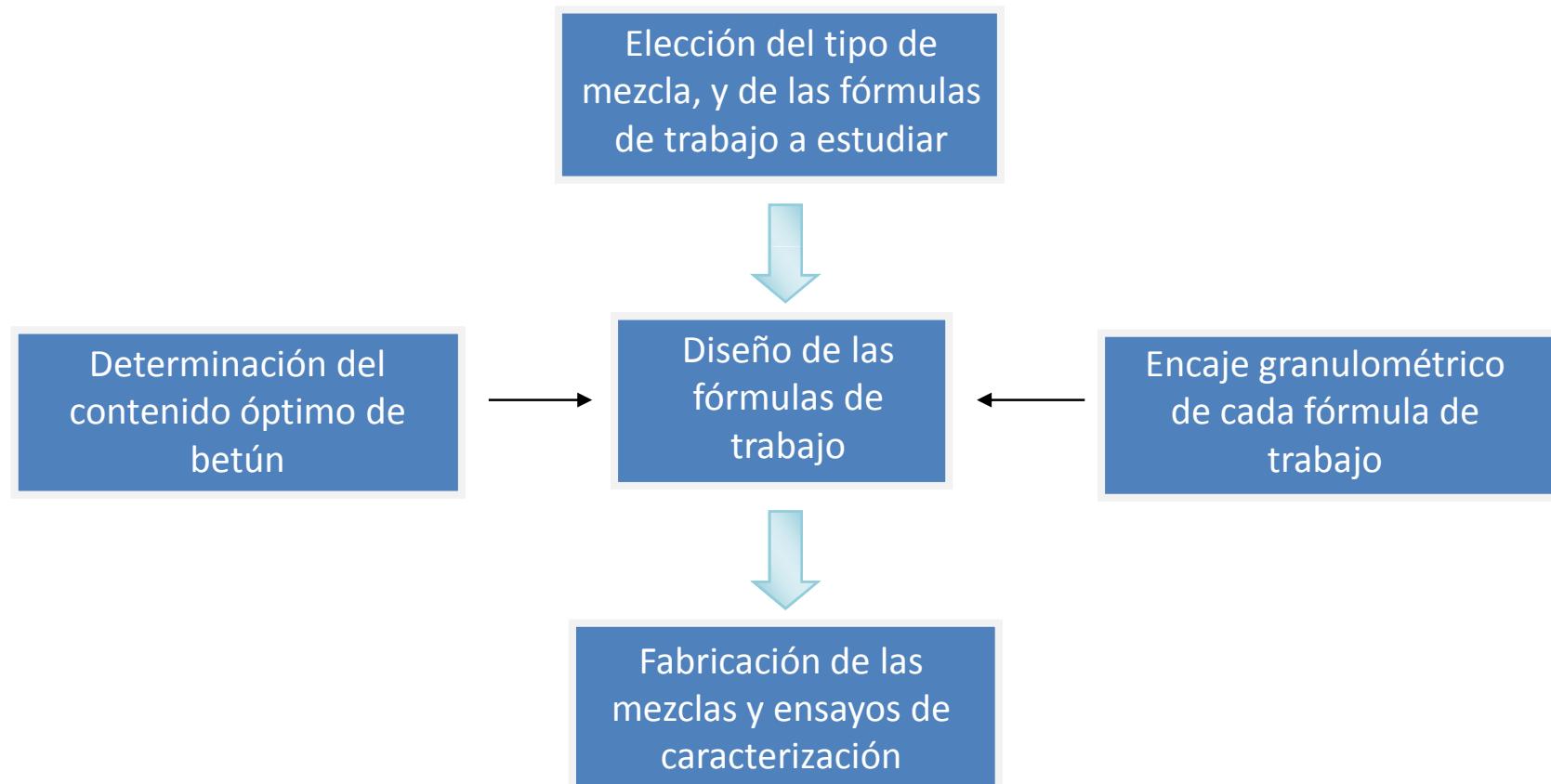


**Análisis de la
resistencia tras la
exposición a altas
temperaturas**

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®



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%	
	6/12	Silestone®	50%	
F 10-2		Ofita	50%	
		Caliza	100%	
		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%	

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

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



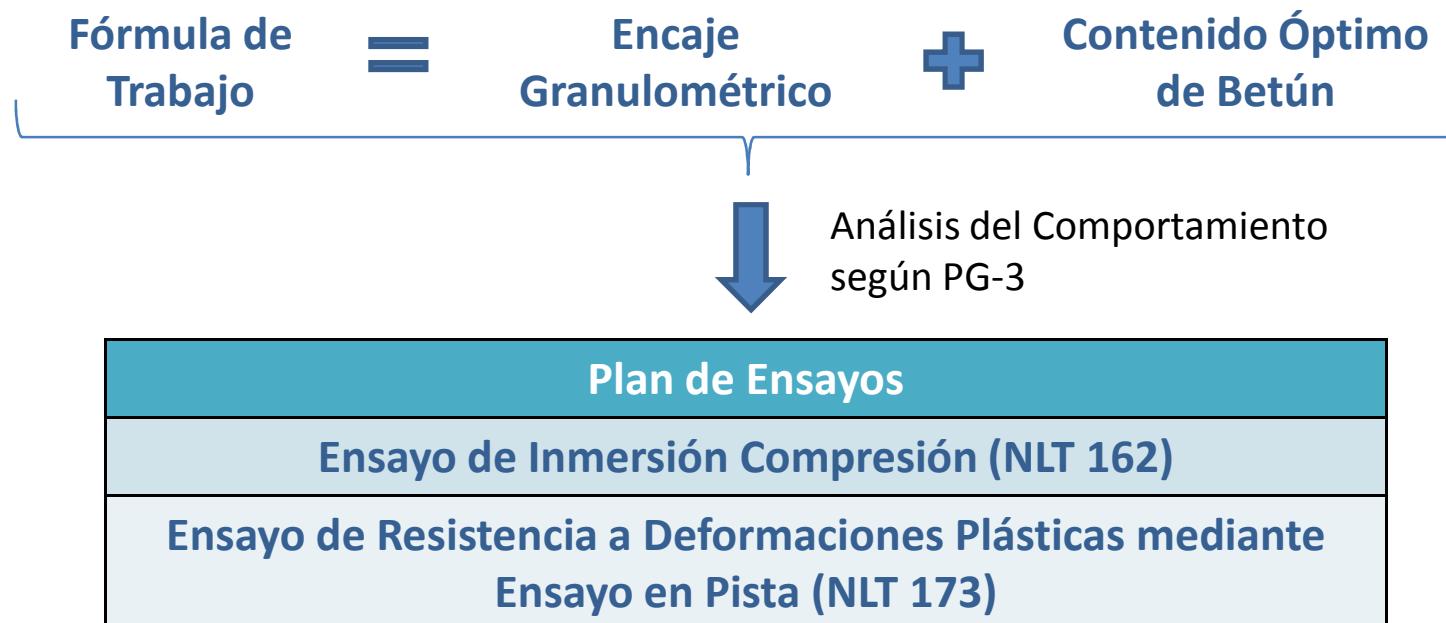
Ensayo Marshall

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

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®

Descripción del tramo de prueba



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®

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

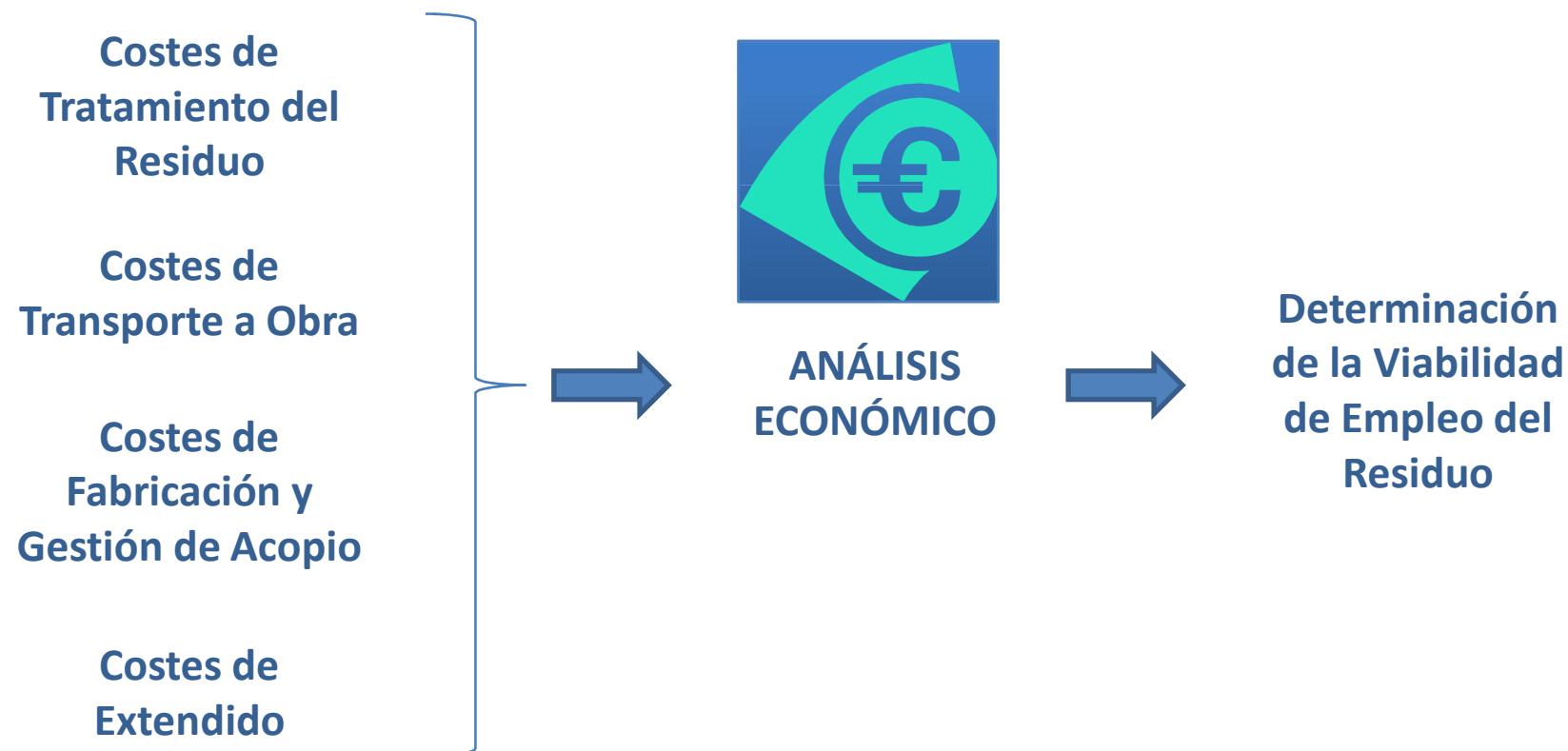
Ensayos de Control de Extendido, Compactación y Comportamiento en Obra
<u>Índice de Regularidad Superficial (IRI) previo al extendido del tramo</u>
<u>Ensayos de Inmersión-Compresión (NLT 162)</u> de control de las mezclas extendidas
<u>Ensayos de Resistencia a Def. Plásticas en Pista (NLT 173)</u> de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

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®

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

ANÁLISIS DE RESULTADOS

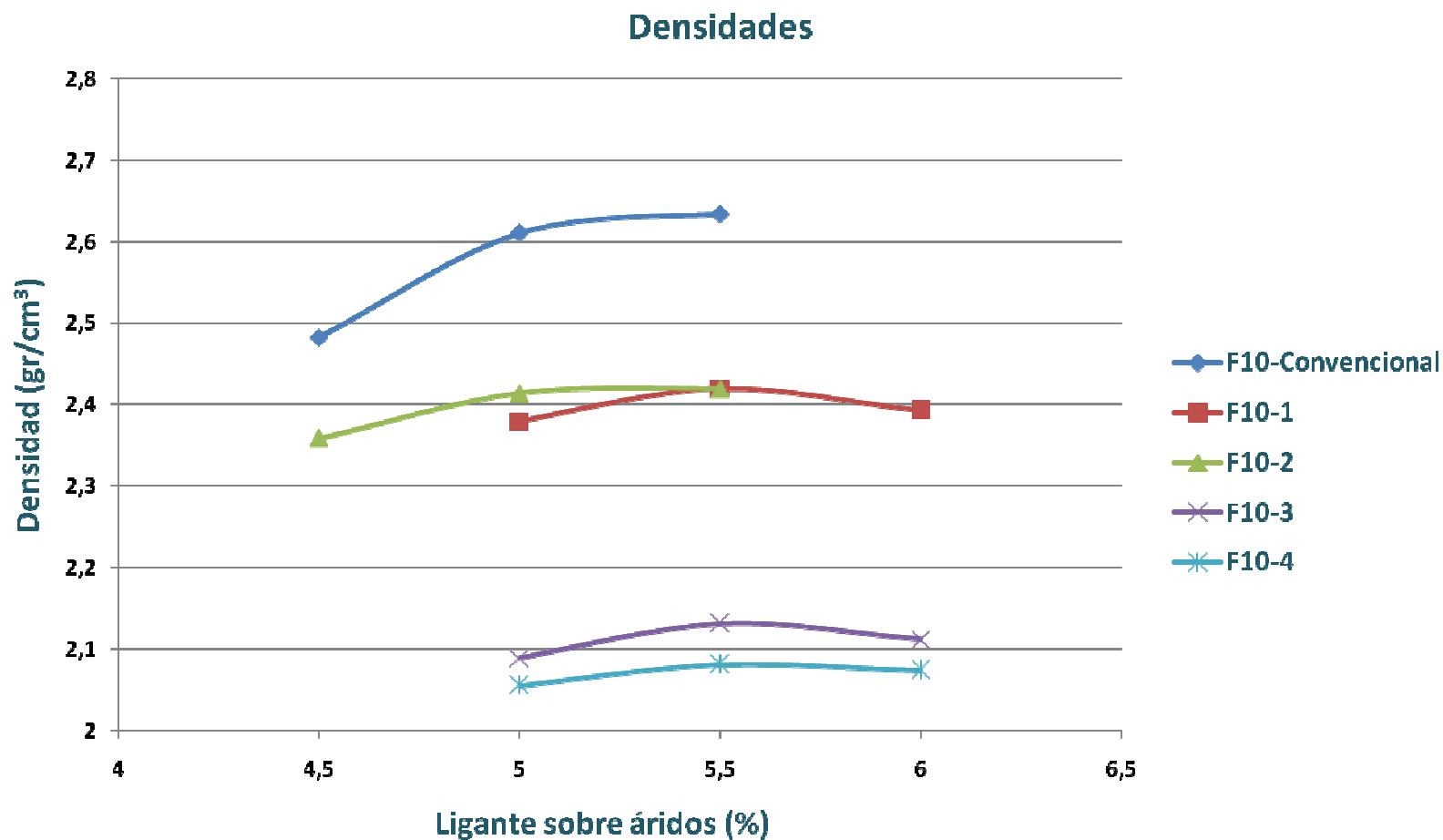
2. Diseño en laboratorio de mezclas bituminosas con la incorporación de residuos de Silestone®

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

Mezcla	F10-Convencional	F10-1	F10-2	F10-3	F10-4
Contenido óptimo de betún	5%	5%	5,3%	5,3%	5,5%

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

ANÁLISIS DE RESULTADOS

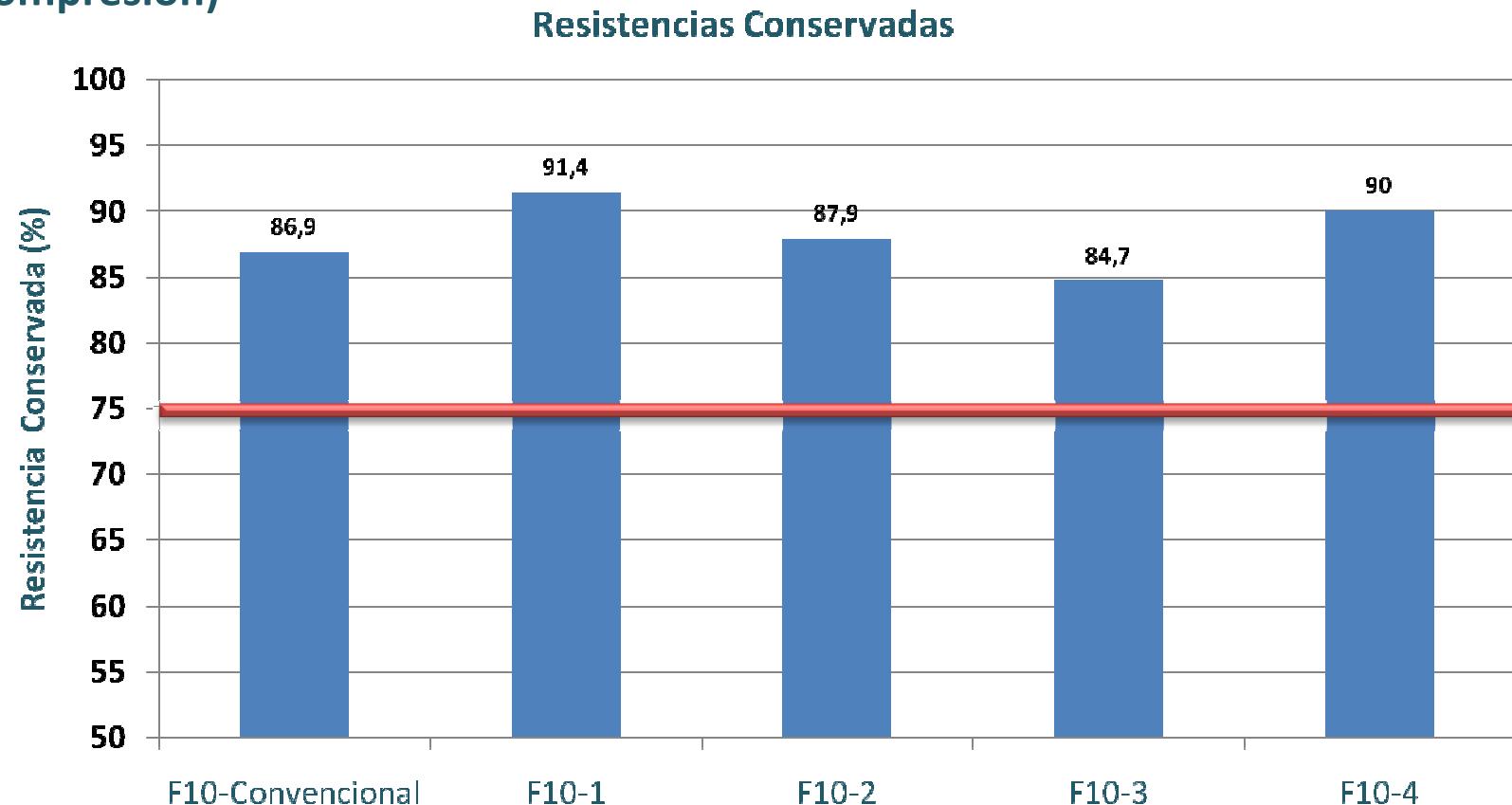


Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone®
en la Fabricación de Mezclas Bituminosas

ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

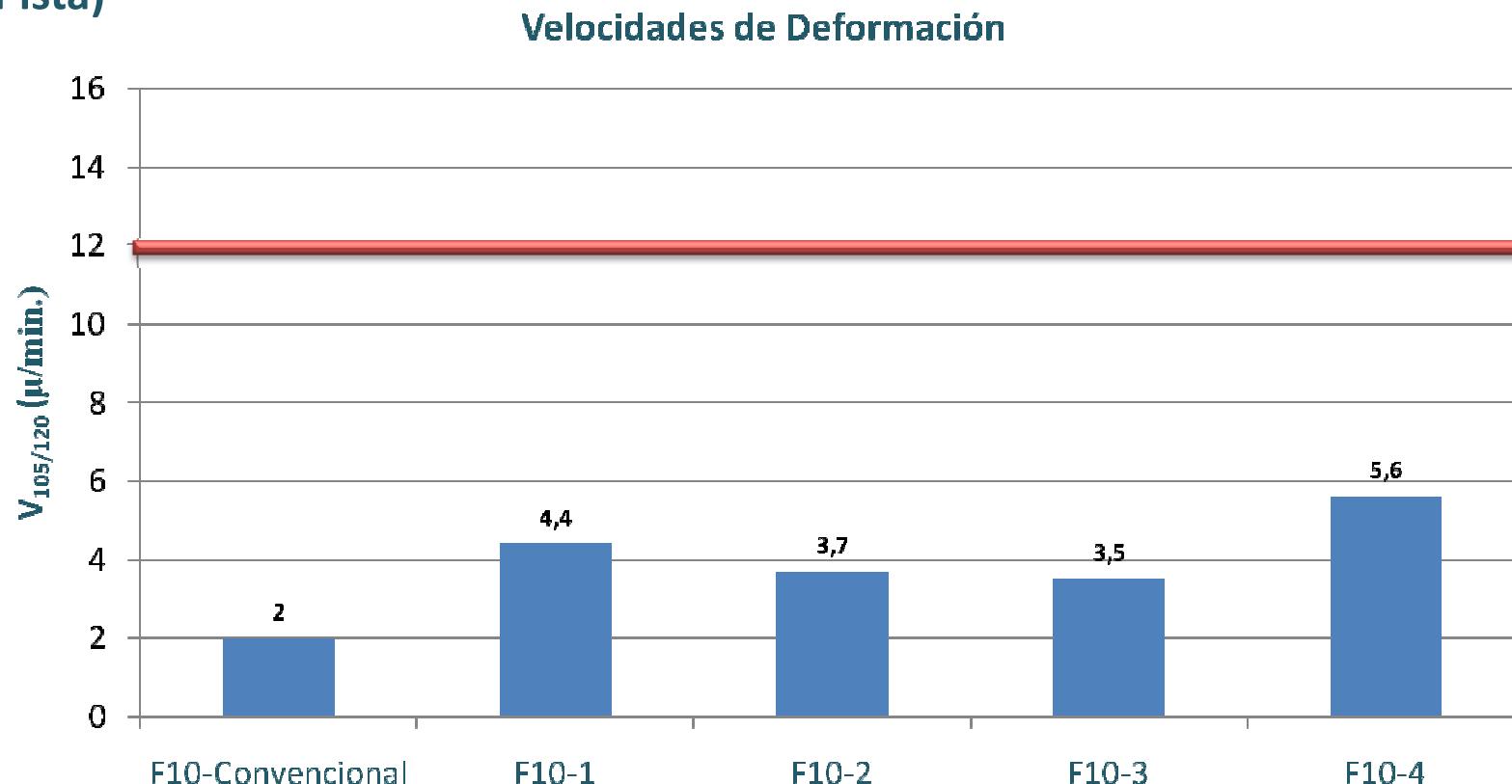
2.2. Análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio (Inmersión-Compresión)



ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

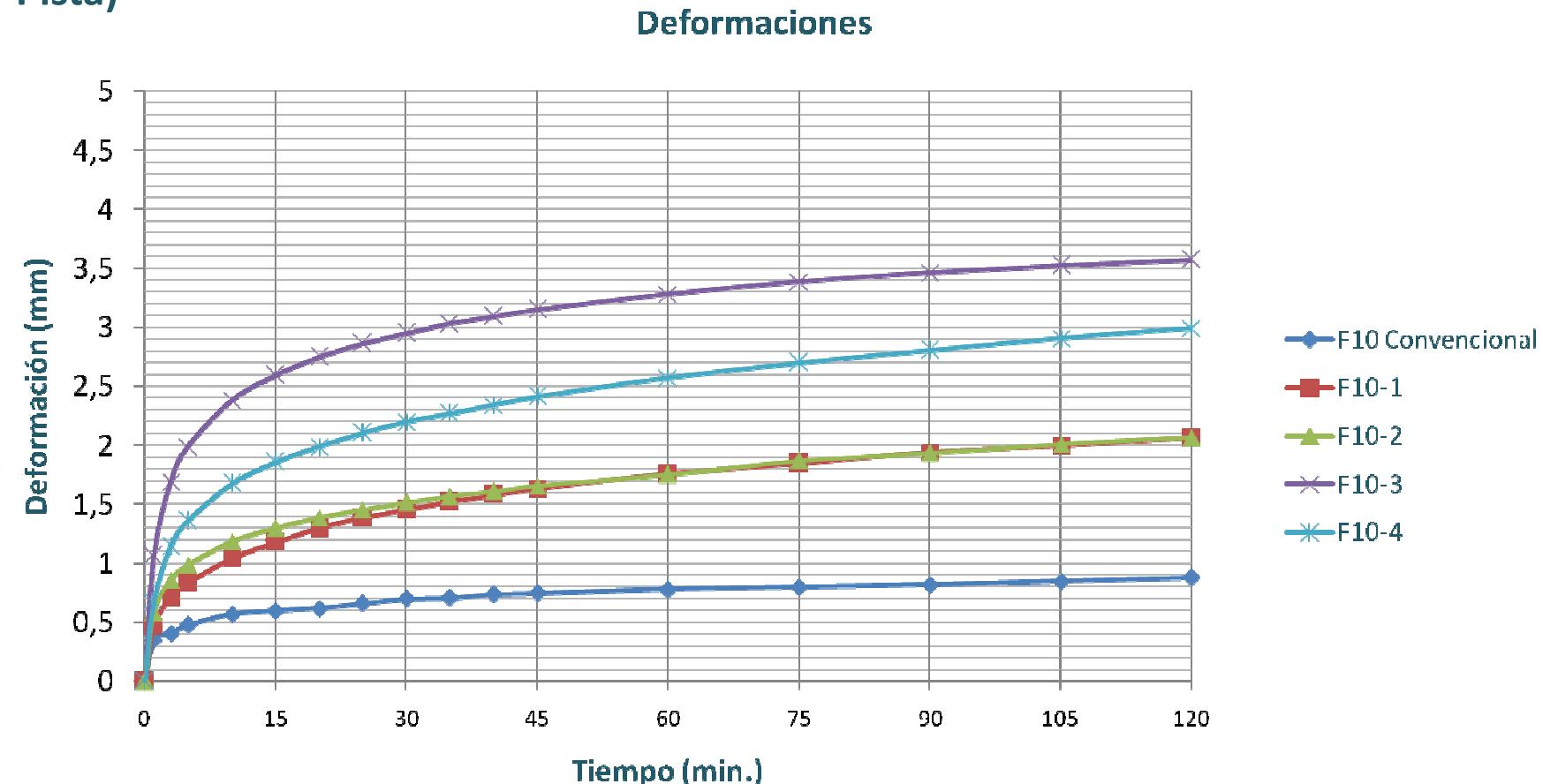
2.2. Análisis del comportamiento de las mezclas en laboratorio (Ensayo en Pista)



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

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



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

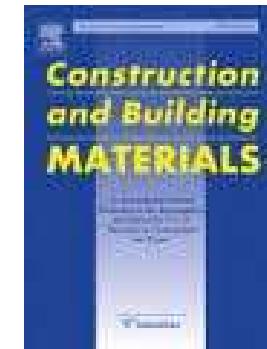
DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

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)



Laboratorio de Ing. de la Construcción
E.T.S.I.C.C.P. UGR

