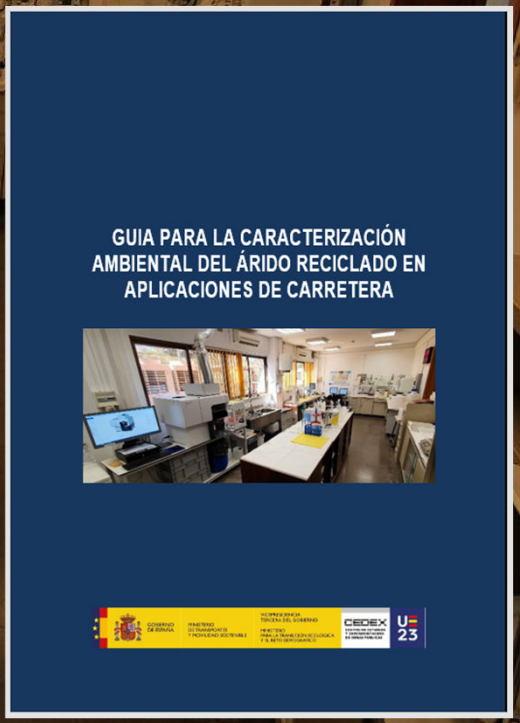
CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE ÁRIDOS RECICLADOS PARA SU USO EN CARRETERAS

Julio Termenón Delgado
Laboratorio de Lixiviación

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

Centro de Estudios del Transporte



Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

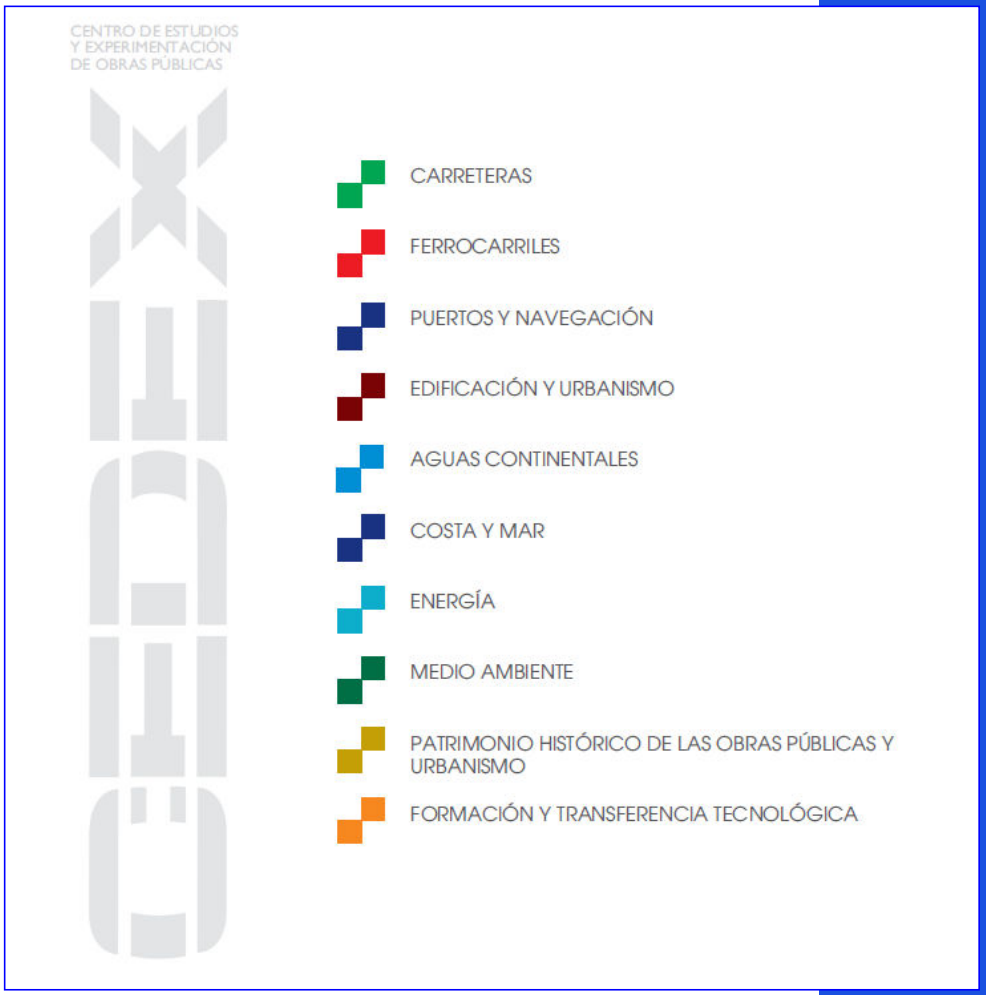
Organismo Autónomo dependiente del **MITMS** y **MITECO**

Presta **apoyo multidisciplinar** en los ámbitos: ingeniería civil, edificación y medio ambiente

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte





CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

Centro de Estudios del Transporte (CET)



Principales funciones del CET

- ✓ **Asistencia técnica especializada** a las AA.PP. y a entidades privadas en el ámbito de las carreteras
- ✓ **I+D+i** en el sector de la carretera
- ✓ **Transferencia del conocimiento** y participación en **comités de normalización**, agrupaciones y asociaciones nacionales e internacionales, relacionadas con las carreteras

Ámbitos de trabajo del CET

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

Infraestructura viaria





Infraestructura aeroportuaria

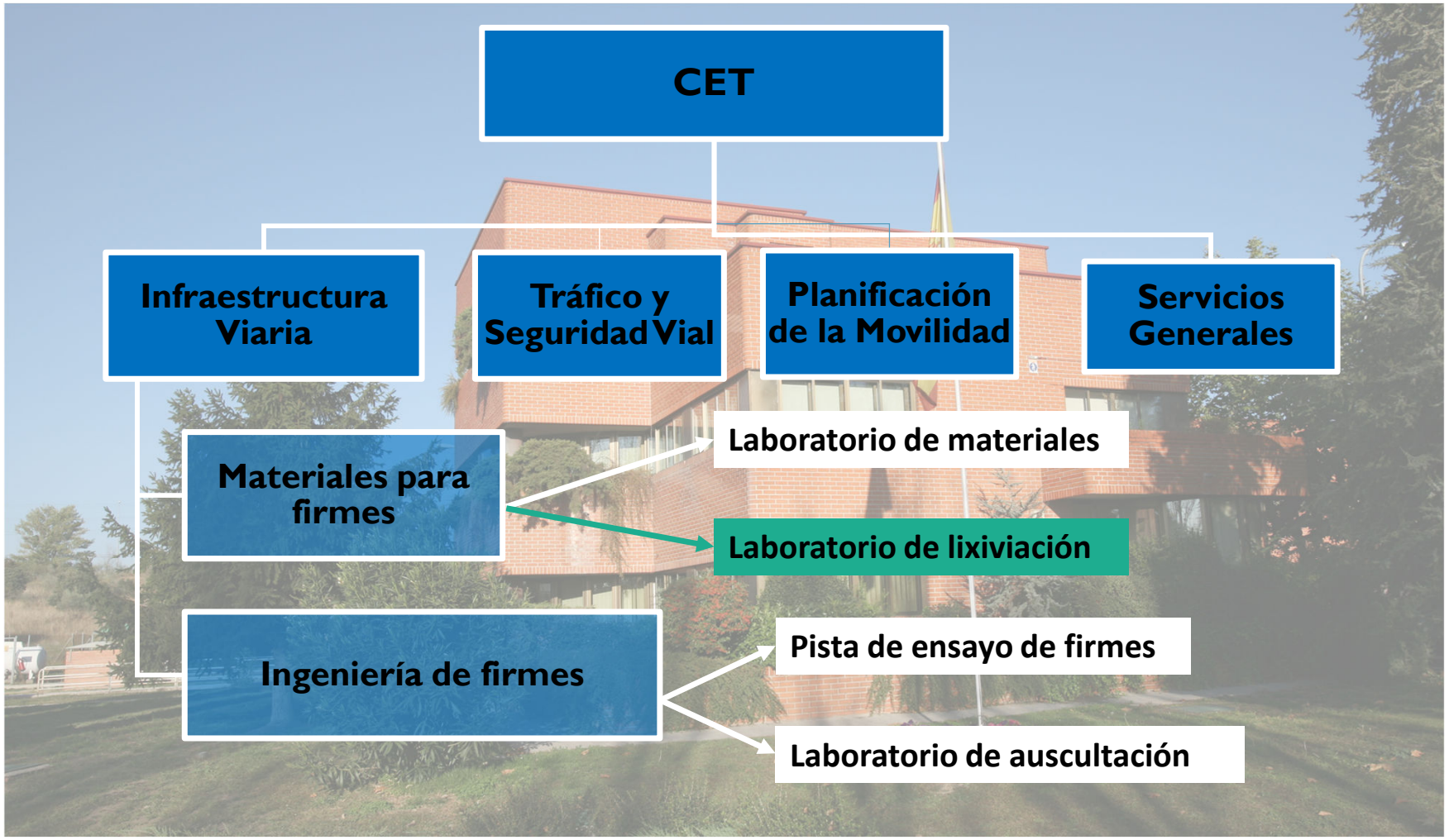
Movilidad (vehículo conectado)



… bajo la perspectiva de la sostenibilidad y el cambio climático



Organigrama del CET



CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

PARTICIPACIÓN EN COMITÉS DE NORMALIZACIÓN

AGGREGATES

- CEN/TC 154/WG13 "Dangerous substances"
- CEN/TC 154/WG12 "Aggregates from secondary source"

ÁRIDOS

- **Coordinadores del CTN 146/GT13 "Sustancias peligrosas"**
- **Coordinadores del CTN 146/GT12 "Áridos de fuentes secundarias""**

CONSTRUCTION PRODUCTS

- CEN/TC 351/WG1 "Release from construction products..."
- CEN/TC 351/WG5 "Content and eluate analysis..."

PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN

- **Presidentes del CTN 198/SC5 "Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas..."**

Laboratorio de Lixiviación del CET



Estudios de caracterización ambiental para evaluar la liberación de sustancias peligrosas en productos de construcción mediante ensayos de lixiviación

EXPERIENCIA EN LIXIVIACIÓN DE MATERIALES

USOS NO LIGADOS:

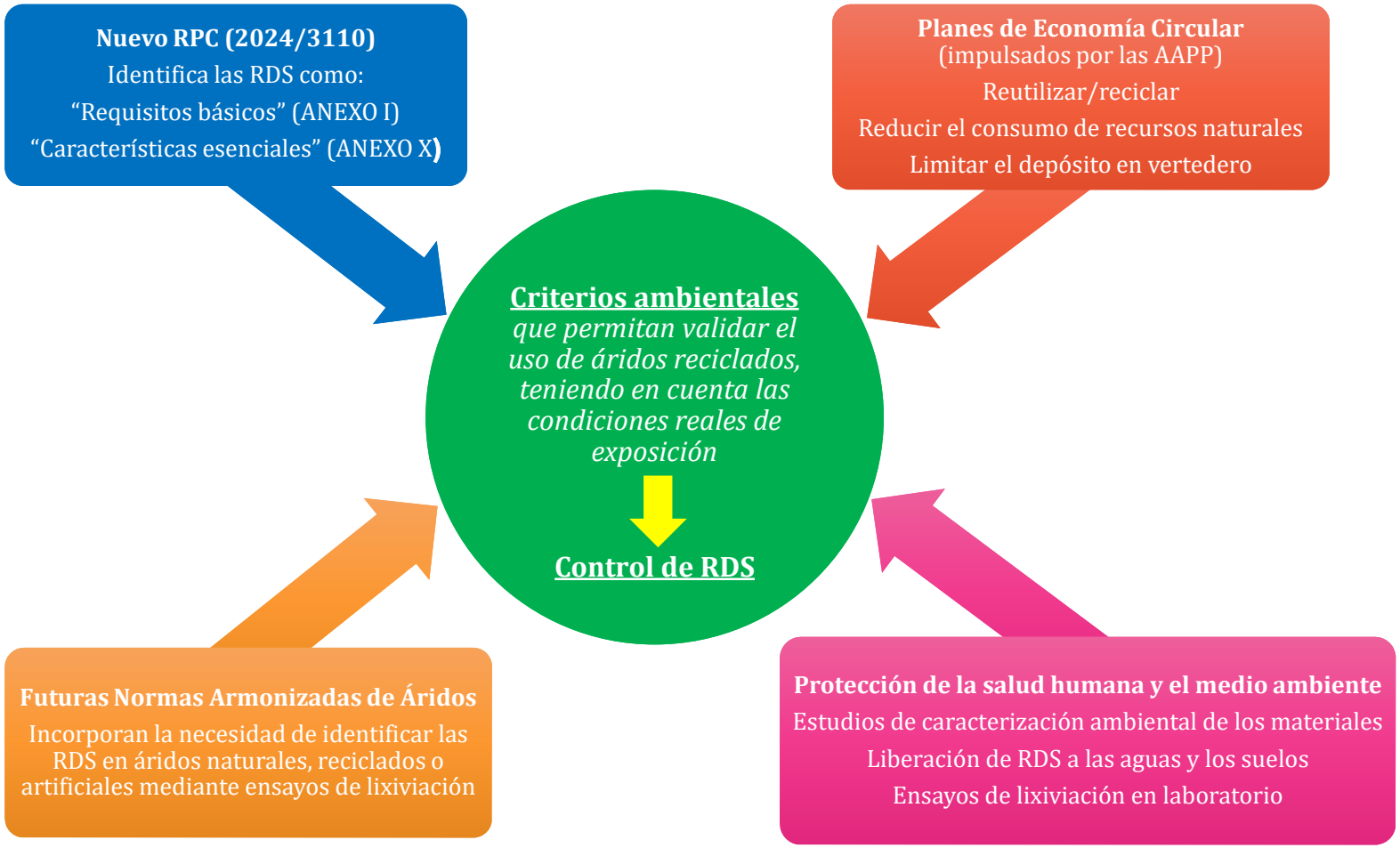
- Áridos naturales: silíceo y pórfido
- **Áridos reciclados de hormigón (RH)**
- **Áridos reciclados mixtos (RCD)**
- **Asfalto recuperado (RA)**
- Escorias de acería de horno eléctrico (EAHE)
- Escorias de fundición del cobre (EFC)
- Escorias de incineración de RSU (EIRSU)
- Granulado de caucho (GC) de NFVU

USOS LIGADOS:

- **Mezclas bituminosas con RA**
- **Mezclas bituminosas con RCD**
- Mezclas bituminosas con EAHE
- Mezclas bituminosas con GC
- Mezclas de áridos reciclados con cemento
- Suelo-cemento

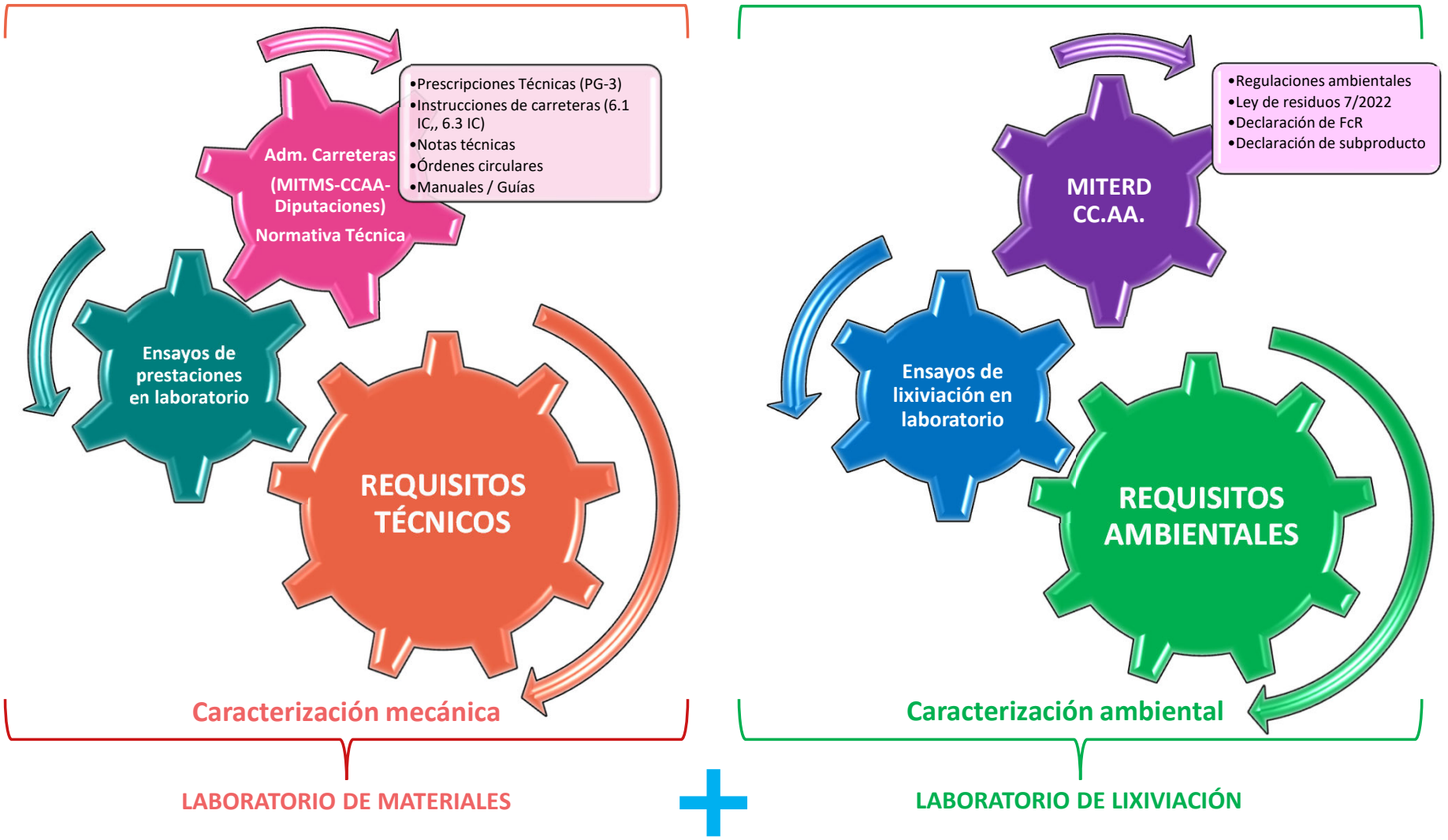


Necesidad de establecer criterios ambientales



RDS: Regulated Dangerous Substances

Integración del control ambiental en la caracterización de los áridos reciclados



CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

Metas alcanzadas y próximos retos

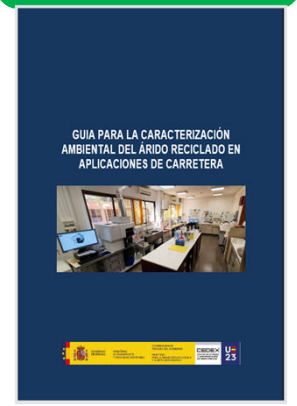


CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Antecedentes y Regulación

CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

Guía Ambiental Áridos Reciclados



PG-3 (2015) Construcción Carreteras



RD 646/2020 Depósito Vertedero



PAÍS VASCO Orden 12/01/2025 Áridos reciclados de RCD



CASTILLA Y LEÓN Decreto 5/2023 Gestión RCD



PAÍSES BAJOS (2022) Reglamento Calidad Suelo

FRANCIA (2012) Guías caracterización materiales secundarios

Cerema

GUÍA AMBIENTAL: Objetivos y Alcance

CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

OBJETIVOS

- Responder a una necesidad compartida en el sector: criterios ambientales
- Establecer un marco unificado a nivel nacional
- Proponer una metodología de validación ambiental de los áridos reciclados
- Promover la utilización de los áridos reciclados

ALCANCE

- Áridos reciclados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD):
  - Árido reciclado de Hormigón
  - Árido reciclado Cerámico
  - Árido reciclado Mixto
- Áridos reciclados de Mezclas Bituminosas (MB) o Asfalto Recuperado (RA)



GUÍA AMBIENTAL: Procedimiento de validación del árido reciclado

Metodología para la caracterización ambiental

- Tipos de Usos
- Caracterización ambiental mediante ensayos de lixiviación
  - Ensayos de referencia
  - Ensayos indirectos (o reducidos)
- Determinación de sustancias peligrosas en eluatos y contenido total (técnicas instrumentales)
- Programa de ensayos
- Toma de muestras
- Almacenamiento y entrega



Criterios de evaluación de las características ambientales

- Valores límite de lixiviación de sustancias inorgánicas
  - Percolación y DSLT
  - Volteo
- Valores límite para el contenido total de sustancias orgánicas
- Restricciones de empleo
- Sistema de aseguramiento de la calidad
- Análisis cuantitativo de riesgos
- Criterios para no declarar sustancias no críticas

CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Tipos de Uso del Árido Reciclado

CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

Aplicaciones "Tipo"

Factores que influyen en la capacidad de lixiviación:

- **Uso o no de ligante**
- Existe o no capa superior de cobertura que limite la **infiltración**

Aplicaciones no ligadas

Uso Tipo 1: zahorra y rellenos (explanada, terraplén o localizados).
Capa de cobertura ligada (mezcla bituminosa o material tratado cemento).
Pendiente ≥ 1%

Uso Tipo 2: zahorra y rellenos (explanada, terraplén o localizados).
Capa de cobertura no ligada (árido natural o suelo no contaminado)
Espesor ≥ 30 cm. Pendiente ≥ 5%

Uso Tipo 3: zahorra y rellenos (explanada, terraplén o localizados).
Sin capa de cobertura ni impermeabilización



Aplicaciones ligadas

Uso Tipo 4: Mezcla bituminosa; Hormigón estructural;
Hormigón no estructural y materiales tratados con cemento.



GUÍA AMBIENTAL: Ensayos de Referencia 1/2

Comportamiento a la lixiviación

¿Cuál es el método de ensayo adecuado?

UNE-EN 16637-1

Guía para seleccionar método ensayo de lixiviación

Productos monolíticos



Método lixiviación dinámica superficial (DSLT)

UNE-EN 16637-2

Productos granulares



Método de percolación (columna)

UNE-EN 16637-3

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Ensayos de Referencia 2/2

Comportamiento a la lixiviación

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

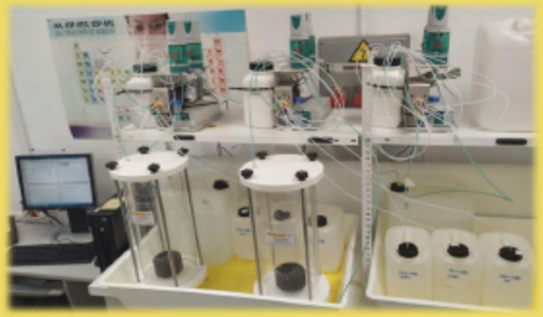
Usos ligados (material monolítico)

UNE-EN 16637-2





TANQUE (DSLT)



Objetivo

Ensayo de caracterización básica para evaluar el comportamiento a la lixiviación del material en usos ligados a largo plazo

Normas

- UNE-EN 16637-2:2024 (prod. de construcción)
- UNE-EN 15863:2015 (residuos)

Condiciones

- 8 fracciones de eluato (L/A = 80 l/m²)
- Duración: 64 días
- Resultado en mg/m2 superficie probeta

Usos no ligados (material granular)

UNE-EN 16637-3





PERCOLACIÓN (COLUMNA)



Objetivo

Ensayo de caracterización básica para evaluar el comportamiento a la lixiviación del material en usos no ligados a largo plazo

Normas

- UNE-EN 16637-3:2024 (prod. de construcción)
- UNE-EN 14405:2017 (residuos)

Condiciones

- 7 fracciones de eluato (L/S = 0,1 a 10 l/kg ms)
- Duración: 15-45 días (según densidad)
- Resultado en mg/Kg materia seca (ms)

GUÍA AMBIENTAL: Ensayos Reducidos y Técnicas Instrumentales

Conformidad de lotes y Análisis de Eluatos

UNE-EN 12457-4



VOLTEO (LOTES) DEPENDENCIA DE PH

Objetivos

Ensayo de conformidad por lotes para controles intermedios

Influencia del pH en la liberación, en condiciones reales de exposición del material

Normas

- UNE-EN 12457-4:203 (volteo)
- UNE-EN 14429:2015 (dependencia pH)

Condiciones

- Relación L/S = 10 l/kg ms
- Duración: 24-48 h
- Resultado en mg/Kg materia seca (ms)

UNE-EN 17197

UNE-EN ISO 10304-1



TÉCNICAS INSTRUMENTALES

Determinación de cationes

Espectroscopía de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) que permite el análisis simultáneo de la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un amplio rango de medida

Determinación de aniones

Cromatografía iónica en fase líquida que utiliza una resina de intercambio aniónico como fase estacionaria y soluciones acuosas de sales de ácidos débiles como eluyentes

Objetivo

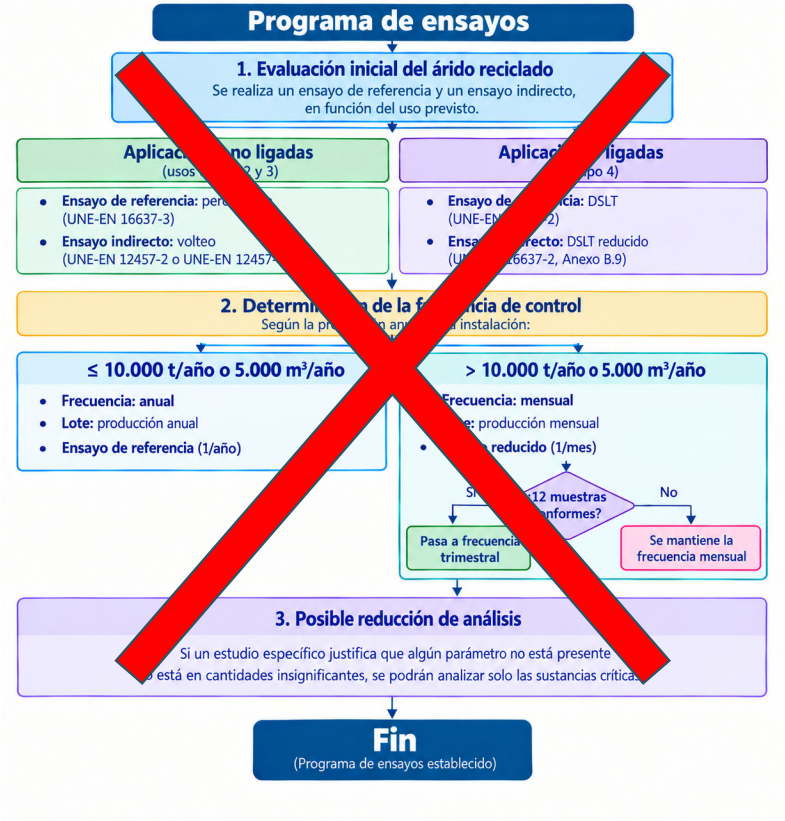
Determinar la composición química inorgánica de las sustancias presentes en los eluatos: metales (cationes) y sales (aniones)

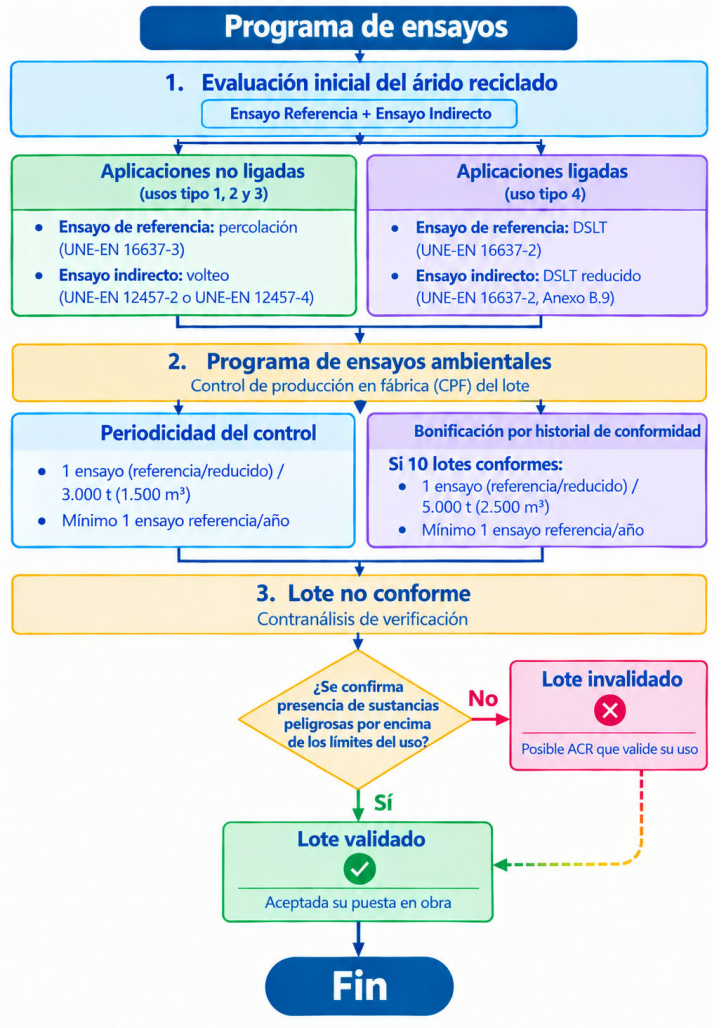
CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Programa de Ensayos

Actualizado a la última versión (v7)





CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Determinación de Sustancias Peligrosas

Actualizado a la última versión (v7)

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

Métodos para RDS Inorgánicas (eluatos)

Sustancia inorgánica peligrosa	Norma	Comité Técnico	Técnica instrumental
Cationes: Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Antimonio (Sb), Selenio (Se) y Zinc (Zn)	UNE-EN 17197 *	Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas en productos de construcción	Espectrometría de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES)
Aniones: Cloruro, Fluoruro y Sulfato	UNE-EN ISO 10304-1	Calidad del agua	Cromatografía iónica en fase líquida (CI)
Sólidos Totales Disueltos (STD)	UNE-EN 15216	Caracterización ambiental de matrices sólidas	Gravimetría

* Será válido igualmente cualquier método analítico descrito en la norma UNE-EN 17195 para el análisis de sustancias inorgánicas en eluatos.

Métodos para RDS Orgánicas (contenido)

Grupos de sustancias orgánicas peligrosas	Norma	Comité Técnico	Técnica instrumental
COT (Carbono orgánico total)	Norma UNE-EN 1484	Calidad del agua	Método de oxidación por combustión del carbono orgánico
BTEX (Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos)	Norma UNE-EN 17844	Evaluación emisión sustancias peligrosas productos de construcción	Método de cromatografía de gases con detección por espectrometría de masas (CG-EM)
PCB (Bifenilos policlorados)	Norma UNE-EN 17322	Matrices sólidas ambientales	Método de cromatografía de gases con detección selectiva de masas (GC-MS) o detección por captura de electrones (GC-ECD)
Aceites minerales / Hidrocarburos totales del petróleo (Contenido de hidrocarburos en rango C10 a C40 y rango C10 a C21)	Norma UNE-EN 14039	Caracterización de residuos	Método de cromatografía de gases con detección por ionización de llama (CG-DIL)
HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos)	Norma UNE-EN 17844	Evaluación emisión sustancias peligrosas productos de construcción	Método de cromatografía de gases con detección por espectrometría de masas (CG-EM)

GUÍA AMBIENTAL: Valores Límite de Sustancias Peligrosas Inorgánicas

Actualizado a la última versión (v7)

CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

Valores límite para RDS Inorgánicas
Ensayo de referencia: percolación y DSLT

Ensayo de lixiviación	Sustancia lixiviada: Percolación en columna. Norma UNE-EN 16637-3. Acumulado relacion L/S=10 l/kg (mg/kg materia seca)			Lixiviacion dinámica superficial. Norma UNE-EN 16637-2. Acumulado a 64 días (mg/m² superficie)
Uso	No ligado			Ligado (Tipo 4)
	Cubierto		No cubierto	
	Tipo 1 (zahorra)	Tipo 2 (relleno)	Tipo 3 (firme y obra tierra)	
As	0,8	0,5	0,5	260
Ba	56	28	22	1500
Cd	0,32	0,16	0,04	3,8
Cr total	4	2	0,63	120
Cu	50	50	0,9	98
Hg	0,08	0,04	0,02	1,4
Mo	5,6	2,8	1,0	144
Ni	1,6	0,8	0,44	81
Pb	0,8	0,5	0,5	400
Sb	0,4	0,2	0,2	8,7
Se	0,5	0,4	0,15	4,8
Zn	50	50	4,5	800
Cloruro	10.000	5.000	616	110.000
Sulfato	10.000	5.000	1.730	165.000
Fluoruro	60	30	18	2.500

Valores límite para RDS Inorgánicas
Ensayo indirecto: volteo

Sustancia lixiviada: Lixiviación por volteo. Normas UNE-EN 12457-2 o UNE-EN 12457-4 (mg/kg materia seca)			
Uso	No ligado		
	Cubierto		No cubierto
	Tipo 1 (zahorra)	Tipo 2 (relleno)	Tipo 3 (firme y obra tierra)
As	0,6	0,6	0,6
Ba	36	25	25
Cd	0,05	0,05	0,05
Cr total	4	2	0,6
Cu	10	5	3
Hg	0,01	0,01	0,01
Mo	5,6	2,8	0,6
Ni	0,5	0,5	0,5
Pb	0,6	0,6	0,6
Sb	0,6	0,3	0,08
Se	0,5	0,4	0,1
Zn	5	5	5
Cloruro *	10.000	5.000	1.000
Sulfato *	10.000	5.000	1.300
Fluoruro	60	30	13
STD	4.000	4.000	4.000

*** Como alternativa a los valores límite de cloruro y sulfato podrá utilizarse el valor de sólidos totales disueltos (STD).**

GUÍA AMBIENTAL: Valores Límite de Sustancias Peligrosas Orgánicas

Actualizado a la última versión (v7)

Parámetro	Contenido máximo (mg/kg materia seca)	
	Áridos de hormigón, cerámico y mixto.	Asfalto recuperado
COT	30.000	-
BTEX	6	-
PCB	1	1
C10-C40	500	-
C10-C21	-	300
HAP	50	50 *

*** En el caso de asfalto recuperado, se admite un valor límite de 500 mg/Kg de materia seca, cuando se empleen técnicas en frío.**

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Restricciones de empleo

Aplicaciones no ligadas

1. **Protección de aguas subterráneas**
   - Distancia mínima vertical de 1 m. a nivel freático.
   - Distancia mínima 100 m. a perímetro de protección de zonas de captación de aguas de consumo humano.

2. **Protección de aguas superficiales**
   - Zonas de Dominio público hidráulico.
   - Zonas protegidas de la Demarcación hidrográfica, zonas húmedas protegidas y de baño.
   - Zonas inundables en periodo de retorno 100 años.

3. **Protección áreas especial protección y sensibilidad ambiental**
   - Parques nacionales y espacios con figura de protección especial contemplada en la normativa para conservación de la naturaleza.

CEDEX
Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Ejemplos de Aplicación

Percolación (usos no ligados)

VALORES LÍMITE LIXIVIACIÓN - GUÍA CEDEX				APLICACIÓN DE LA GUÍA A MUESTRAS ANALIZADAS					
Ensayo de percolación (UNE-EN 16637-3) Relación L/S = 10 l/kg (materia seca)				Ensayo de percolación (UNE-EN 16637-3) Relación L/S = 10 l/kg (materia seca)					
Uso	No ligado Cubierto Tipo 1 (zahorra)	No ligado Cubierto Tipo 2 (relleno)	No ligado No cubierto Tipo 3 (firme/obra tierra)	RCD Mixto (2017)	RCD Mixto (2023)	ANP (2022)	ANCS (2026)	RAP (2022)	RA (2026)
Componente	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)
As	0,8	0,5	0,5	0,056	0,200	0,012	0,005	0,084	0,006
Ba	56	28	22	0,173	0,203	0,014	3,431	0,413	0,678
Cd	0,32	0,16	0,04	0,001	0,008	0,016	0,016	0,014	0,017
Cr	4	2	0,63	0,098	0,148	0,014	0,054	0,005	0,057
Cu	50	50	0,9	0,057	0,067	0,069	0,027	0,045	0,065
Hg	0,08	0,04	0,02	-	0,001	0,001	0,002	-	0,002
Mo	5,6	2,8	1,0	-	0,193	0,026	0,050	0,080	0,060
Ni	1,6	0,8	0,44	0,009	0,074	0,042	0,065	0,058	0,069
Pb	0,8	0,5	0,5	0,058	0,132	0,068	0,156	0,433	0,164
Sb	0,4	0,2	0,16	0,030	0,283	0,015	0,020	0,154	0,008
Se	0,5	0,4	0,15	0,382	0,217	0,005	0,014	0,187	0,015
Zn	50	50	4,5	0,035	0,106	0,050	0,187	0,039	0,203
Cloruro	10.000	5.000	616	72,8	619	10,2	8,38	16,5	32,3
Fluoruro	60	30	18	2,87	2,30	2,45	0,85	0,65	0,86
Sulfato	10.000	5.000	1.730	4.791	4.032	5,36	21,6	62,0	35,4

RCD: residuo de construcción y demolición

ANP: árido natural pórfido

ANCS: árido natural calizo-

RAP: asfalto recuperado

RA: asfalto recuperado

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte

GUÍA AMBIENTAL: Ejemplos de Aplicación

DSLT (usos ligados)

VALORES LÍMITE LIXIVIACIÓN - GUÍA CEDEX		APLICACIÓN DE LA GUÍA A MUESTRAS ANALIZADAS			
Ensayo DSLT (UNE-EN 16637-2) Relación L/A = 80 l/m²		Ensayo DSLT (UNE-EN 16637-2) Relación L/A = 80 l/m²			
Uso	Ligado Tipo 4	RAP-80% (2021)	RA-0% (2026)	RA-30% (2026)	RA-60% (2026)
Componente	mg/m²	mg/m²	mg/m²	mg/m²	mg/m²
As	260	1,7	0,7	0,7	0,7
Ba	1.500	3,1	9,2	12,9	9,4
Cd	3,8	0,61	0,77	0,77	0,77
Cr	120	1,7	8,4	8,4	8,4
Cu	98	2,2	3,1	3,1	3,2
Hg	1,4	0,06	0,11	0,11	0,11
Mo	144	2,2	2,9	2,9	2,9
Ni	81	3,4	4,2	4,2	4,2
Pb	400	3,6	6,9	6,9	6,9
Sb	8,7	1,20	0,63	0,63	0,63
Se	4,8	3,60	0,50	0,50	0,50
Zn	800	5,4	14,2	8,2	3,8
Cloruro	110.000		501	370	470
Fluoruro	2.500		545	208	66
Sulfato	165.000		294	104	555
		RAP: asfalto recuperado		**RA**: asfalto recuperado	

GUÍA AMBIENTAL: Ejemplos de Aplicación

Volteo (usos no ligados)

VALORES LÍMITE LIXIVIACIÓN - GUÍA CEDEX				APLICACIÓN DE LA GUÍA A MUESTRAS ANALIZADAS				
Ensayo de volteo (UNE-EN 12457-2/4) Relación L/S = 10 l/kg (materia seca)				Ensayo de volteo (UNE-EN 12457-2/4) Relación L/S = 10 l/kg (materia seca)				
Uso	No ligado Cubierto Tipo 1 (zahorra)	No ligado Cubierto Tipo 2 (relleno)	No ligado No cubierto Tipo 3 (firme/obra tierra)	RCD Mixto (2017)	ANP (2022)	ANCS (2026)	RAP (2022)	RA (2026)
Componente	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)	mg/kg (ms)
As	0,6	0,6	0,6	0,02	0,14	0,01	0,12	0,01
Ba	36	25	25	0,33	0,04	1,97	0,34	0,66
Cd	0,05	0,05	0,05	0,001	0,016	0,017	0,016	0,017
Cr	4	2	0,6	0,12	0,01	0,06	0,01	0,06
Cu	10	5	3	0,08	0,07	0,03	0,09	0,05
Hg	0,01	0,01	0,01	0,001	0,001	0,003	0,001	0,003
Mo	5,6	2,8	0,6	0,06	0,02	0,05	0,02	0,05
Ni	0,5	0,5	0,5	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07
Pb	0,6	0,6	0,6	0,001	0,068	0,165	0,068	0,165
Sb	0,6	0,3	0,08	0,015	0,002	0,005	0,002	0,005
Se	0,5	0,4	0,1	0,01	0,13	0,02	0,13	0,02
Zn	5	5	5	0,06	0,05	0,20	0,05	0,20
Cloruro	10.000	5.000	1.000	474	5	5	13	18
Fluoruro	60	30	13	-	1,0	1,2	0,3	0,8
Sulfato	10.000	5.000	1.300	8.749	7	109	69	61

RCD: residuo de construcción y demolición

ANP: árido natural pórfido

ANCS: árido natural calizo-

RAP: asfalto recuperado

RA: asfalto recuperado

CEDEX

Centro de Estudios del Transporte



Coordinadores del Grupo de Trabajo

Julio.Termenon@cedex.es (+34 91 335 78 23)

David.Ramos@cedex.es (+34 91 335 78 69)

Guía Ambiental Áridos Reciclados

Laboratorio de Lixiviación

Centro de Estudios del Transporte

Autovía de Colmenar Viejo, km. 18,2

28760 El Goloso (Madrid)

www.cedex.es

CEDEX_es CEDEX

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE · VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS