

Laboratorio de
Geotecnia

SEMINARIO SOBRE GEOTECNIA FERROVIARIA

CEDEX

Técnicas de medida de la degradación del balasto

María SANTANA RUIZ DE ARBULO



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

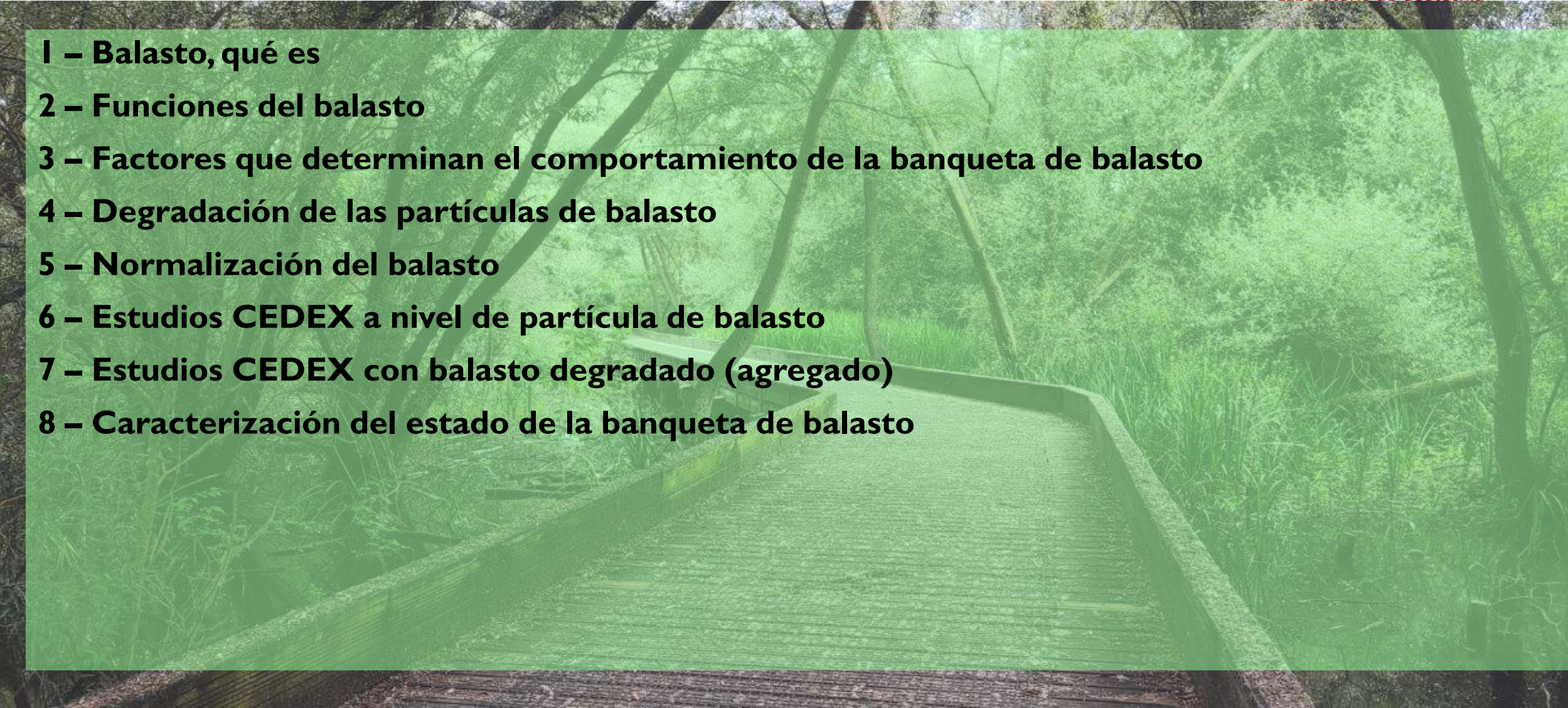
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



AGENDA
2030

ÍNDICE

- 
- A photograph of a concrete drainage channel or culvert installed in a wooded area. The channel is made of precast concrete slabs and is surrounded by dense green vegetation and trees. The image is overlaid with a semi-transparent green rectangle containing the table of contents.
- 1 – Balasto, qué es**
 - 2 – Funciones del balasto**
 - 3 – Factores que determinan el comportamiento de la banqueta de balasto**
 - 4 – Degradación de las partículas de balasto**
 - 5 – Normalización del balasto**
 - 6 – Estudios CEDEX a nivel de partícula de balasto**
 - 7 – Estudios CEDEX con balasto degradado (agregado)**
 - 8 – Caracterización del estado de la banqueta de balasto**

1. BALASTO – QUÉ ES

balasto

Del ingl. *ballast* 'lastre¹'.

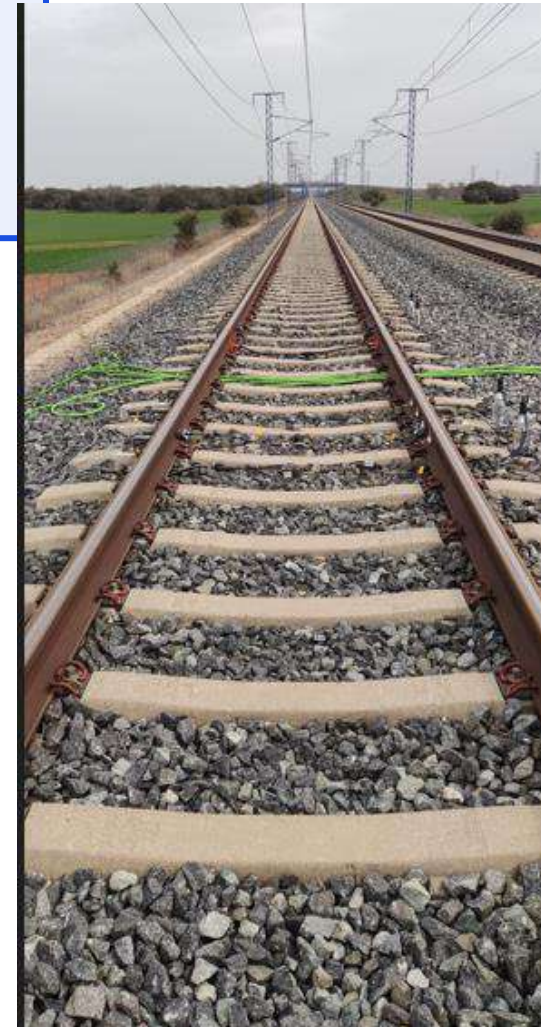
Artículo

Sinónimos o afines

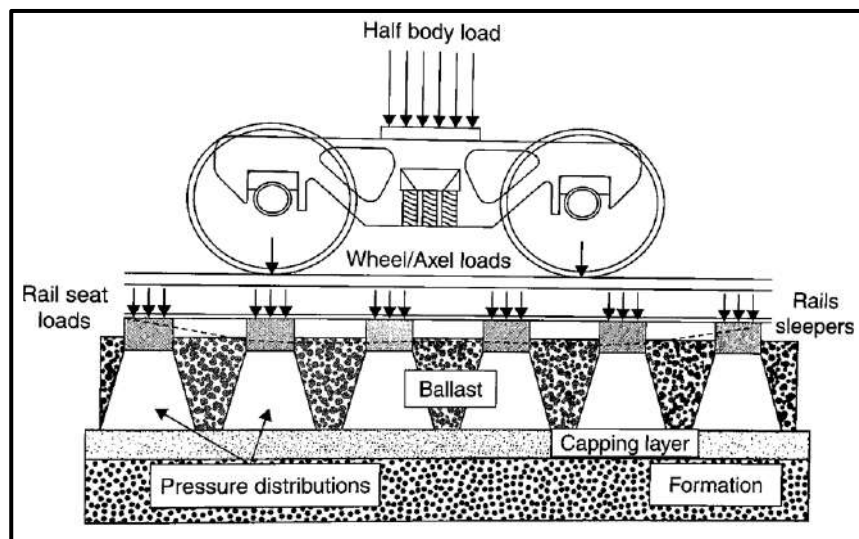
1. m. Capa de grava o de piedra machacada, que se tiende sobre la plataforma de las vías férreas para asentar y sujetar sobre ella las traviesas, o sobre la explanación de las carreteras para colocar encima el pavimento.

SIN.: balastro, grava, guijo, cascajo, casquijo.

 Diccionario de la lengua española

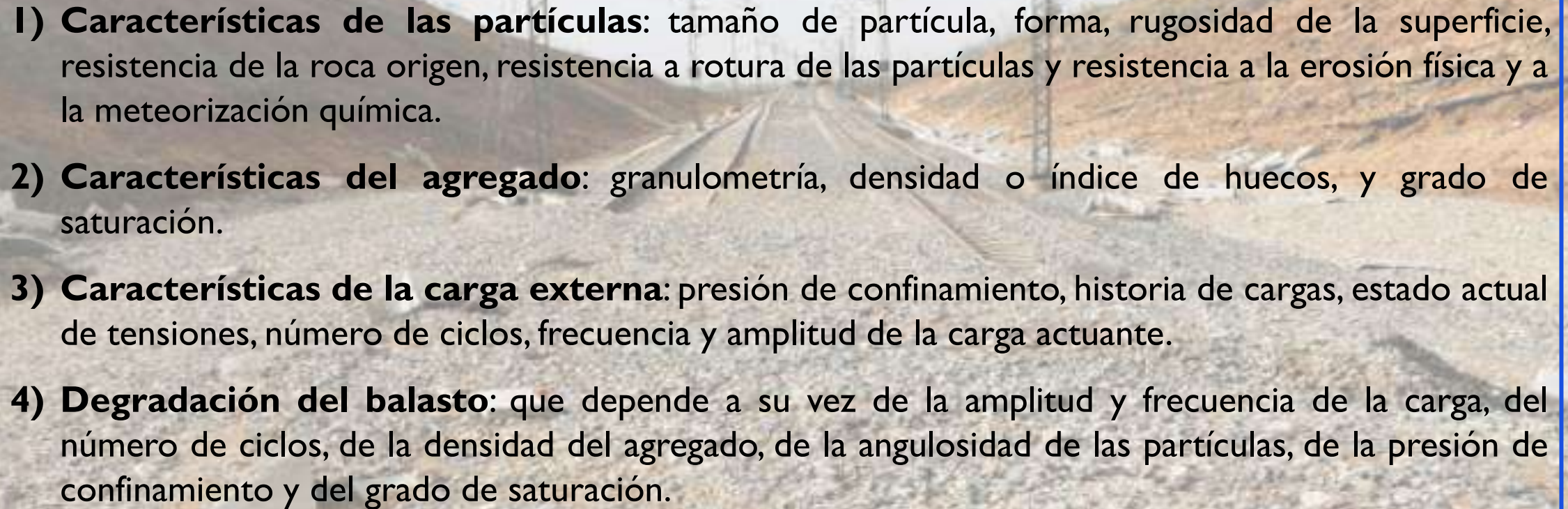


2. FUNCIONES DEL BALASTO



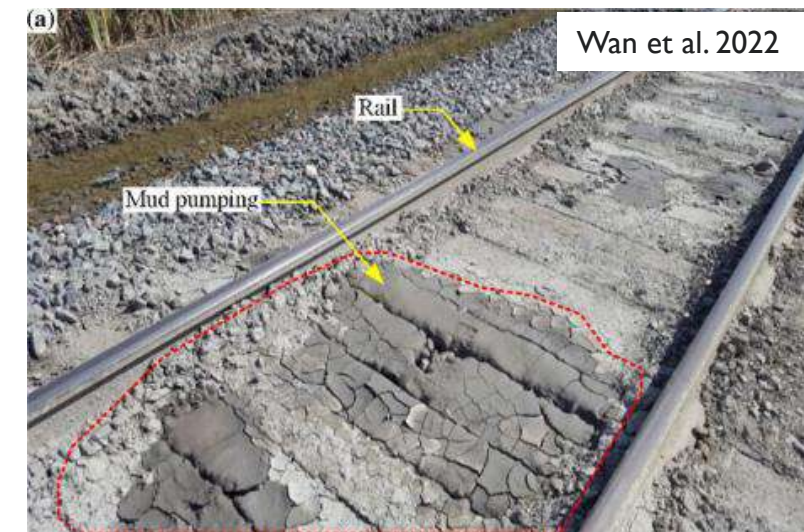
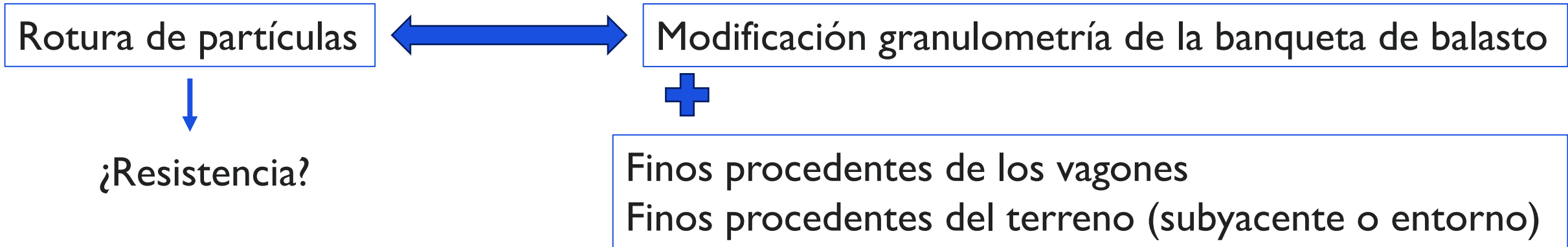
Función	Propiedad
Proporcionar rigidez a la vía frente a las fuerzas horizontales, verticales y longitudinales producidas por el paso de trenes	Resistencia al corte
Permitir libre drenaje del agua de lluvia	Permeabilidad
Disipar cargas dinámicas	Amortiguamiento
Permitir mantenimiento de alineación y nivelación de la vía	Compactación
Disponer de suficiente porosidad para almacenar material fino	Uniformidad granulométrica

3. FACTORES QUE DETERMINAN EL COMPORTAMIENTO DE LA BANQUETA DE BALASTO

- 
- 1) **Características de las partículas:** tamaño de partícula, forma, rugosidad de la superficie, resistencia de la roca origen, resistencia a rotura de las partículas y resistencia a la erosión física y a la meteorización química.
 - 2) **Características del agregado:** granulometría, densidad o índice de huecos, y grado de saturación.
 - 3) **Características de la carga externa:** presión de confinamiento, historia de cargas, estado actual de tensiones, número de ciclos, frecuencia y amplitud de la carga actuante.
 - 4) **Degradación del balasto:** que depende a su vez de la amplitud y frecuencia de la carga, del número de ciclos, de la densidad del agregado, de la angulosidad de las partículas, de la presión de confinamiento y del grado de saturación.

4. DEGRADACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE BALASTO

El balasto se degrada por la acción de fuerzas cíclicas procedente del paso de trenes.
Los efectos más relevantes de la degradación son:



5. NORMALIZACIÓN DEL BALASTO

norma española		UNE-EN 13450
		Diciembre 2003
TÍTULO	Áridos para balasto	



ÍNDICE		Página
ANTECEDENTES		5
1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	6
2	NORMAS PARA CONSULTA.....	6
3	TÉRMINOS Y DEFINICIONES	7
4	MUESTREO.....	7
5	PRODUCCIÓN	7
6	REQUISITOS GEOMÉTRICOS	8
7	REQUISITOS FÍSICOS	10
8	COMPONENTES NOCIVOS	12
9	EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	12
10	DENOMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN	13
11	IDENTIFICACIÓN Y ETIQUETADO.....	13

MINISTERIO DE FOMENTO	
7735	ORDEN FOM/1269/2006, de 17 de abril, por la que se aprueban los Capítulos: 6.-Balasto y 7.-Subbalasto del pliego de prescripciones técnicas generales de materiales ferroviarios (PF).

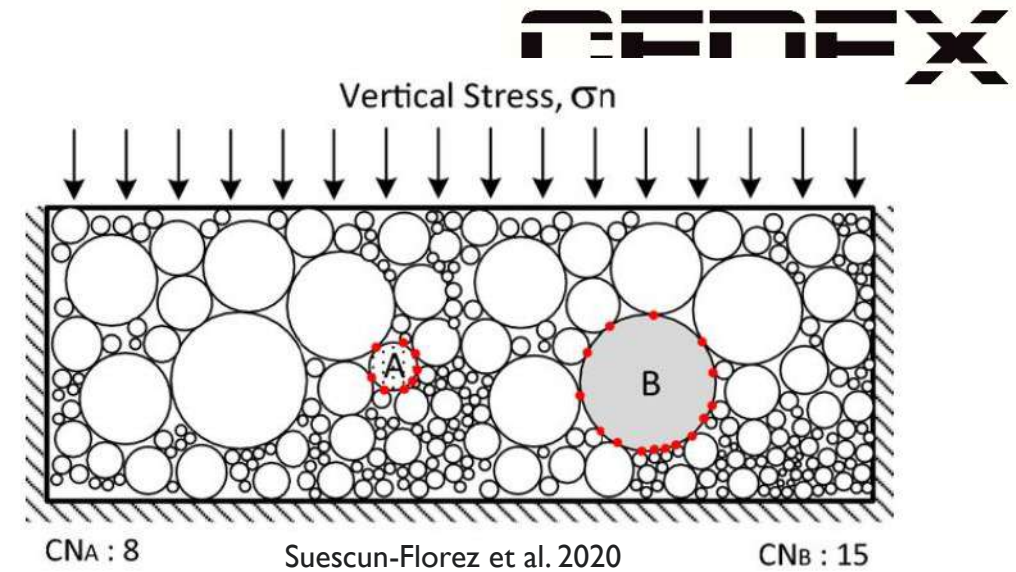
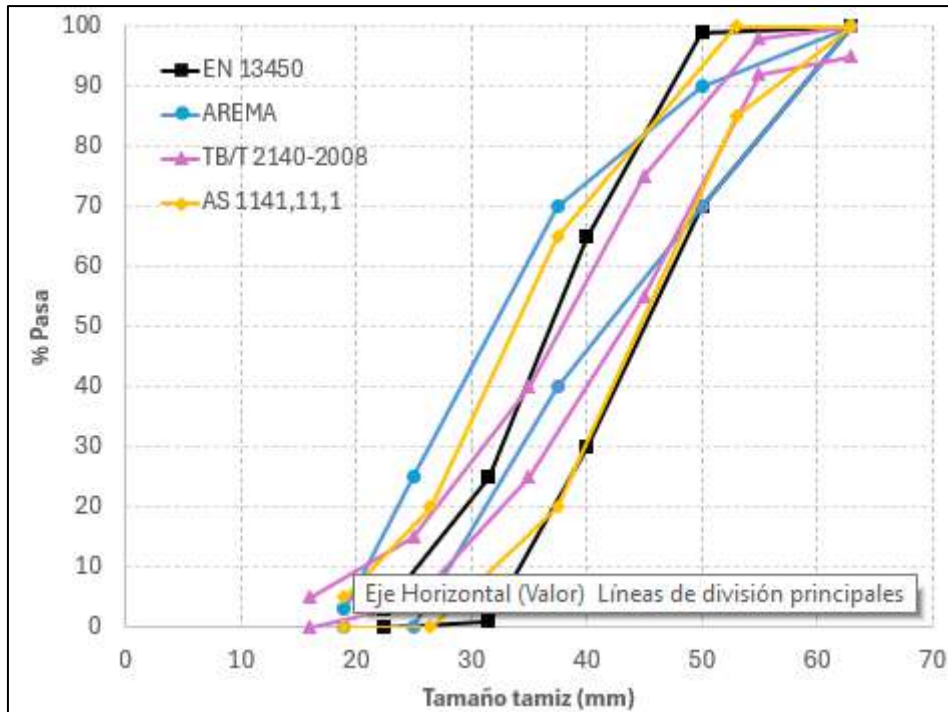


Delimita valores en los ensayos para garantizar buen funcionamiento

5. NORMALIZACIÓN DEL BALASTO - GRANULOMETRÍA

Relevancia de la granulometría:

- Deformación
 - Resistencia
 - Módulo elástico
 - Drenaje
- } Número de contactos entre partículas



$C_u (D_{60}/D_{10})$: 1,5 – 3 (2) → Rotura disminuye al aumentar el C_u

PSD: Uniforme (estrecha) vs Graduada (ancha)

Graduada: ↑ Resistencia

↓ Deformación

↓ Capacidad de carga si hay humedad

} Debido a:
Menos porosidad
Más compactable
Menos mov. partículas

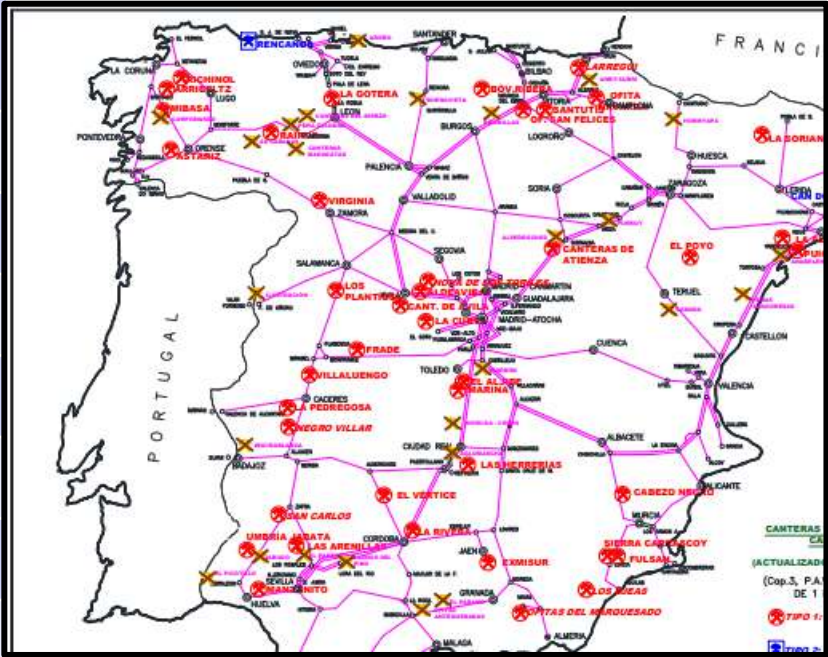
Uniforme: La mayor desventaja es la rotura de partículas por menor n° coordinación \Rightarrow concentración de tensiones

Los estudios impulsan a granulometrías más graduadas; Administradores Ferroviarios son conservadores

MINISTERIO DE FOMENTO

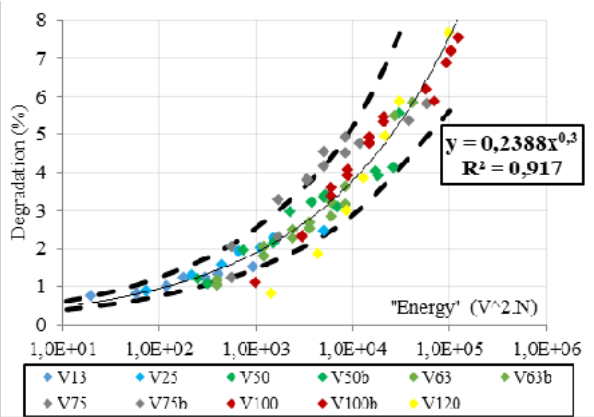
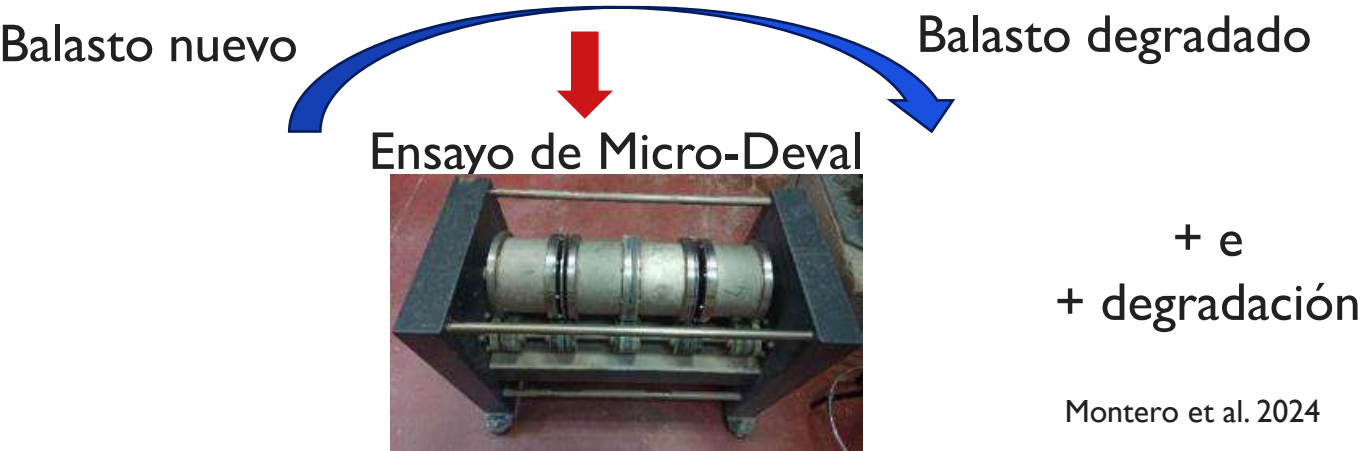
7735 *ORDEN FOM/1269/2006, de 17 de abril, por la que se aprueban los Capítulos: 6.-Balasto y 7.-Subbalasto del pliego de prescripciones técnicas generales de materiales ferroviarios (PF).*

Ensayo	Norma	Valores
Origen geológico	--	Silíceo (ígneo/metamórfico). No caliza/dolomía
Granulometría	EN 933-1	63-22,4 mm #0,5<1%, #0,063≤0,7%
Índice de forma	EN 933-4	No cúbicas ≤10%
Longitud máxima		>100 mm, ≤4%
Desgaste Los Ángeles	EN 1097-2	≤14%
Absorción	EN 1097-1	<0,5%
Sulfato magnésico	EN 1367-2	≤4%
Sonnenbrand	EN 1367-3	≤5%



6. ESTUDIOS CEDEX A NIVEL DE PARTÍCULA de balasto

Estudio de la influencia de la degradación de las partículas de balasto frente a resistencia y a morfología



Montero et al. 2024

Figure 5. Degradation as a function of applied cycles and rotational speed.

6. ESTUDIOS CEDEX A NIVEL DE PARTÍCULA de balasto

Morfometría de partícula

Maroof et al. 2019

Esfericidad

Dimension	Particle shape description	Relation	Particle shape definition/description
	Elongation ratio, [19,20]	$\frac{S}{I}$	
	Flatness ratio, [19,20]	$\frac{I}{L}$	
	Flat and elongation ratio, [21]	$\frac{S}{L}$	
	Flatness index, [10]	$\frac{I+L}{2S}$	
	True sphericity, [22-24]	$w_s = \frac{S_p}{S_p} = \frac{3\sqrt{36\pi r_p^2}}{S_p}$	S_p : Surface of a sphere with same volume as particle S_p and V_p : Particle surface and volume, respectively
	Sphericity, [23]	$w_s = \sqrt[3]{\frac{V_p}{V_c}}$	V_p : Particle volume V_c : Circumscribed sphere volume
3D	Intercept sphericity, [11]	$\sqrt[3]{\frac{2S}{L}}$	
	Corey shape factor, [25]	$\frac{S}{\sqrt{LI}}$	Equating the particle with medium (I) and sphericity (S)
	Maximum projection sphericity, [9]	$\sqrt[3]{\frac{S^2}{LI}}$	
	Working sphericity, [26]	$12.8\sqrt[3]{P^2q}$	

Redondez

Dimension	Particle shape description	Relation	Particle shape definition/description
	3D roundness, [33]	$R = \frac{\sum g(k) k_{max} ^{-1}}{NR_{ins}}$	$g(k)$: Potential 'corner' at a given vertex on the surface, $ k_{max} ^{-1} = r_{min}$: Curvature radius, R_{ins} : Radius of the maximum inscribed sphere
3D	3D roundness, [13]	$R_{3D} = \frac{r^{3D}}{NR_{ins}}$	r^{3D} : The radius of the infilling sphere obtained from the sphere-filling algorithm, N: Number of filling spheres, R_{ins} : Maximum inscribed sphere radius
	Roundness	$\frac{r}{R} = \frac{2\eta}{D}$	η : Radius of circle fitting sharpest corner, $D = 2R = \sqrt[3]{L \times I \times S}$: mean diameter of particle
		$P = \frac{\sum \left(\frac{r}{R}\right)}{N}, P = \frac{N}{\sum \left(\frac{r}{R}\right)}$	r : Radius of the corners, R : Radius of biggest inscribed circle, N: Number of corners (or small circle)
		$\sum [180 - \alpha] x$	α : bounding edge angle, x : Distance of the

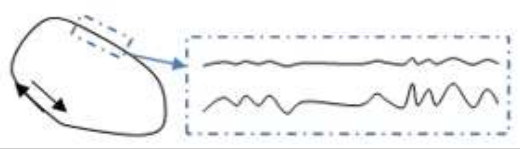
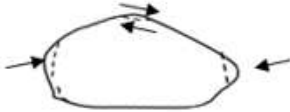
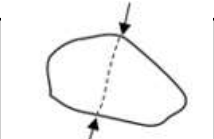
Rugosidad

Dimension	Particle shape description	Relation	definition
3D	Surface texture index, [45]	$STI_{3D} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100$	V_1 : Volume of the 3D images, in voxel; and V_2 : Volume of the 3D images after an opening operation, in voxel
	Roughness fractal dimension, [41]	$D_R = \frac{2}{m}$	m: Slope coefficient of logarithm relationship between particle area (A_p) and perimeter (P_p)
	Roughness, [46]	$R_0 = \frac{P}{\pi * D_{ave}}$	P: Particle perimeter, D_{ave} : Average diameter of the two orthogonal planes
2D	Roughness, [31]	$\frac{P_p}{P_{conv}}$	P_p : Particle perimeter, P_{conv} : Convex hull perimeter
	Surface parameter, [36]	$SP = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$	A_1 and A_2 : Areas of objects on an image before and after the erosion-dilation cycles, respectively
	Sphericity (first and		



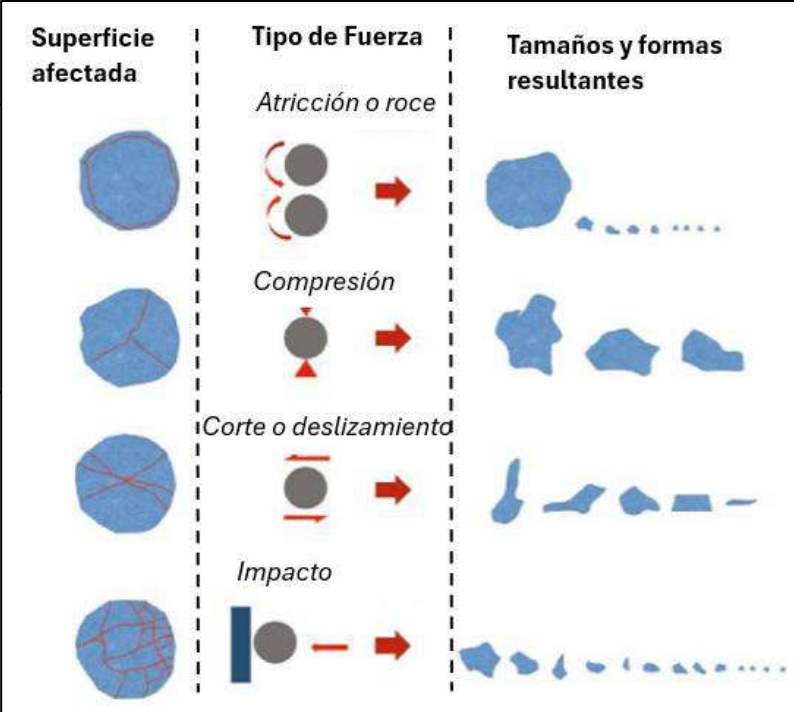
6. ESTUDIOS CEDEX A NIVEL DE PARTÍCULA de balasto

Morfometría - Mecanismos de degradación

Mecanismo	Esquema	Resultados	Tipo de tensión
Abrasión¹ “Abrasion/polishing”		-Pérdida de microrrugosidad -Producción de finos	Fuerzas de rozamiento entre partículas Tensiones tangenciales
Rotura de vértices y aristas² “Rounding/chipping”		- Redondeamiento, - Cambios de forma, - Cambios en la granulometría, - Producción de finos.	Fuerzas de rozamiento Fuerzas puntuales.
Rotura de partículas³ “Fragmentation”		Cambios en la forma, Cambios en la granulometría.	Fuerzas puntuales elevadas

Definiciones:

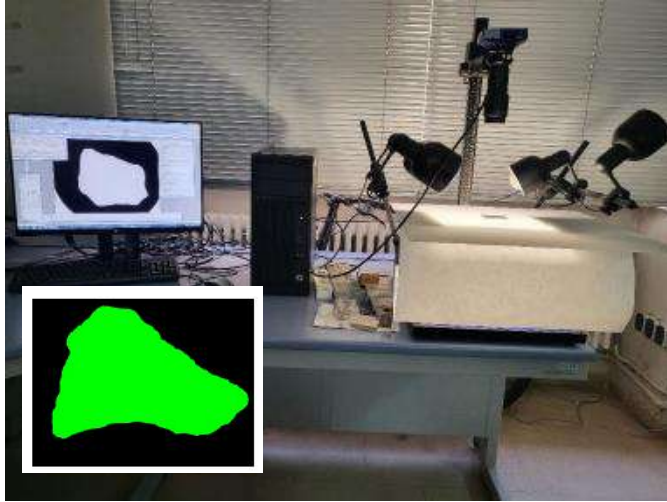
- ¹**Abrasión:** Pérdida de microrrugosidad o suavizado de asperezas por rozamiento entre partículas.
- ²**Rotura de vértices y aristas:** Pérdida de la macro rugosidad de la partícula por rotura de vértices y aristas, es decir, por eliminación de los salientes más pronunciados.
- ³**Rotura de partículas:** disgregación de la partícula en dos o más fragmentos de varios tamaños



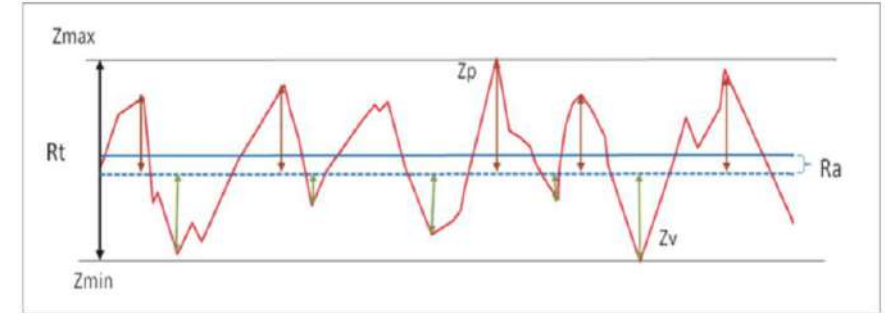
6. ESTUDIOS CEDEX A NIVEL DE PARTÍCULA de balasto

Estudios morfológicos balasto - CEDEX

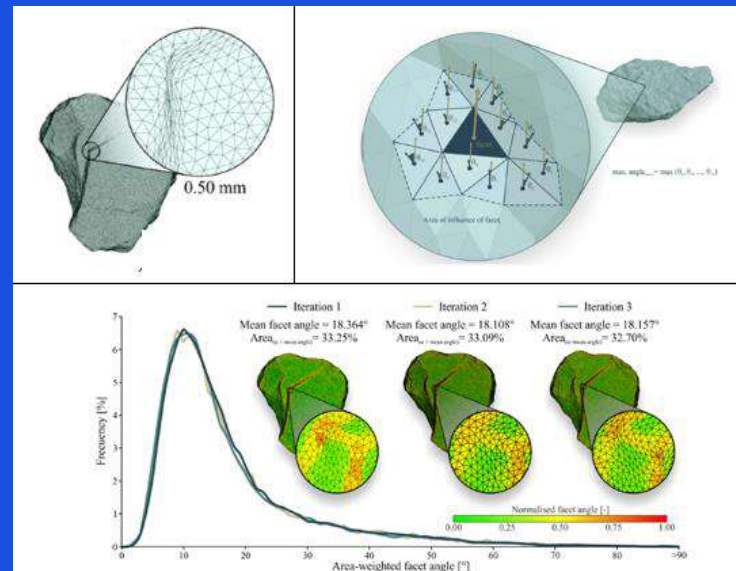
1-Fotografia



2-Rugosímetro óptico



3-Escáner 3D



Advanced approach for assessing the degradation of railway ballast particles through detailed 3D scanning

C. Paz^{a,*,1}, E. Suárez^{a,2}, J. Vence^{a,3}, J. Parada-Rodríguez^{a,4}, N. Montero-Cubillo^{a,5}, J. Estaire^{a,6}

6. ESTUDIOS CEDEX A NIVEL DE PARTÍCULA de balasto

Resistencia de partículas - PLT



UNE 22950-5:1996

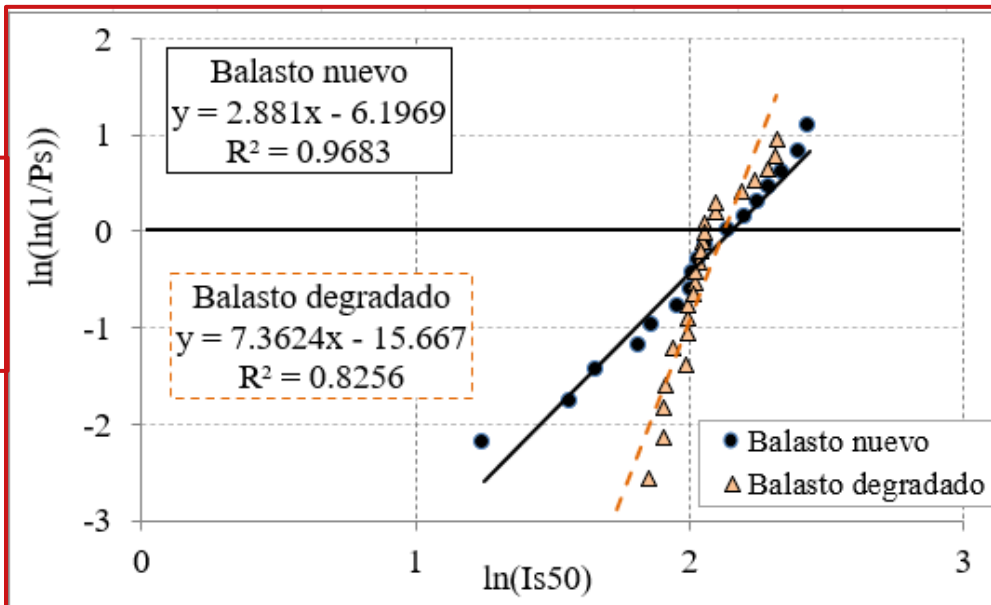
Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 5: Resistencia a carga puntual.

Balasto nuevo



Vs

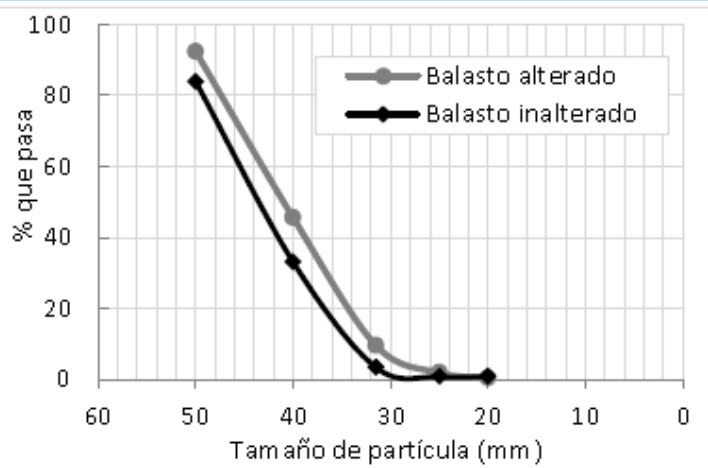
Balasto degradado



7. ESTUDIOS CEDEX CON BALASTO DEGRADADO (agregado)

Ensayos de resistencia: **Balasto nuevo** vs **Balasto degradado**

Granulometría



Triaxial 9"



Balasto	c (kPa)	Fi (°)
Nuevo	0	55,1
Degradado	0	51,6

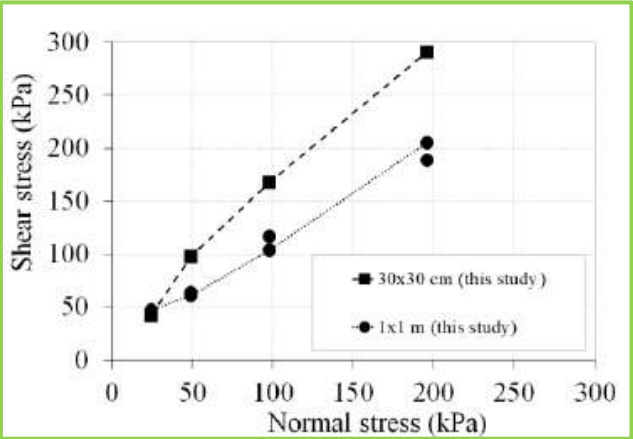
Caja 30x30 cm



Balasto	c (kPa)	Fi (°)
Nuevo	0	62,4
Degradado	0	62,0

Efecto escala

Disminución del ángulo de rozamiento



8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

a) Antecedentes

2023/24 – Procedimientos para la determinación del estado de la
banqueta de balasto

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

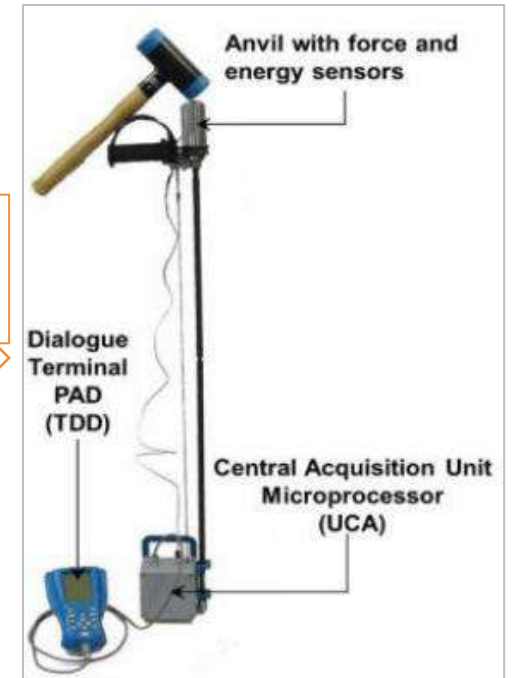


Ensayo de penetración dinámica
de energía variable (Panda)

Coefficientes de degradación del balasto = D1, D2, D3, D4, D5 y D6

¿Estado de
compacidad

?



FA107025

ISSN 0335-3931

normalisation
française

XP P 94-105

Mayo de 2000

Índice de clasificación: P 94-105

ICS: 93.020

Suelos: Reconocimiento y pruebas

Control de calidad de compactación

Método del penetrómetro dinámico de energía variable —
Principio y método de calibrado del penetrómetro —
Evaluación de resultados — Interpretación

CAMPO

¿ESTADO DE LA
BANQUETA DE
BALASTO?

LABORATORIO

CAJÓN
FERROVIARIO

SASW, MASW, georradar, Panda, aceleración en
partículas de balasto (APB):

- Estado de compactación de la capa de balasto
- Existencia y profundidad del nivel de
contaminación

D1-Geofísica

D2-Panda

D3-APB

D1-Geofísica

D2-Panda

D3-APB

D2-Panda

D3-APB

D4-Morfología partículas

Parámetros nuevos (CINTECX)

D5-Geotecnia

Granulometría:

% finos y graduación

Resistencia al corte:

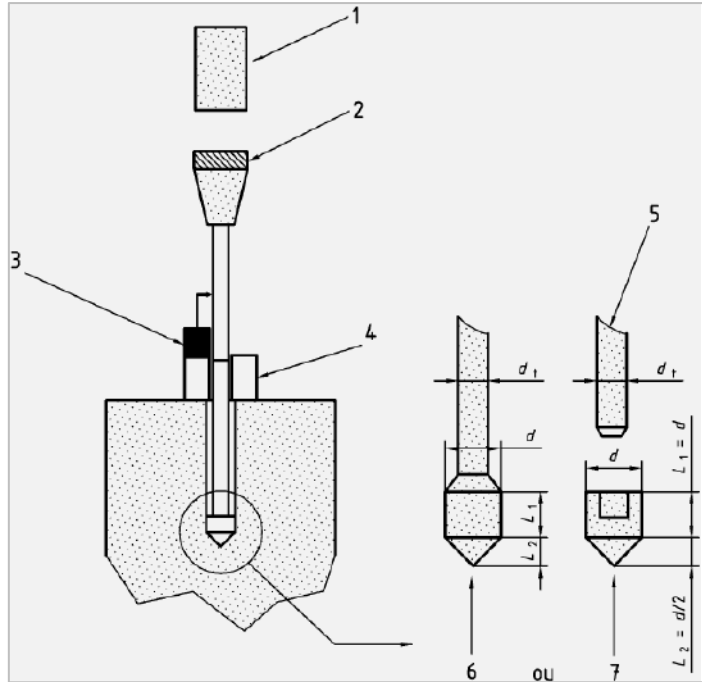
TRX y CD

D6-Petrografía

8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

b) Ensayo de penetración dinámica de energía variable: Panda

Partes del equipo



- | | |
|---|------------------------|
| 1 Dispositivo de hincamiento (martillo) | 4 Guía de las varillas |
| 2 Dispositivo de medición de la energía proporcionada en cada impacto | 5 Varilla porta-punta |
| 3 Dispositivo de medición: | 6 Punta fija |
| — hundimiento de la punta con cada golpe | 7 Punta perdida |
| — profundidad alcanzada por la punta | |

Resultados del ensayo

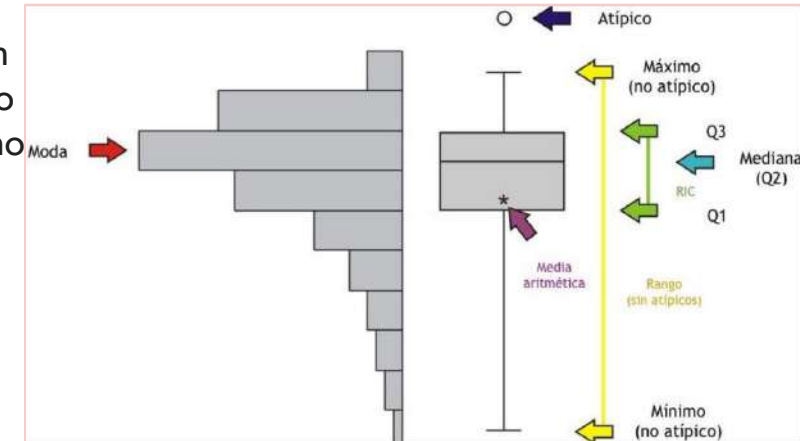
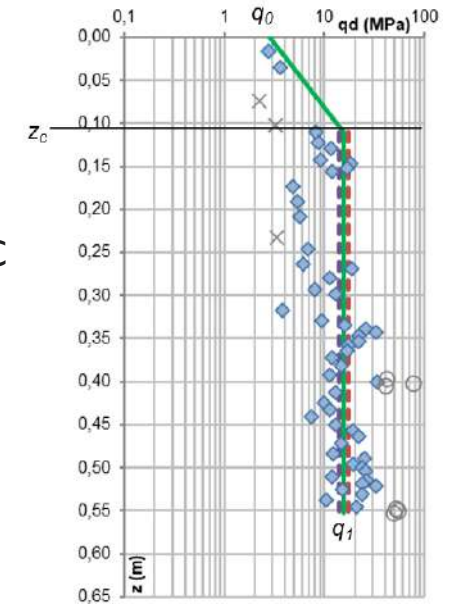
Procedimiento propio (LG-CEDEX):

Eliminar:

- Atípicos: valores inferiores a $Q_1 - 1.5 \cdot \text{RIC}$
o valores superiores a $Q_3 + 1.5 \cdot \text{RIC}$
- Singulares: valores superiores a $Q_1 + 3 \cdot \text{RIC}$.

Calcular:

- Media (q_1) y mediana
- Intervalo de confianza del 95 %
(respecto a la media calculada),
- Valores máximos y mínimos,
- Desviación estándar,
- Coeficiente de variación
(COV típico balasto y $< 0,3$ en suelos fino



8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

c) Ensayos realizados

Calibración. Anexo C norma NF P 94-105

Tabla 2.1: Resumen de ensayos Panda realizados en balasto por LG-CEDEX

Localización	Caso - Denominación	N	Observaciones
Laboratorio	A – Molde cilíndrico	3	Vertido
		2	Compactado en capas de 10 kg
		1	Compactado en capas de 40 kg
	B –Molde paralelepípedo	6	Vertido
		3	Compactado en capas de 30 kg
Vía real	C – Alhama de Aragón	4	Capa de balasto entre 1 y 1.7 m de espesor
	D – Brihuega	4	Capa de balasto de 50 cm de espesor
CFC (Cajón Ferroviario CEDEX)	E – Haramain 2015	2	Sección de balasto contaminado con arena
	F - junio 2019	5	Sección LAV. Tras primer bateo
	G - julio 2020	5	Sección LAV. Sin actuaciones en el balasto
	H - febrero 2021	6	Sección LAV. Estabilización (500.000 Tn)
	I - julio 2021	9	Sección LAV. Ensayos dinámicos (1.560.000 Tn)
	J - octubre 2021	5	Sección LAV. Ensayos dinámicos (1.560.000 Tn)

Notas: Todos los ensayos se llevan a cabo en balasto procedente de un gneis, excepto el Caso E, en el que se ensaya un balasto procedente de una andesita.
N: número de ensayos.

Total: 55
ensayos

Modelo de una vía ferroviaria, a escala 1:1



D/d=25

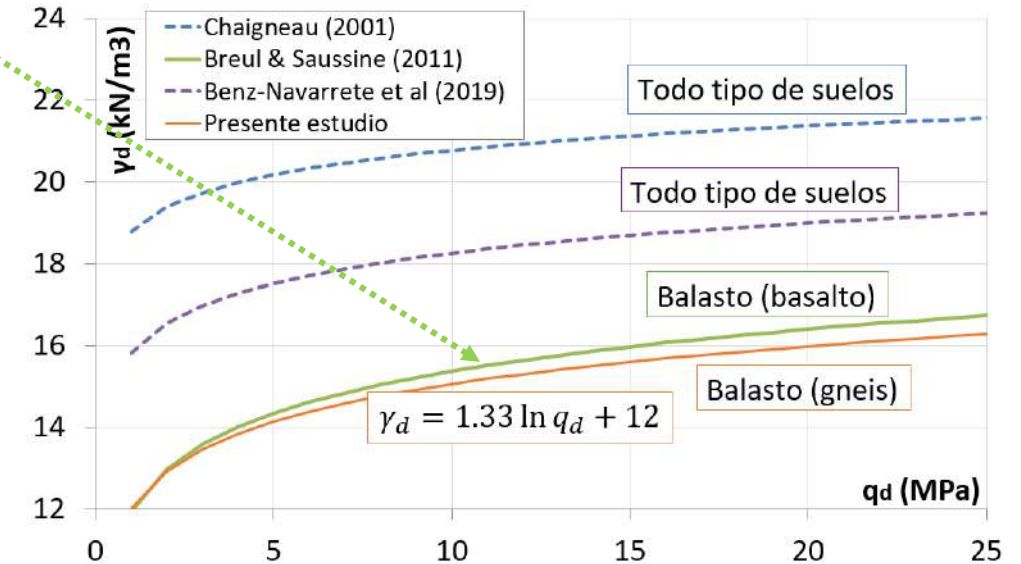
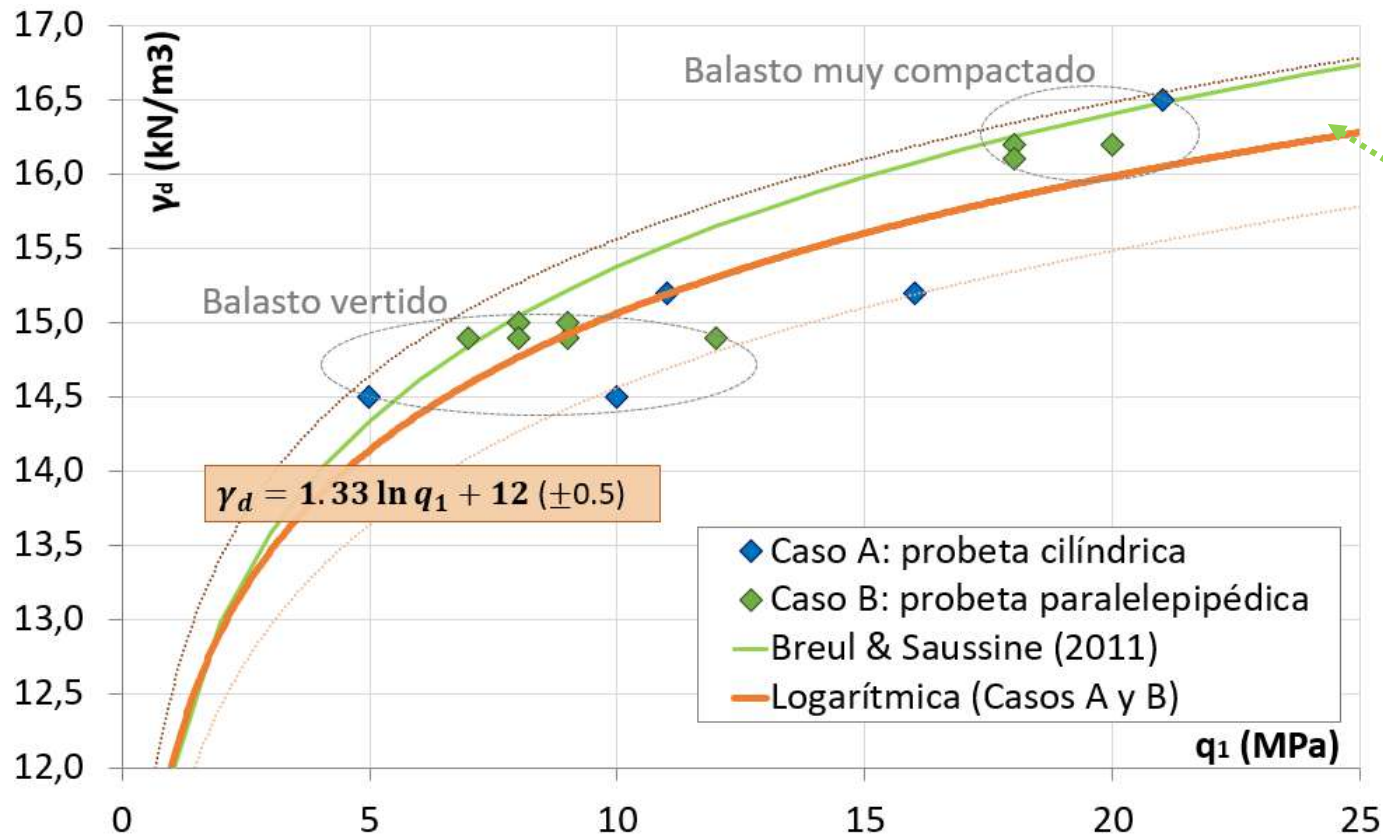
D/d=48

Diámetro molde/diámetro punta
(recomendado > 30)



8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

d) Ensayos realizados - Laboratorio



- Diferencia entre balasto **vertido** vs balasto **compactado** $\longrightarrow q_d$ es dependiente del peso específico
- Resultados de este estudio **coincidentes con Breul & Saussine (2011)**.
- Entre una muestra directamente **vertida** y una **muy compactada** la **resistencia por punta se duplica**.

5-12 Mpa – 18-21 Mpa

Correlación resistencia por punta y peso específico

$$\gamma_d = 1.33 \ln(q_1) + 12$$

8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

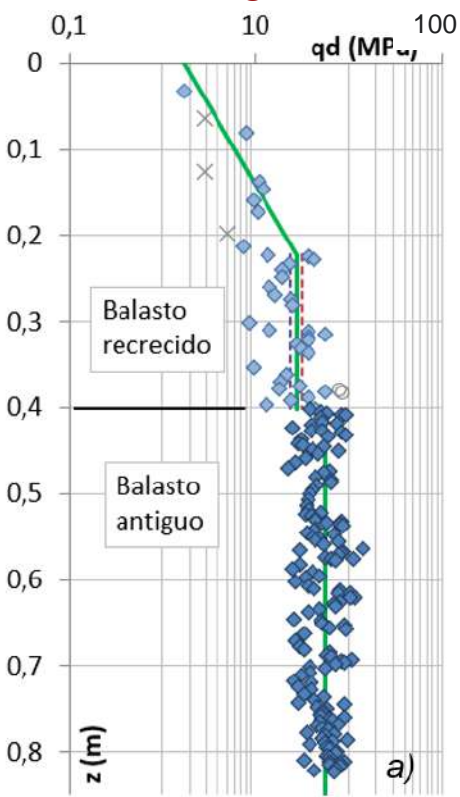
e) Ensayos realizados – Vía real

Tabla 3.1: Resultados de campañas de ensayos Panda en balasto en vías reales según diferentes autores

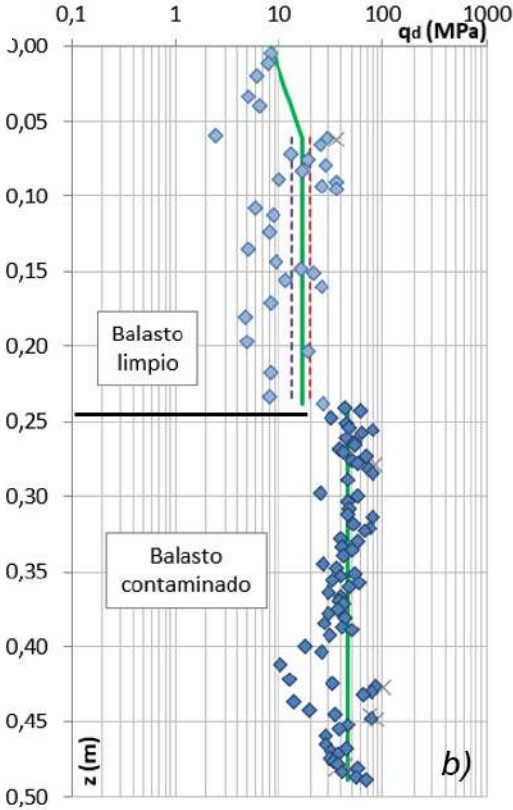
Referencia	Localización	Resistencia dinámica por punta (MPa)		Estado del balasto (ubicación)	Observaciones
[13]	Francia	q _{d,medio}	15	Limpio	31 ensayos
		q _{d,medio}	38	Contaminado	
[12]	Francia	q _{d,medio}	26	45 cm balasto limpio, unos 9 cm balasto contaminado con finos de 2mm	Velocidad servicio: 200-220 km/h; <10 años en uso, vía convencional
[1]	Francia	q _{d,50%datos}	12-32	Limpio	19.000 ensayos
		q _{d,medio}	20		
		q _{d,50%datos}	16-42	Contaminado (en el eje de vía)	
		q _{d,medio}	26		
		q _{d,50%datos}	24-51	Contaminado (bajo el carril)	
		q _{d,medio}	35		
LG-CEDEX	España	q ₁	23-25	Limpio	8 ensayos
		q ₁	40-45	Contaminado	

- Existe diferencia entre capas de balasto **nuevo-limpio**, **contaminado-antiguo**
- Balasto **nuevo o limpio**, q_d=20-25 MPa
- Balasto **antiguo o contaminado**, q_d= 40-45 MPa

Alhama de Aragón
40 cm nuevo + 130 cm original

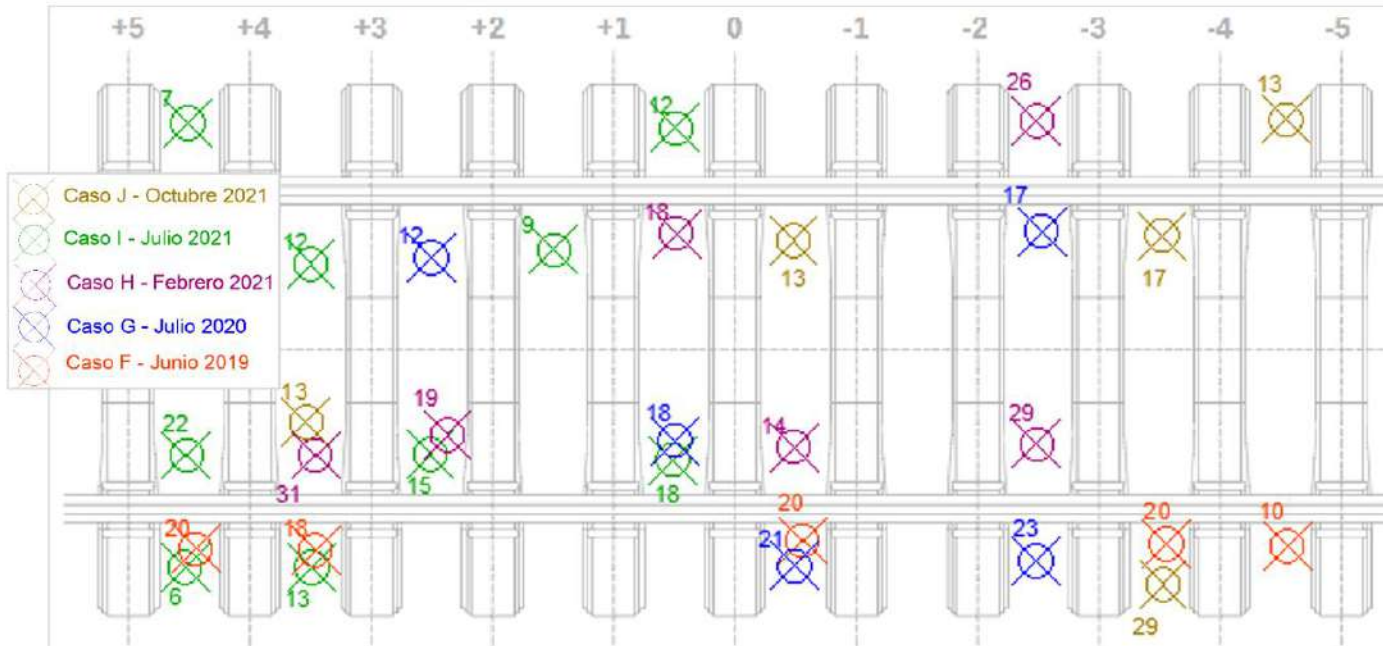


Brihuega
50 cm original



8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

f) Ensayos realizados – Cajón Ferroviario del CEDEX (2019-2021)



- El valor medio obtenido de todos los ensayos es 17 MPa ➡ Es inferior a la media (20-25 MPa) de vía real
- En CFC no podemos batear igual que en vía
- En los extremos de la sección se tienen valores qd más bajos ➡ Más difícil compactar
- Ensayos de balasto contaminado con arena: 50%-100% fouling ➡ 31-37 MPa
- Tras detectar movimientos verticales de traviesas ➡ <15MPa

8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

g) Resumen de resultados

Tabla 3.2: Resultados medios de q₁ de los ensayos Panda, en laboratorio, en vías reales y en el CFC

Localización	Caso - Denominación	N	q ₁ (MPa)	γ _d (kN/m³)	Observaciones
Laboratorio	A – Molde cilíndrico	3	8	14.5	Vertido
		2	13	15.2	Compactado en capas de 10 kg
		1	21	16.5	Compactado en capas de 40 kg
	B – Molde paralelepípedo	6	9	14.9	Vertido
		3	19	16.2	Compactado en capas de 30 kg
Vía real	C – Alhama de Aragón	4	25	16.3 ^a (15.8-16.8) ^b	Capa de balasto entre 1 y 1.7 m de espesor
	D – Brihuega	4	23	16.2 ^a (15.7-16.7) ^b	Capa de balasto de 50 cm de espesor
CFC (Cajón Ferroviario CEDEX)	F - junio 2019	5	18	15.8 ^a (15.4-16.3) ^b	Sección LAV. Tras primer bateo
	G - julio 2020	5	18	15.8 ^a (15.4-16.3) ^b	Sección LAV. Sin actuaciones en el balasto
	H - febrero 2021	6	23	16.2 ^a (15.7-16.7) ^b	Sección LAV. Estabilización (500.000 Tn)
	I - julio 2021	9	13	15.4 ^a (15.0-15.9) ^b	Sección LAV. Ensayos dinámicos (1.560.000 Tn)
	J - octubre 2021	5	17	15.8 ^a (15.3-16.3) ^b	Sección LAV. Ensayos dinámicos (1.560.000 Tn)

Notas:

N: número de ensayos

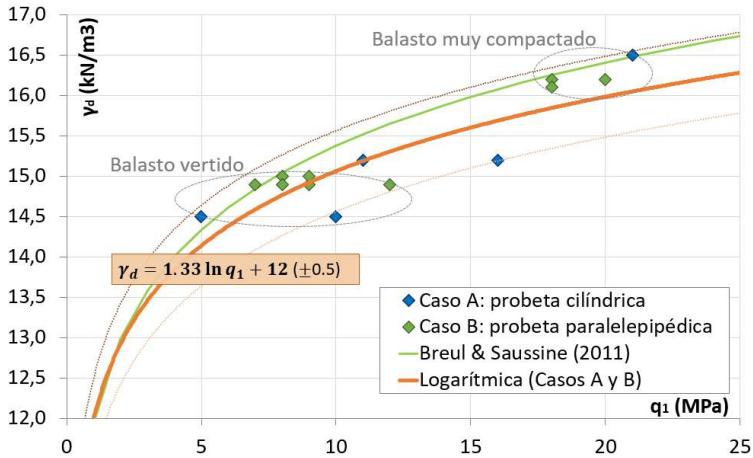
^axx.x: valor central obtenido de la ecuación de ajuste principal (Ecuación 1 y Figura 3.1a.)

^b(yy.y-zz.z): intervalo de valores obtenido del rango de la ecuación de ajuste principal [± 0.5] (Figura 3.1a)

Valores medidos en laboratorio

Valores calculados con la regresión

$$\gamma_d = 1.33 \ln q_1 + 12 (\pm 0.5)$$



8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

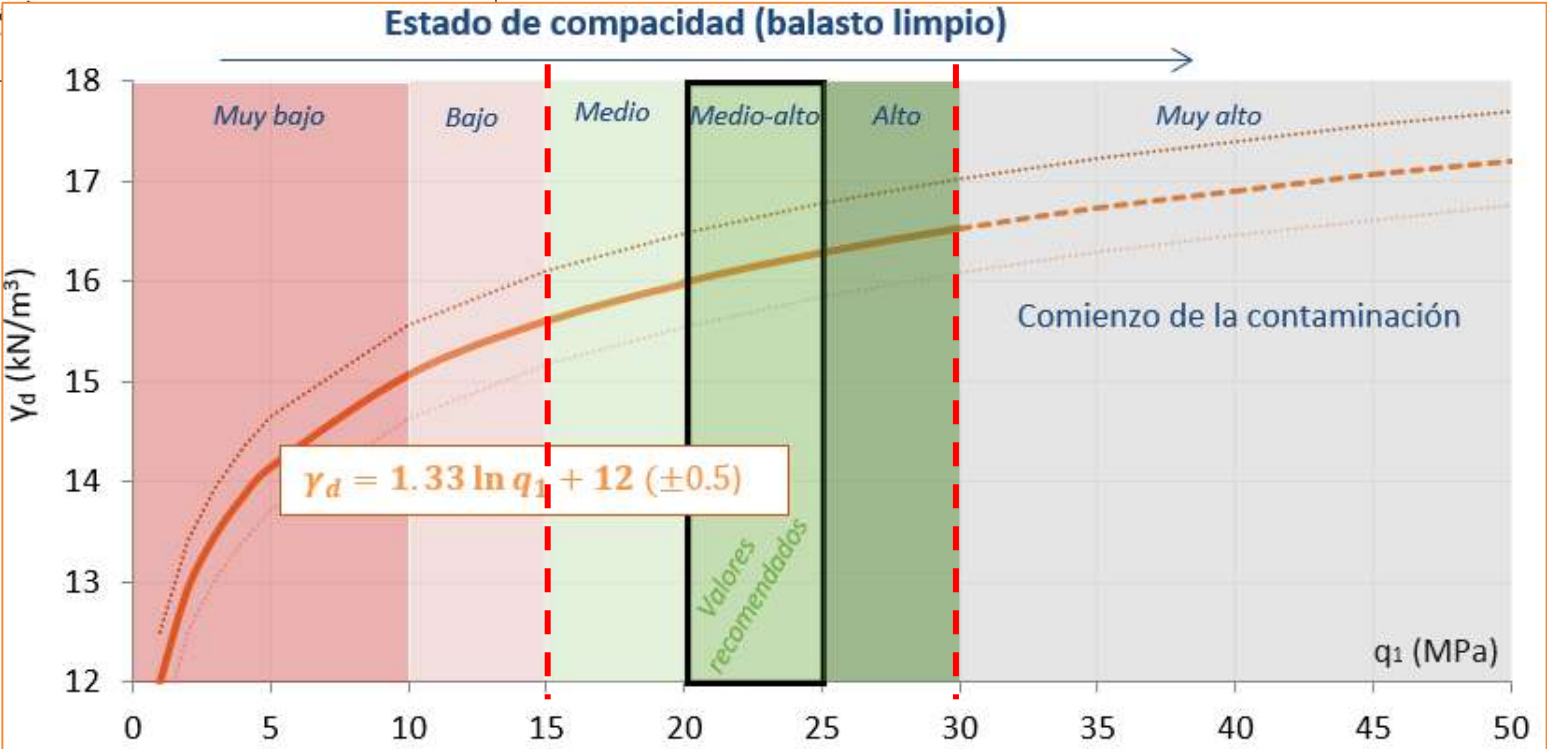
h) Propuesta de caracterización con el PANDA

q ₁ (MPa)	γ _d (kN/m ³)	Estado de compacidad	Validez	Observaciones
< 10	<15.1	Muy bajo	No	Balasto limpio vertido
10-15	15.1-15.6	Bajo	(1)	Balasto limpio ligeramente compactado
15-20	15.6-16.0	Medio	Sí	Balasto limpio, bateado y estabilizado con paso de trenes (CFC)
20-25	16.0-16.3	Medio – alto	Sí	Valores recomendados para balasto limpio, bateado y estabilizado con estabilizadora (vía real).
25-30	16.3-16.5	Alto	Sí	Balasto limpio, bateado y estabilizado con estabilizadora (vía real)
>30	>16.5	Muy alto	(1)	Balasto contaminado

Nota (1): su validez debe evaluarse en cada caso

Valores límite (q_l) : 15 y 30 MPa
Valores recomendados : (20-25) MPa

Pesos específicos correspondientes:
15,6 y 16,5 kN/m³



8. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE LA BANQUETA DE BALASTO

i) Resumen

- La **resistencia** del ensayo **Panda** → **dependiente del peso específico** (γ_d) del balasto. Entre balasto **compactado y vertido** → resistencia del **doble**.
- Para balastos de alta calidad, **ecuación de calibración obtenida es:** $\gamma_d = 1.33 \ln(q_1) + 12$.
- **Valores límite** $q_1 = 15$ y 30 MPa → $\gamma_d = 15.6$ y 16.5 kN/m³
- **Valor recomendado de** q_1 para un **balasto limpio en vías reales de buena calidad** se establece en el rango de **20-25 MPa**.
- q_1 **balasto limpio de ensayos en vías reales** > 20 MPa → $\gamma_d \geq 16.0$ kN/m³ (según ec. ajuste)

9. IDEAS TO TAKE AWAY

- Las vías férreas españolas están mayoritariamente construidas con balasto
- Las funciones del balasto quedan asociadas a las propiedades requeridas por la normalización
- La degradación de la banqueta de balasto merma las funciones para las que fue diseñada
- La degradación del balasto se produce a nivel de partícula y a nivel de banqueta (capa)
- La rotura de partículas de balasto afecta a la granulometría inicial
- La degradación del balasto produce redondeamiento de las partículas
- Nuestros estudios se han enfocado en:
 - Medir los cambios morfométricos de partículas degradadas
 - ✓ Seguimos buscando un parámetro distintivo
 - Caracterizar el comportamiento mecánico de balasto degradado
 - ✓ El ángulo de rozamiento disminuye
 - Determinar mediante el ensayo PANDA el grado de compactación de la banqueta de balasto
 - ✓ Valores de q_d de 15 -30 MPa son indicativos de banqueta en buen estado

SEGUIMOS TRABAJANDO PARA CARACTERIZAR EL BALASTO

AGRADECIMIENTOS

- **Precursores de la Geotecnia Ferroviaria en CEDEX**

- Vicente Cuéllar, José Luis G. de la Oliva y Julián Valerio

- **Ponentes en este seminario:**

- José Estaire, Inés Crespo, Ángel Tijera y Javier Moreno

- **Compañeros en el CEDEX**

- Natalia Montero, Rubén Ruiz, Juan L. Cámara, Sagrario Merino, Miguel Martínez, Marcos Asperilla, Fernando Pesquera, Felipe García, Pedro J. García, José L. Amores, Mauro Muñiz, Eva Marull, Silvia Ajates, Rosa Navidad, José L. Gómez, José L. Toledo

SEMINARIO SOBRE GEOTECNIA FERROVIARIA



CEDEX

María SANTANA

Maria.S.Ruiz@cedex.es

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

 CEDEX_es  CEDEX