

Caracterización técnica y ambiental de los residuos de construcción y demolición de Navarra y de residuos inertes análogos

La economía circular de los RCD como estrategia de adaptación al cambio climático



GAN-NIK

Gestión Ambiental de Navarra
Nafarroako Ingurumen Kudeaketa





Contenido

1. Introducción. Objetivo	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Procedimiento	11
1.3. Normativa y guías	14
1.4. Clasificaciones	17
2. Caracterización técnica del árido reciclado comercializado	21
2.1. Requisitos geométricos	22
2.1.1. Granulometría	22
2.1.2. Índice de lajas	33
2.1.3. Partículas fracturadas y partículas redondeadas	34
2.2. Requisitos físico-mecánicos	37
2.2.1. Clasificación de los áridos reciclados	37
2.2.2. Absorción de agua	38
2.2.3. Coeficiente de los Ángeles	39
2.2.4. Pérdida de peso con sulfato magnésico	41
2.2.5. Límite de Atterberg	41
2.2.6. Hinchamiento libre	42
2.2.7. Asiento de colapso	42
2.2.8. Índice CBR	43
2.2.9. Equivalente de arena	44
2.2.10. Próctor normal modificado	45
2.3. Requisitos químicos	46
2.3.1. Contenido de azufre, de sulfatos solubles y cloruros totales	46
2.3.2. Contenido de materia orgánica	47
2.3.3. Contenido de sales solubles	48
2.3.4. Reactividad potencial con los álcalis de cemento	50
2.4. Tabla resumen	51
2.5. Conclusiones	58



3. Caracterización técnica de los áridos reciclados con baja o nula comercialización	59
3.1. Requisitos geométricos	60
3.1.1. Granulometría	60
3.1.3. Partículas fracturadas y partículas redondeadas	66
3.1.2. Índice de lajas	66
3.2. Requisitos físico-mecánicos	69
3.2.1. Clasificación de los áridos reciclados	69
3.2.2. Absorción de agua	69
3.2.3. Coeficiente de los Ángeles	70
3.2.4. Pérdida de peso con sulfato magnésico	72
3.2.5. Límites de Atterberg	72
3.2.6. Hinchamiento libre	72
3.2.8. Índice CBR	73
3.2.9. Equivalente de arena	73
3.2.10. Próctor normal o modificado	75
3.3. Requisitos químicos	75
3.3.1. Contenido de azufre, de sulfatos solubles y cloruros totales	75
3.3.2. Contenido de materia orgánica	75
3.3.3. Contenido de sales solubles	77
3.4. Tabla resumen	78
3.5. Conclusiones	82
4. Caracterización ambiental de los áridos reciclados	83
4.1. Toma de muestras	84
4.2. Analíticas	84
4.3. Conclusiones	89
Anejo 1. Informes de las visitas a las instalaciones	90
Instalación 1	91
Instalación 2	98
Instalación 3	102
Instalación 4.	105



Instalación 5	108
Instalación 6	111
Instalación 7	113
Anejo 2. Requisitos de los áridos reciclados para su uso en el hormigón	116
A.2.1. Requisitos geométricos	117
A.2.2. Requisitos físico-mecánicos	118
A.2.3. Requisitos químicos	119
Anejo 3. Requisitos de los áridos reciclados para su uso en materiales granulares en terraplenes	120
A.3.1. Consideraciones generales	121
A.3.2. Requisitos geométricos	121
A.3.3. Requisitos físico-mecánicos	122
A.3.4. Requisitos químicos	123
Anejo 4. Requisitos de los áridos reciclados para materiales granulares en firmes	124
A.4.1. Consideraciones generales	125
A.4.2. Requisitos geométricos	126
A.4.2.1. Árido grueso	126
A.4.3. Requisitos físico-mecánicos	127
A.4.3.1. Árido grueso	127
A.4.3.2. Árido fino	127
A.4.4. Requisitos químicos	128
A.4.4.1. Ambos tipos de áridos: grueso y fino	128
Anejo 5. Requisitos de los áridos reciclados para materiales tratados con ligantes hidráulicos en firmes y explanaciones	129
A.5.1. Requisitos geométricos	130
A.5.1.1. Árido grueso en la gravacemento	130
A.5.2. Requisitos físico-mecánicos	132
A.5.2.1. Árido grueso en la gravacemento	132
A.5.2.2. Árido fino en la gravacemento y el suelocemento	132
A.5.2.3. Características del conjunto de la mezcla	134
A.5.3. Requisitos químicos	135
Anejo 6. Ensayos realizados en cada muestra	136



Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de las instalaciones en función de su ubicación y capacidad de valorización	13
Tabla 2. Usos posibles a comprobar de los áridos de comercialización adecuada y fuente de los ensayos proporcionados	13
Tabla 3. Usos posibles a comprobar de los áridos de baja o nula comercialización y fuente de los ensayos proporcionados	14
Tabla 4. Tipos de áridos y sus requisitos para su empleo en carreteras	15
Tabla 5. Requisitos geométricos requeridos en función de la aplicación.	16
Tabla 6. Requisitos físico-mecánicos requeridos en función de la aplicación.	16
Tabla 7. Requisitos químicos requeridos en función de la aplicación.	17
Tabla 8. Clasificación de los áridos en función de su tamaño y su aplicación.	19
Tabla 9. Componentes de los áridos reciclados en función de la composición de su fracción gruesa	19
Tabla 10. Clasificación de los áridos reciclados en función de la composición de su fracción gruesa	20
Tabla 11. Referencia de usos en función de los ensayos realizados en los áridos reciclados proporcionados	22
Tabla 12. Comprobación del contenido máximo cernido por el tamiz 4 mm y el límite propuesto en la EHE-08	23
Tabla 13. Verificación de la especificación establecida en el PG-3 para considerarla zahorra	24
Tabla 14. Verificación del contenido mínimo de finos establecida en el PG-3 para considerarla zahorra	25
Tabla 15. Clasificación de zahorras en función del tamaño máximo nominal establecido en el PG-3	25
Tabla 16. Verificación de las condiciones establecidas en el PG-3 para su uso como terraplén	28
Tabla 17. Clasificación de los suelos (adecuados o seleccionados) según el PG-3	29
Tabla 18. Verificación de la segunda condición para considerar suelo seleccionado establecido en el PG-3	30
Tabla 19. Porcentaje de partículas trituradas y redondeadas de los áridos reciclados a estudio	34
Tabla 20. Composición de la fracción gruesa de las muestras analizadas	37
Tabla 21. Clasificación de las muestras analizadas en función de la composición de su fracción gruesa	38
Tabla 22. Absorción (%) de las muestras a estudio.	38
Tabla 23. Pérdida de peso con sulfato magnésico (%) de las muestras a estudio	41
Tabla 24. Resultados de los límites de Atterberg en las muestras a estudio.	41
Tabla 25. Hinchamiento libre (%) según la norma UNE 103601 de las muestras a estudio	42
Tabla 26. Asiento de colapso (%) según la norma UNE 103406 de las muestras a estudio	42
Tabla 27. Resultados del Índice CBR según la norma UNE 103502 de las muestras a estudio.	43
Tabla 28. Requisitos sobre el índice CBR	43
Tabla 29. Resultados del ensayo equivalente de arena según la norma UNE EN 933-8 de las muestras a estudio	44
Tabla 30. Densidad máxima y humedad óptima alcanzada mediante los ensayos de Proctor Modificado o Normal	45
Tabla 32. Resultados del contenido de sulfatos solubles en agua, cloruros totales y los compuestos de azufre totales de las muestras a estudio	46
Tabla 31. Parámetros con sus límites a controlar mediante el ensayo UNE 1744-1 según la aplicación	46
Tabla 33. Resultados del contenido de materia orgánica según la norma UNE 103204 de las muestras a estudio	47
Tabla 34. Resultados del contenido de sales solubles según la norma NLT 114 y del contenido de yeso según la norma NLT 115 de las muestras a estudio	49
Tabla 35. Caracterización de las muestras para su empleo en hormigón.	51
Tabla 36. Caracterización de las muestras para su empleo como zahorras en firmes de carreteras	52
Tabla 37. Caracterización de las muestras para su empleo como gravacemento en firmes de carreteras	53
Tabla 38. Caracterización de las muestras para su empleo como suelocemento en firmes de carreteras	54
Tabla 39. Caracterización de las muestras para su empleo como terraplén	57
Tabla 40. Verificación de las condiciones granulométricas en los áridos de baja comercialización establecidas en el PG-3 para suelos	60
Tabla 41. Verificación granulométrica en los áridos reciclados de baja comercialización para la clasificación de los suelos (adecuados y seleccionados) especificada en el PG-3	



Tabla 42. Verificación en los áridos reciclados de baja comercialización de la segunda condición para considerar suelo seleccionado establecida en el PG-3	61
Tabla 43. Verificación en los áridos reciclados de baja comercialización de la especificación granulométrica establecida en el PG-3 para considerarla zahorra	62
Tabla 44. Verificación en los áridos reciclados de baja comercialización del contenido mínimo de finos establecida en el PG-3 para considerarla zahorra	62
Tabla 45. Granulometría en los áridos reciclados de baja comercialización	63
Tabla 46. Porcentaje de partículas trituradas y redondeadas en los áridos reciclados de baja comercialización	66
Tabla 47. Composición de la fracción gruesa en los áridos reciclados de baja comercialización	69
Tabla 48. Absorción (%) en los áridos reciclados de baja comercialización	69
Tabla 49. Pérdida de peso con sulfato magnésico (%) de los áridos reciclados de baja comercialización	72
Tabla 50. Límites de Atterberg de los áridos reciclados de baja comercialización	72
Tabla 51. Hinchamiento libre (%) según la norma UNE 103601 de los áridos reciclados de baja comercialización	72
Tabla 52. Asiento de colapso (%) según la norma UNE 103406 de los áridos reciclados de baja comercialización	73
Tabla 53. Resultados del Índice CBR según la norma UNE 103502 de los áridos reciclados de baja comercialización	73
Tabla 54. Resultados del ensayo equivalente de arena según la norma UNE EN933-8 de los áridos reciclados de baja comercialización	73
Tabla 55. Resultados del ensayo Proctor Modificado de los áridos reciclados de baja comercialización	75
Tabla 56. Resultados del contenido de sulfatos solubles en agua, cloruros totales y los compuestos de azufre totales de los áridos reciclados de baja comercialización	75
Tabla 57. Resultados del contenido de materia orgánica según la norma UNE 103204 de los áridos reciclados de baja comercialización	75
Tabla 58. Resultados del contenido de sales solubles según la norma NLT 114 y del contenido de yeso según la norma NLT 115 de los áridos reciclados de baja comercialización	77
Tabla 59. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo en hormigón.	78
Tabla 60. Caracterización de las muestras para su empleo como zahorras en firmes de carreteras	78
Tabla 61. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo como gravacemento en firmes de carreteras	79
Tabla 62. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo como suelocemento en firmes de carreteras	79
Tabla 63. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo como terraplén	80
Tabla 64. Resultados de los ensayos de lixiviación bajo la norma UNE-EN 12457-4.	84
Tabla 65. Resultados de los ensayos de lixiviación bajo la norma UNE-EN 12457-4.	85
Tabla 66. Resultados de los ensayos de lixiviación bajo la norma UNE-EN 12457-4.	86
Tabla 67. Resultados de los ensayos de parámetros orgánicos	87
Tabla 68. Resultados de los ensayos de parámetros orgánicos	87
Tabla 69. Resultados de los ensayos de parámetros orgánicos	87
Tabla 70. Productos obtenidos en la instalación de Contena Recuperación	98



Índice de figuras

Figura 1. Análisis de descalificados o finos para su uso en hormigón	23
Figura 2. Curvas granulométricas de los áridos reciclados y del huso granulométrico ZA 0/32 especificado en el PG-3	26
Figura 3. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico ZA 0/32 del PG-3	26
Figura 4. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico ZA 0/20 del PG-3	27
Figura 5. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico ZAD 0/20 del PG-3	27
Figura 6. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico GC32 del PG-3	31
Figura 7. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico GC20 del PG-3	32
Figura 8. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico SC40 del PG-3	32
Figura 9. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico SC20 del PG-3	33
Figura 10. Índice de lajas comparado con los valores más restrictivos para su empleo en hormigones, según la EHE-08, y para su empleo en firmes como zahorras, suelocemento y gravacemento, según el PG-3	34
Figura 11. Comparativa del porcentaje de partículas trituradas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como zahorras en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)	35
Figura 13. Comparativa del porcentaje de partículas trituradas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como gravacemento en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)	36
Figura 12. Comparativa del porcentaje de partículas redondeadas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como zahorras en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)	36
Figura 14. Comparativa del porcentaje de partículas redondeadas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como gravacemento en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)	37
Figura 15. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles de las muestras a estudio con los límites establecidos en la EHE-08 para hormigones estructurales y no estructurales	39
Figura 17. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemento de carreteras	40
Figura 16. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para zahorras en firmes de carreteras	40
Figura 18. Comparativa del equivalente de arena de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con zahorras	44
Figura 19. Comparativa del equivalente de arena de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con gravacemento	45
Figura 20. Resultados del contenido de materia orgánica (%) de las muestras a estudio en función del tipo de suelo	47
Figura 21. Resultados del contenido de materia orgánica (%) para su uso en suelocemento de las muestras a estudio	48
Figura 22. Resultados del Contenido de Sales solubles (%) en función del tipo de suelo	49
Figura 23. Curva granulométrica de las muestras analizadas y ZA 0/32	63
Figura 24. Curva granulométrica de las muestras analizadas y ZA 0/20	64
Figura 25. Curva granulométrica de las muestras analizadas y ZAD 0/20	64
Figura 26. Curva granulométrica de las muestras analizadas y el suelocemento SC20	65
Figura 27. Curva granulométrica de las muestras analizadas y el suelocemento SC40	65
Figura 28. Resultados sobre el índice de lajas en los áridos reciclados de baja comercialización	66
Figura 29. Comparativa de los porcentajes de las partículas trituradas en los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para materiales granulares en firmes	67
Figura 30. Comparativa de los porcentajes de las partículas redondeadas en los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para materiales granulares en firmes	67
Figura 31. Comparativa de los porcentajes de las partículas trituradas de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemento en carreteras	68
Figura 32. Comparativa de los porcentajes de las partículas redondeadas de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemento en carreteras	68
Figura 33. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en la EHE-08 para hormigones estructurales y no estructurales	70
Figura 34. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para zahorras en firmes de carreteras	71



Figura 35. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemiento de carreteras	71
Figura 36. Comparativa del equivalente de arena de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con zahorras	74
Figura 37. Comparativa del equivalente de arena de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con gravacemiento	74
Figura 38. Comparativa de la materia orgánica de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para terraplenes	76
Figura 39. Comparativa de la materia orgánica de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para suelocemento	76
Figura 40. Resultados del Contenido de Sales solubles (%) en función del tipo de suelo	77
Figura 41. Proceso de tratamiento mediante cizalla de las piezas prefabricadas	91
Fuente: GAN-NIK	91
Figura 42. Cizalla cortando las piezas de prefabricado	91
Figura 43. Acopio del escombros recibido	92
Figura 45. Detalle de los imanes de la instalación	92
Figura 44. Instalación del proceso de pretratamiento	92
Figura 46. Material fino del primer tratamiento e impropios de los sopladores	92
Figura 47. Segundo proceso que se da al material fino	93
Figura 49. Detalle del acopio de la arena reciclada de segunda	93
Figura 48. Acopio del material fino tras un nuevo proceso de limpieza	93
Figura 50. Acopio del árido reciclado de segunda de granulometría 20-30	93
Figura 51. Árido reciclado de segunda de granulometría 20-30 mm	94
Fuente: GAN-NIK	94
Figura 53. Acopio de árido mixto obtenido de la primera línea	94
Figura 52. Material no valorizable obtenido en el proceso	94
Figura 54. Detalle del acopio de árido mixto obtenido de la primera línea	94
Figura 55. Instalación de la planta de reciclaje y cabina de triaje	95
Figura 57. Material obtenido tras la cadena de triaje	95
Figura 56. Detalle de la cadena de triaje manual	95
Figura 58. Maquinaria para dar la última limpieza y granulometría requerida	95
Figura 59. Detalle del árido reciclado obtenido tras el proceso final	96
Figura 61. Detalle de los restos obtenidos en los sopladores	96
Figura 60. Acopio del árido reciclado con mayor proporción de hormigón	96
Figura 62. Camino de Adiós	96
Figura 63. Detalle del acabado del camino de Adiós	97
Figura 65. Detalle de los bordes del camino de Añorbe	97
Figura 64. Camino en pendiente de Añorbe	97
Figura 66. Detalle de la granulometría y material del camino utilizado en Añorbe	97
Figura 67. Entrada a la planta de reciclaje de RCD de	98
Figura 69. Cizalla para separar las armaduras metálicas del hormigón	98
Figura 68. Zona de acopios y de separación de impropios	98
Figura 70. Instalación para la separación de impropios y el machaqueo del residuo	98
Figura 71. Acopio de árido fino mixto	99
Figura 72. Acopio de árido mixto intermedio	99
Figura 73. Acopio de árido mixto grueso	100
Figura 74. Acopio de grava de segunda	100
Figura 75. Acopio de todo uno de segunda	100



Figura 77. Acopio de grava de primera	101
Figura 76. Acopio de todo uno de primera	101
Figura 78. Detalle del acopio de grava de primera	101
Figura 79. Restauración de la cantera con tierras.	102
Figura 80. Zona de separación de los materiales impropios	102
Figura 81. Zona de acopio de los escombros limpios	103
Figura 83. Cinta transportadora	103
Figura 82. Tolva de áridos	103
Figura 84. Cinta transportadora y zona donde se produce el cribado final	103
Figura 85. Material acopiado tras el fin del proceso de tratamiento	104
Figura 87. Acopio de los áridos reciclados producidos	104
Figura 86. Detalle del todo uno reciclado tras el proceso	104
Figura 88. Acopio de escombros a tratar	105
Figura 90. Detalle del sistema de cribado	105
Figura 89. Sistema de cribado	105
Figura 91. Instalación de cribado con cadena de triaje Azanza	106
Figura 93. Detalle del imán y contenedores de los restos metálicos	106
Figura 92. Detalle de la instalación de reciclaje Azanza	106
Figura 94. Fase final del proceso donde se acopian los áridos reciclados según su granulometría de	107
Figura 96. Árido reciclado de granulometría de 0-30 Azanza	107
Figura 95. Árido reciclado de granulometría 30-100	107
Figura 97. Escombros acopiados para su valorización	108
Figura 98. Instalación junto a la pala cargadora.	108
Figura 99. Detalle del imán de la instalación	109
Figura 101. Cinta transportadora final del proceso	109
Figura 100. Contenedor con los restos metálicos tras el proceso de limpieza por imanes.	109
Figura 102. Árido reciclado obtenido tras el proceso de valorización	109
Figura 103. Camino realizado con árido reciclado Fuente: GAN-NIK	110
Figura 105. Adecuación del terreno de una nave industrial de madera con árido reciclado Fuente: GAN-NIK	110
Figura 104. Camino realizado con árido reciclado	110
Figura 106. Silo donde se almacenan las arenas residuales distribuidas en tres tolvas	111
Figura 107. Detalles de las salidas de los silos que almacena la arena residual.	111
Figura 108. Ampliación del vertedero donde se depositan actualmente las arenas	112
Figura 109. Acceso al vertedero	112
Figura 110. Acopio de escombros de hormigón	113
Figura 112. Acopio de residuos de residuos pétreos mixtos	113
Figura 111. Acopio de residuos de madera	113
Figura 113. Escombros limpios antes de procesar	113
Figura 114. Acopio de árido reciclado	114
Figura 116. Cabina de triaje	114
Figura 115. Detalle del árido reciclado como suelo seleccionado	114
Figura 117. Interior de la cabina de triaje	114
Figura 118. Contenedores con los residuos clasificados procedentes de la cabina de triaje	115
Figura 120. Cinta transportadora que sirve para el cribado del acopio de árido reciclado mixto	115
Figura 119. Acopio del árido reciclado con peor comercialización	115



1. Introducción



1. Introducción. Objetivo

1.1. Antecedentes

En el desarrollo de la acción 3 del proyecto RCdiGreen, proyecto cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Interreg V-A España, Francia, Andorra (POCTEFA 2014-2020), se analizó la situación actual sobre la gestión de los residuos de construcción y demolición (en adelante RCD) en el territorio navarro. En concreto en el documento 3.3, “Análisis global de las estrategias a desarrollar en Navarra”, se detectaron, entre otras, las siguientes problemáticas dentro del territorio navarro:

- ✓ Incertidumbre en el mercado a la hora de utilizar estos materiales por el desconocimiento de sus propiedades o/y por los requisitos a exigirles.
- ✓ Grandes acopios de áridos reciclados en plantas fijas cuya salida al mercado es baja o nula originando problemas de espacio dentro de las instalaciones mermando su capacidad para continuar con la valorización de otros RCD.
- ✓ Las características propias del territorio navarro hacen que se originen zonas con dificultades de gestión de RCD.
- ✓ Falta de apoyo por parte de la administración para el empleo de estos materiales.

Estas dificultades han sido puestas en común con el Gobierno de Navarra, socio asociado del proyecto RCdiGreen, con quien se ha visto la necesidad de caracterizar los áridos reciclados de las instalaciones actuales para solucionar los problemas existentes.

Por otro lado, se han detectado otros residuos potenciales para su uso en la construcción como son los rechazos de Magnesitas de Navarra y las arenas de fundición de Fagor-Ederlan. Por ello, también se han incluido sus caracterizaciones en este documento con el fin de ampliar y dar a conocer otros tipos de residuos válidos para la construcción.

1.2. Procedimiento

Para la redacción de este documento, realizado por GAN-NIK (socio del proyecto RCdiGreen y financiado por el Gobierno de Navarra), se destacan las siguientes acciones:

- ✓ Contacto con los gestores autorizados con operación R5 y con sede en Navarra para la participación de forma voluntaria en la caracterización de su material y con las empresas cuyos residuos podrían tener usos análogos a los áridos reciclados.
- ✓ Visitas a las plantas participantes por parte de personal técnico de GAN-NIK y del Gobierno de Navarra para conocer in situ los áridos reciclados que se obtienen y el proceso de valorización de los mismos.
- ✓ Redacción y publicación mediante un pliego de licitación pública para la contratación de la asis-



tencia técnica relativa a los trabajos especializados de muestreo y analítica de laboratorios para residuos de construcción y demolición y residuos análogos.

- ✓ Asignación a los laboratorios para la ejecución de los trabajos.
- ✓ Análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados por los laboratorios.

El primer contacto con los gestores de RCD se realizó mediante una reunión telemática en febrero de 2021. En ella se expusieron los resultados de las encuestas realizadas a los gestores autorizados en 2020 y la propuesta para participar en esta fase del proyecto de forma voluntaria. Los gestores autorizados que mostraron su interés en participar son:

- ✓ ATE Compactados.
- ✓ Cantera de Askape- Construcciones Sobrino.
- ✓ Cantera del Ega- Hormigones Beriain.
- ✓ Contena Recuperación.
- ✓ Contenedores Iruña.
- ✓ Contenedores y Transportes Gabirondo.
- ✓ Excavaciones y transportes Hermanos Azanza.

Además, los gestores ATE Compactados, Contena Recuperación y Contenedores Iruña han proporcionado de forma voluntaria resultados de áridos reciclados comercializados de analíticas previas al proyecto. Hay que tener en cuenta que los ensayos realizados por estos gestores fueron en su momento para un uso concreto con lo que, en ocasiones, falta información para determinar su compatibilidad con otras aplicaciones por falta de alguna analítica. Aun así, estos datos han permitido completar la imagen global de la caracterización de los áridos reciclados presentes en Navarra.

El contacto con Fagor- Ederlan se realizó a través del Gobierno de Navarra debido a su interés en los trabajos realizados por la cooperativa para inertizar las arenas de fundición. El proyecto RCdiGreen se consideró una buena oportunidad para poder determinar las salidas posibles a este residuo.

Por otro lado, a raíz de la búsqueda de materiales para la experiencia piloto de restauración de huecos mineros, se localizó que Magnesitas de Navarra tiene un residuo que suelen utilizarlo para acondicionar sus propias instalaciones. Sin embargo, puede ser un material potencial para diferentes aplicaciones de construcción que pudiesen darse en las inmediaciones a las instalaciones.

Como la participación de las empresas ha sido de forma voluntaria y para no desacreditar o favorecer a ninguna planta, se van a mostrar los resultados de forma anónima y sin coincidir con el orden de visitas de las instalaciones del anejo 1.

Por otro lado, durante las visitas a las instalaciones fijas de valorización de RCD se contrastó que existen a grandes rasgos dos tipos de plantas:

- ✓ Instalaciones tipo I: Plantas cercanas a núcleos de población grandes y con unas instalaciones de mayor capacidad que les permiten fabricar áridos de diferentes calidades. En estas plantas



se encuentran grandes acopios de RCD con baja o nula comercialización.

- ✓ Instalaciones tipo II: Plantas ubicadas en áreas rurales que tienen que hacer frente, en general, a un residuo más mezclado y con medios para su valorización más sencillos que sólo les permite fabricar uno o dos tipos de áridos reciclados. Los rechazos que producen estas plantas son relativamente pequeños.

INSTALACIONES TIPO I	INSTALACIONES TIPO II
ATE compactados	Cantera de Askape - Construcciones Sobrino
Contena Recuperación	Cantera del Ega - Hormigones Beriain
Contenedores Iruña	Contenedores y Transportes Gabirondo
	Excavaciones y transportes Hermanos Azanza

Tabla 1. Clasificación de las instalaciones en función de su ubicación y capacidad de valorización

Fuente: GAN-NIK

Esta diferencia entre plantas hace que se hayan planteado dos tipos de caracterizaciones:

- ✓ Áridos reciclados con comercialización adecuada. Dentro de esta tipología se incluyen los ensayos proporcionados por los gestores de forma voluntaria, las muestras y analíticas subvencionadas por el proyecto RCdiGreen en las instalaciones tipo II y en las instalaciones de Fagor-Ederlan y Magnesitas de Navarra.
- ✓ Áridos reciclados con baja o nula comercialización. Se incluyen los resultados de las analíticas subvencionadas por el proyecto RCdiGreen de las instalaciones tipo I.

La tabla 2 y la tabla 3 resumen correlativamente el estudio realizado en los apartados 2 y 3 en función del tipo de árido.

	INSTALACIÓN	ÁRIDO CON COMERCIALIZACIÓN ADECUADA	
		FUENTE	APLICACIÓN POSIBLE
Tipo I	ATE compactados	Proporcionado por el gestor	- Como material para terraplenes o explanadas. - Para fabricar hormigón estructural, no estructural o de limpieza. - Como material en firmes de carreteras a base de zahorras, suelocemento o gravacemento.
	Contena Recuperación	Proporcionado por el gestor	
	Contenedores Iruña	Proporcionado por el gestor	
Tipo II	Cantera de Askape - Construcciones Sobrino	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	
	Cantera del Ega - Hormigones Beriain	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	
	Contenedores y Transportes Gabirondo	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	
	Excavaciones y transportes Hermanos Azanza	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	
Otras	Fagor Ederlan	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	
	Magnesitas de Navarra	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	

Tabla 2. Usos posibles a comprobar de los áridos de comercialización adecuada y fuente de los ensayos proporcionados

Fuente: GAN-NIK



INSTALACIÓN	ÁRIDO CON BAJA O NULA COMERCIALIZACIÓN	
	FUENTE	USO A COMPROBAR
ATE compactados	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	- Como material de relleno apto para rellenos y restauraciones de espacios degradados. ¹
Contena Recuperación	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	- Para la formación de suelocemento.
Contenedores Iruña	Subvencionado por el proyecto RCdiGreen	- La calidad de la fracción gruesa de este material para otros usos: zahorras, gravacemento, etc. por si interesaría a las plantas a realizar una separación granulométrica del mismo.

¹ Para ello, se comparan los resultados con los valores establecidos en el artículo 330: terraplenes del Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes tal y como realiza la "Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)".

Tabla 3. Usos posibles a comprobar de los áridos de baja o nula comercialización y fuente de los ensayos proporcionados
Fuente: GAN-NIK

Para la contratación de las analíticas asumidas por el presupuesto del RCdiGreen, se realizó un pliego regulador de contratación pública denominado "Asistencia técnica relativa a los trabajos especializados de muestreo y analítica de laboratorios para residuos de construcción y demolición y residuos análogos"¹. Los trabajos previstos para la asistencia técnica necesaria para el proyecto, se dividieron en dos lotes. El primero de ellos "LOTE 1. Toma de muestras y analíticas para una caracterización ambiental y técnica de residuos de construcción y demolición y análogos y control técnico y ambiental de la prueba piloto de cubetas" se asocia al contenido y trabajos presentados en este entregable. El pliego se publicó, de acuerdo a lo requisitos establecidos por la Ley Foral 2/2018 de contratos públicos, en julio de 2021, en el portal de PLENA mediante un procedimiento abierto y se adjudicó el 17 de agosto a una entidad acreditada por ENAC (Tipo C) según la Norma UNE-EN-ISO/IEC 17020:2012, para la inspección de suelos y aguas subterráneas asociadas y la caracterización de residuos para su valoración/eliminación.

La toma de muestras por parte del laboratorio contratado se realizó entre los días 28 y 30 de septiembre de 2021, estando supervisada por personal técnico de GAN-NIK.

Se tomaron muestras de diferentes submuestras diferenciadas y representativas del acopio para la caracterización técnica y ambiental. Los resultados recogidos en los informes del organismo acreditados se tenido en cuenta en la redacción de este documento. .

1.3. Normativa y guías

Para poder caracterizar los áridos reciclados hay que tener en cuenta la normativa vigente y obligatoria existente para usos normalizados como hormigones o carreteras. La regulación vigente para dimensionado de carreteras y puentes es el **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes**² (en adelante PG-3) que introduce la posibilidad de utilización de áridos reciclados o/y artificiales en los siguientes artículos:

¹<https://hacienda.navarra.es/sicportal/mtoAnunciosModalidad.aspx?Cod=2107011121587D5F29C1>

²<https://www.mitma.gob.es/carreteras/normativa-tecnica/17-pliegos-de-prescripciones-tecnicas-generales>



ARTÍCULO	CONDICIÓN
510. Zahorras.	Se puede usar para categorías de tráfico pesado T2 a T4 (áridos reciclados, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho).
	Mismos requisitos que los áridos naturales + ensayos específicos.
	Con valores límites diferentes en función de la naturaleza del árido para algunos ensayos como la resistencia a fragmentación.
513. Materiales tratados con cemento (suelo-cemento y gravacemento).	Se puede usar subproductos, residuos de construcción y demolición o productos inertes de desecho.
	Mismos requisitos que los áridos naturales pero con alguna exigencia adicional en el ensayo de Coeficiente de los Ángeles.
540. Microalglomerados en frío.	Los áridos a emplear podrán ser naturales o artificiales, y estos últimos siempre y cuando sean autorizados y cumplan con las exigencias establecidas.
	Mismos requisitos que áridos naturales.
542. Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso	Los áridos a emplear en las mezclas bituminosas podrán ser de origen natural, artificial o reciclado siempre que cumplan las especificaciones requeridas.
	Mismos requisitos que áridos naturales, con alguna exigencia adicional en función de la naturaleza y granulometría del árido para algunos ensayos.
543. Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas.	Los áridos a emplear podrán ser naturales o artificiales siempre que cumplan con las exigencias establecidas.
550. Pavimentos de hormigón	En la capa inferior de pavimentos bicapa se podrán utilizar materiales granulares reciclados, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho.
	Cumplirán las prescripciones de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE (EHE-08).
	Mismos requisitos que áridos naturales, con valores límites diferentes en función de la naturaleza del árido para algunos ensayos.
551. Hormigón magro vibrado	Se podrán utilizar materiales granulares reciclados, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho.
	Cumplirán las prescripciones de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE (EHE-08).
	Mismos requisitos que áridos naturales, con valores límites diferentes en función de la naturaleza del árido para algunos ensayos.

Tabla 4. Tipos de áridos y sus requisitos para su empleo en carreteras

Fuente: GAN-NIK (basado en el Pliego de Prescripciones Generales para Obras de Carreteras y Puentes)

En caso de emplear árido reciclado para fabricar hormigón se deben tener en cuenta las especificaciones de la **“Instrucción de hormigón estructural”³** (en adelante EHE-08) o del **“Código Estructural”⁴**.

En estas normativas existen unas especificaciones geométricas, físico-mecánicas y químicas concretas que se deben acreditar con los ensayos pertinentes para garantizar un funcionamiento adecuado del material. En los anejos 2, 3, 4 y 5 se establecen los requerimientos para estas aplicaciones en función de la normativa vigente.

³https://www.mitma.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE_es/

⁴<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2021-13681>



REQUISITOS GEOMÉTRICOS					
PARÁMETRO	NORMA DE EN-SAYO	HORMIGÓN	TERRAPLENES CARRETERAS	ZAHORRAS	GRAVACIMIENTO Y SUELOCEMENTO
Granulometría					
Análisis por tamizado	UNE-EN 933-1 y 933-2				
Contenido de finos					
Retenido tamiz 0,063					
Índice de lajas	UNE-EN 933-3				
Granulometría (Suelos):					
Tamaño máximo	UNE 103101				
Análisis por tamizado					
Partículas trituradas y redondeadas	UNE-EN 933-5				

Tabla 5. Requisitos geométricos requeridos en función de la aplicación.
Fuente: GAN-NIK

REQUISITOS FÍSICO-MECÁNICOS					
PARÁMETRO	NORMA DE EN-SAYO	HORMIGÓN	TERRAPLENES CARRETERAS	ZAHORRAS	GRAVACIMIENTO Y SUELOCEMENTO
Impurezas	UNE-EN 933-11				
Contenido de terrones de arcilla	UNE 7133				
Absorción	UNE EN 1097-6				
Coefficiente de los Ángeles	UNE EN 1097-2				
Pérdida de peso con sulfato de magnésico	UNE-EN 1367-2				
Límite líquido	UNE 103103				
Índice de plasticidad	UNE 103104				
Hinchamiento libre	UNE 103601				
Asiento colapso	NLT 254				
Índice CBR	UNE 103502				
Equivalente de arena	UNE-EN 933-8				
Próctor modificado	UNE 103501				

Tabla 6. Requisitos físico-mecánicos requeridos en función de la aplicación.
Fuente: GAN-NIK



REQUISITOS QUÍMICOS					
TIPO DE ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	HORMIGÓN	TERRAPLENES CARRETERAS	ZAHORRAS	GRAVACEMEN-TO Y SUELOCE-MENTO
Contenido de azufre total	UNE EN 1744-1				
Contenido de sulfatos solubles (SO ₃) en agua	UNE EN 1744-1				
Sales solubles (SO ₃) en ácido	UNE EN 1744-1				
Contenido de cloruros totales	UNE EN 1744-1				
Contenido total de compuestos azufre	UNE EN 1097-6				
Contenido de partículas ligeras	UNE 7244				
Contenido de materia orgánica	UNE 103204				
Contenido de sales solubles	Sales solubles: NLT 114 Y Yeso :NLT 115				

Tabla 7. Requisitos químicos requeridos en función de la aplicación.

Fuente: GAN-NIK

Hay que destacar que existen otras aplicaciones como la ejecución de caminos o vías ciclistas que no tienen una normativa vigente. Sin embargo, muchos proyectistas recurren a los criterios establecidos en el PG-3 para el diseño de estas vías.

1.4. Clasificaciones

Dentro de este estudio diferenciaremos tres tipos de áridos en función de su procedencia:

- ✓ **Árido natural:** Proceden de yacimientos y sólo han sido sometidos a procesos mecánicos. Dentro de estos áridos están:
 - **Áridos granulares o rodados:** Se obtienen de graveras y únicamente suelen sufrir un proceso de lavado y clasificación.



- ❑ **Áridos de machaqueo:** Se producen tras la extracción de macizos rocosos donde es necesaria una trituración, molienda y clasificación.
- ✓ **Árido procedente de RCD:** Son áridos que se han obtenido de la trituración, molienda y limpieza de residuos de construcción y demolición.
- ✓ **Árido artificial:** Constituidos por subproductos o residuos de procesos industriales, resultantes de procesos como una modificación térmica u otras.

Los áridos, independientemente de su naturaleza, se clasifican en función de su tamaño granulométrico cuya clasificación general es:

- ✓ **Árido grueso.**
- ✓ **Árido fino.**
- ✓ **Polvo mineral.**

La definición de cada uno de ellos difiere en función de su aplicación. A modo esquemático se presenta las consideraciones para la clasificación del árido en función de su tamaño según el PG-3 y EHE-08:

NORMATIVA		CONDICIÓN		
		Árido grueso	Árido fino	Polvo mineral
PLIEGO DE PRESCRIPCIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES	510. Zahorras.	Parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm.	-
	513. Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento).	Parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm.	-
	540. Microalglomerados en frío.	Parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm.	Cuya mayor parte pasa por el tamiz 0,063 mm.
	542. Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso	Parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm.	Cuya mayor parte pasa por el tamiz 0,063 mm.



NORMATIVA		CONDICIÓN		
		Árido grueso	Árido fino	Polvo mineral
PLIEGO DE PRESCRIPCIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES	543. Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas.	Parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm.	Cuya mayor parte pasa por el tamiz 0,063 mm.
	550. Pavimentos de hormigón	Parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm.	-
	551. Hormigón magro vibrado	Parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm.	Parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm.	-
EHE-08		Parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm.	Parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm.	-

Tabla 8. Clasificación de los áridos en función de su tamaño y su aplicación.

Fuente: GAN-NIK

Dentro de los áridos reciclados provenientes de RCD se realiza una clasificación en función de su composición de la fracción gruesa determinada por el ensayo armonizado por la norma UNE-EN 933-11. Esta composición depende del tipo de residuo de origen y del procedimiento de demolición, transporte y almacenamiento que ha sufrido. Esta clasificación está establecida en diferentes guías autonómicas sobre áridos reciclados, con algunos matices entre ellas, permitiendo una homogeneización en los criterios a la hora de comercializar el árido reciclado.

Como referencia para caracterizar los áridos reciclados en este documento tomaremos la clasificación propuesta en la “Guía de áridos reciclados procedentes de RCD”⁵. Para ello, se analiza la concentración de los elementos más frecuentes que forman los áridos reciclados, especificados en la tabla 9, y en función de ella, se determina la tipología de árido como se muestra en la tabla 10.

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICA
Rc	Hormigón, productos de hormigón, morteros.
Ru	Áridos no tratado, piedra natural, áridos tratados con conglomerantes hidráulicos.
Rb	Ladrillos, tejas y cerámicos.
Ra	Materiales bituminosos.
FL	Material flotante en volumen.
X	Otros. En especial se determinará la proporción de partículas de yesos.

Tabla 9. Componentes de los áridos reciclados en función de la composición de su fracción gruesa

Fuente: Guía de áridos reciclados procedentes de RCD

⁵https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/PDFS_RENART/R30630.pdf



TIPO DE ÁRIDO	Rc+Ru (%)	Ra (%)	Rb (%)	X (%)
Árido reciclado de hormigón (ARH)	≥ 90	≤ 5	≤ 10	≤ 1
Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)	≥ 70	≤ 5	≤ 30	≤ 1
Árido reciclado mixto de cerámicos (ARMc)	< 70	≤ 5	> 30	≤ 1
Árido reciclado mixto con asfalto (ARMa)	-	5- 30	-	≤ 1

Tabla 10. Clasificación de los áridos reciclados en función de la composición de su fracción gruesa

Fuente: Guía de áridos reciclados procedentes de RCD



2. Caracterización técnica del árido reciclado comercializado



2.1. Requisitos geométricos

2.1.1. Granulometría

Conocer las proporciones de los tamaños de los áridos es fundamental para saber qué uso es el más adecuado. Por parte de los gestores se ha proporcionado el análisis granulométrico de 20 áridos reciclados de acuerdo con la norma UNE 103101 o la norma UNE 933-1.

USO	NORMA	ÁRIDOS
HORMIGÓN	UNE 933-2/ UNE 933-1	MUESTRA 01, MUESTRA 02, MUESTRA 03, MUESTRA 05, MUESTRA 06, MUESTRA 07, MUESTRA 08, MUESTRA 09, MUESTRA 10, MUESTRA 15 y MUESTRA 19
ZAHORRAS	UNE 933-2	
TERRAPLENES	UNE 103101	MUESTRA 11, MUESTRA 12, MUESTRA 13, MUESTRA 14, MUESTRA 16, MUESTRA 17, MUESTRA 18 y MUESTRA 20

Tabla 11. Referencia de usos en función de los ensayos realizados en los áridos reciclados proporcionados

Fuente: GAN-NIK

Por el proyecto RCdiGreen se ha subvencionado el ensayo granulométrico según la norma UNE 933-1 en 6 muestras de diferentes instalaciones: muestras 21, 22, 24, 25 (instalaciones tipo I), 23 (Fagor Ederlan) y 26 (Magnesitas de Navarra) .

Aunque se hayan utilizado diferentes normas para especificar la granulometría, en este apartado se ha realizado un estudio de todas las muestras para cada aplicación interpolando el cernido en los casos en los que no existía datos sobre ciertos tamices a excepción del porcentaje del cernido en el tamiz 0,063.

HORMIGÓN:

Para confección de hormigones tomaremos como referencia los requisitos establecidos en la EHE-08 y en el Código Estructural. El tamaño mínimo del árido reciclado grueso debe ser de 4 mm, siendo el límite máximo de partículas que pasan por el tamiz de 4mm, del 5%. Generalmente para la elaboración de hormigones reciclados se emplea una mezcla de árido natural y árido reciclado. Por tanto, hay que considerar que esta condición no es vinculante ya que se puede formular una mezcla acorde que cumpla con este criterio sin que el árido reciclado por sí sólo cumpla con él. Para este documento, a falta de datos reales sobre mezclas de áridos naturales y reciclados para fabricar hormigón reciclado, se analiza los resultados de las muestras como si se quisiese hacer un hormigón reciclado con 100% de árido reciclado grueso. De este análisis, se obtiene que las muestras 1, 2, 8, 9 y 16 son las únicas que cumplirían con este requisito.



TAMICES	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06
4	1	2	23	41	52	6
VERIFICACIÓN	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12
4	6	1	2	34	24,00	20,00
VERIFICACIÓN	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 15	MUESTRA 16	MUESTRA 17	MUESTRA 18
4	22,74	25,97	-	0,01	6	46
VERIFICACIÓN	NO CUMPLE	NO CUMPLE	-	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 19	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24
4	64	40	32	36	6	42
VERIFICACIÓN	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 25	MUESTRA 26
4	41	100
VERIFICACIÓN	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 12. Comprobación del contenido máximo cernido por el tamiz 4 mm y el límite propuesto en la EHE-08

Fuente: GAN-NIK

El contenido de descalificados o finos debe ser inferior al 10% de acuerdo con el anejo 15 de la EHE-08. El ensayo que establece la Instrucción del Hormigón es el UNE EN 933-1. En los áridos reciclados en los que se tiene datos para determinar el contenido de finos se ha analizado bajo la norma UNE EN 933-1, a excepción de la muestra 01 que se ha realizado según la UNE 1097-6. Todos ellos cumplirían con el contenido de desclasificados propuesto por la EHE-08 a excepción de la muestra 25

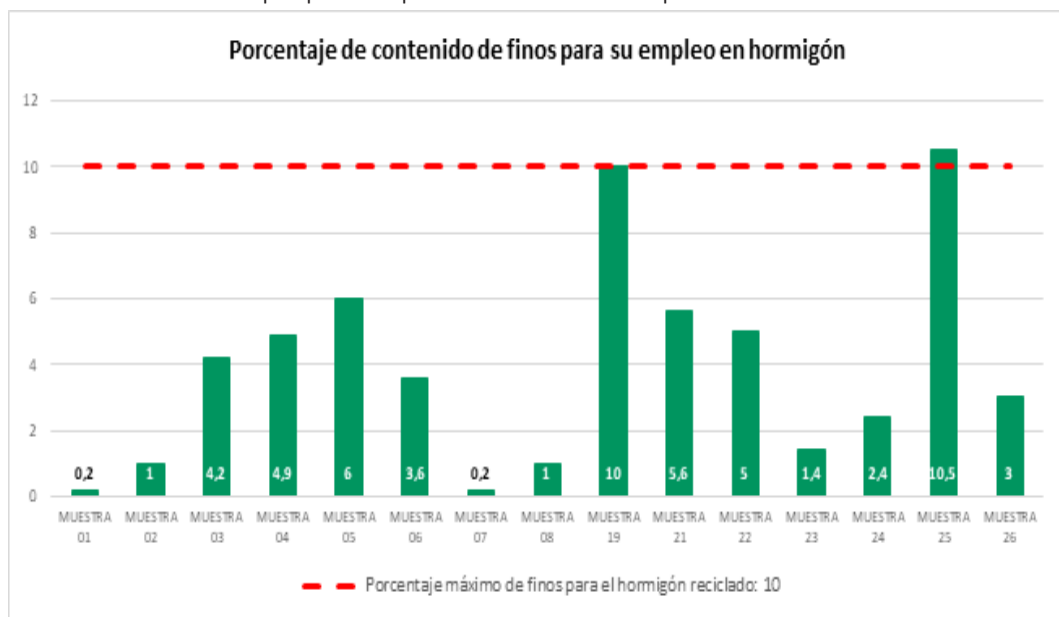


Figura 1. Análisis de descalificados o finos para su uso en hormigón

Fuente: GAN-NIK



ZAHORRAS:

Para el uso como zahorras según los criterios del PG-3, independientemente del tipo de zahorra, se debe cumplir que el cernido por el tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN 933-2) será menor que los dos tercios ($< 2/3$) del cernido por el tamiz 0,250 mm (norma UNE-EN 933-2). En algunas muestras no se ha podido analizar esta condición por falta de información del cernido en el tamiz 0,063. En las muestras que sí se ha podido verificar este criterio, se concluye que la mayoría de las muestras cumplen dicho requisito a excepción de las muestras 02, 06, 08, 23 y 25.

TAMICES	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06
0,25	1	1	7,00	9	13	4,92
0,063	0,2	1	4,200	4,9	6	3,6
REQUISITO DEL CERNIDO 0,063 MENOR A 2/3 DEL 0,25						
2/3 de 0,25	0,67	0,67	4,67	6,00	8,67	3,28
VERIFICACIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 19	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23
0,25	1	1	16	10	9	2
0,063	0,2	1	10	5,6	5	1,4
REQUISITO DEL CERNIDO 0,063 MENOR A 2/3 DEL 0,25						
2/3 de 0,25	0,67	0,67	10,67	6,67	6,00	1,33
VERIFICACIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
0,25	11	15	34
0,063	2,4	10,5	3
REQUISITO DEL CERNIDO 0,063 MENOR A 2/3 DEL 0,25			
2/3 de 0,25	7,33	10,00	22,67
VERIFICACIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

Tabla 13. Verificación de la especificación establecida en el PG-3 para considerarla zahorra

Fuente: GAN-NIK

Otra condición específica para el árido grueso de las zahorras es que el contenido de finos del árido grueso de acuerdo con la norma UNE-EN 933-1, expresado como porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al uno por ciento ($< 1\%$) en masa. Si analizamos este dato, vemos que sólo la muestra 01 y 07 cumpliría con tal especificación.



PARÁMETRO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06
Porcentaje que pasa por el tamiz 0,063	0,2	1	4,2	4,9	6	3,6
VERIFICACIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

PARÁMETRO	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 19	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23
Porcentaje que pasa por el tamiz 0,063	0,2	1	10	5,6	5	1,4
VERIFICACIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

PARÁMETRO	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
Porcentaje que pasa por el tamiz 0,063	2,4	10,5	3
VERIFICACIÓN	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 14. Verificación del contenido mínimo de finos establecida en el PG-3 para considerarla zahorra

Fuente: GAN-NIK

Además, se establece una denominación en función del tamaño máximo nominal, definido como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa, cuyas granulometrías son:

TIPO DE ZAHORRA	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN-933-2 (mm)									
	40	32	20	12,5	8	4	2	0,5	0,25	0,063
ZA 0/32	100	88-100	65-90	52-76	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
ZA 0/20		100	75-100	45-73	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD* 0/20		100	65-100	30-58	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

*Zahorra drenante

Tabla 15. Clasificación de zahorras en función del tamaño máximo nominal establecido en el PG-3

Fuente: GAN-NIK

Como se observa en la curva granulométrica de la figura 2 existen muestras que quedarían fuera del rango del huso granulométrico ZA 0/32 aunque algunas de ellas podría valer si se tamizara para ello en las instalaciones. Esto mismo ocurre para los husos ZA 0/20 y ZAD 0/20 donde sólo se incluyen los gráficos de las muestras válidas para ello en las figuras 4 y 5 respectivamente.

Las muestras que tendrían la granulometría adecuada para cada uso serían:

- ✓ ZA 0/32: Muestras 03, 04, 09, 11, 21 y 25. Ver figura 3.
- ✓ ZA 0/20: Muestras 04, 05 y 09. Ver figura 4.
- ✓ ZAD 0/20: Ninguna muestra sería estrictamente adecuada sobretodo por el contenido de finos. Las muestras que más se aproximan a este huso son la 03, 04, 09, 11, 20, 21 y 25. Ver figura 5.

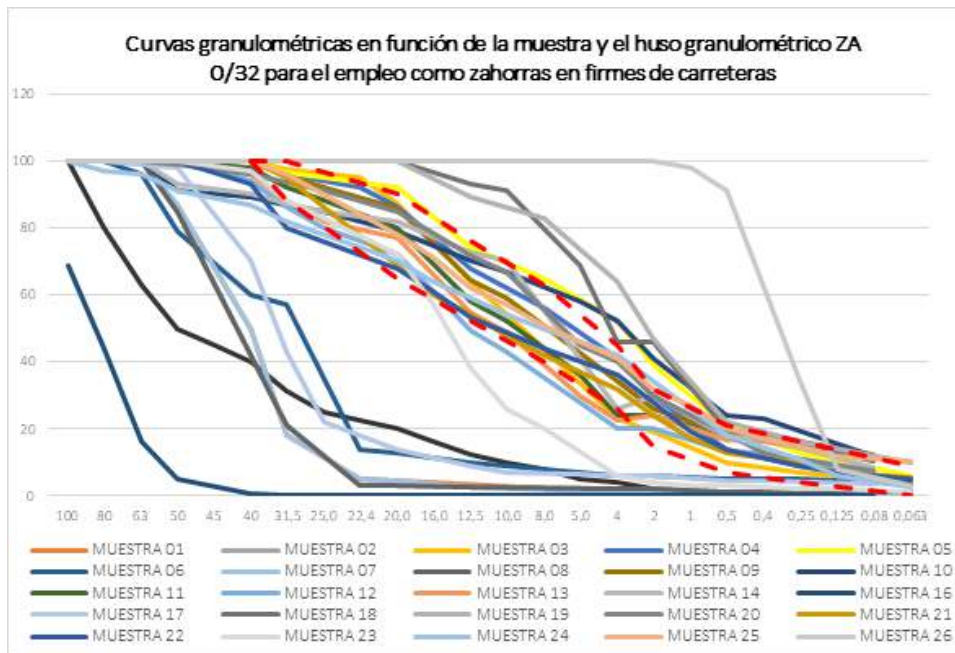


Figura 2. Curvas granulométricas de los áridos reciclados y del huso granulométrico ZA 0/32 especificado en el PG-3
Fuente: GAN-NIK

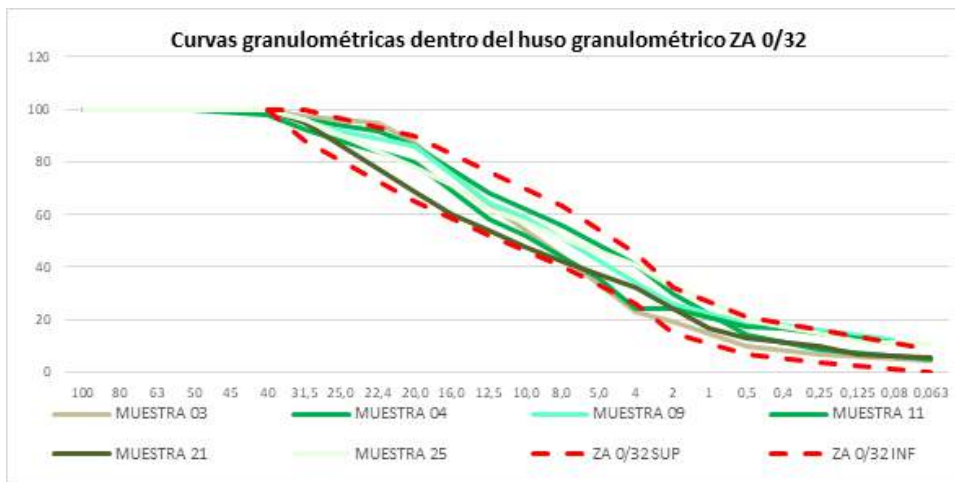


Figura 3. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico ZA 0/32 del PG-3
Fuente: GAN-NIK

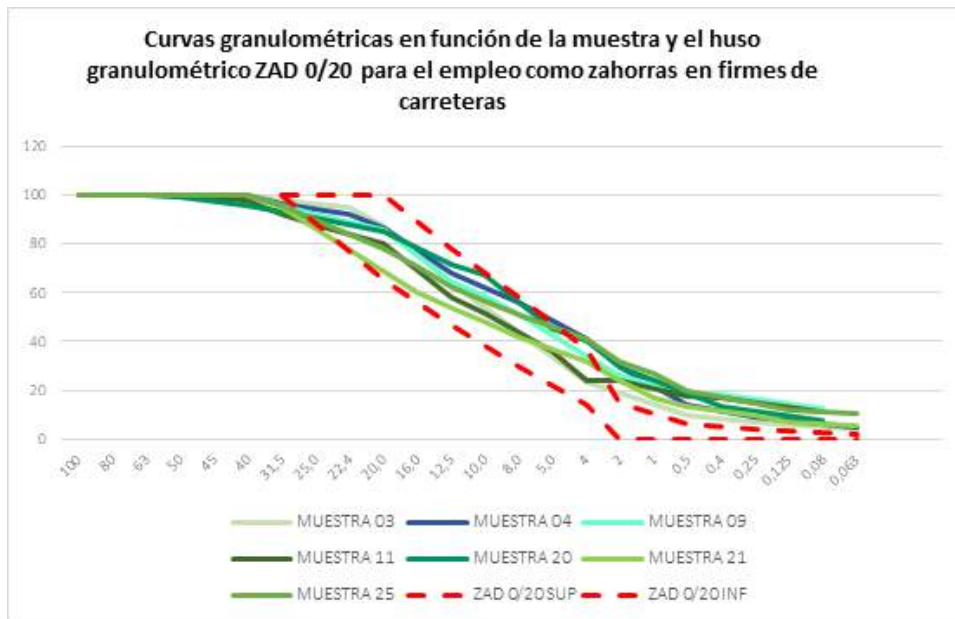


Figura 4. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico ZA 0/20 del PG-3

Fuente: GAN-NIK

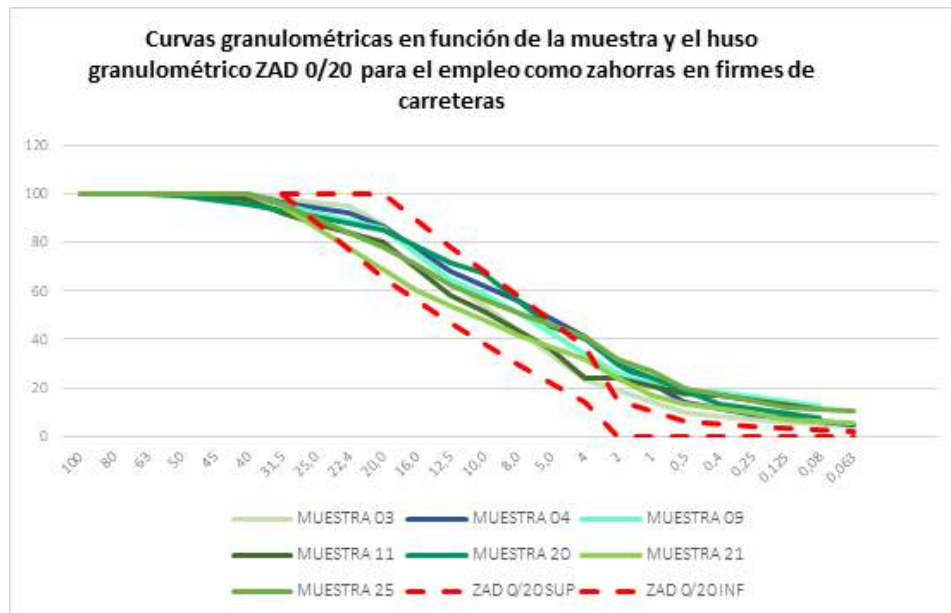


Figura 5. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico ZAD 0/20 del PG-3

Fuente: GAN-NIK



TERRAPLENES:

En el caso de rellenos tipo terraplén de acuerdo con el PG-3 se debe cumplir alguna de estas dos condiciones:

- ✓ Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE: # 20 > 70%, según UNE103101.
- ✓ Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE: # 0,080 ≥ 35%, según UNE103101.

De esta forma tenemos que los áridos reciclados de las muestras 03, 04, 05, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 23, 24, 25 y 26 cumplirían con las condiciones para relleno de terraplén según las indicaciones del PG-3.

TAMICES	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06
20,0	4,48	2,87	87,48	86,18	92,00	12,96
0,08	0,27	1,00	4,45	5,27	6,64	3,72
CONDICIÓN 1	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
CONDICIÓN 2	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12
20,0	4,48	2,87	86,00	79,00	80,00	72,00
0,08	0,27	1,00	12,40	12,00	11,00	6,00
CONDICIÓN 1	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CONDICIÓN 2	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 16	MUESTRA 17	MUESTRA 18	MUESTRA 19
20,0	77,00	82,00	0,20	14,00	100,00	100,00
0,08	11,00	8,30	0,00	3,80	10,30	10,55
CONDICIÓN 1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CONDICIÓN 2	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25
20,0	85,00	69,00	68,00	72,00	70,00	78,00
0,08	7,40	5,98	5,55	1,56	3,39	10,91
CONDICIÓN 1	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CONDICIÓN 2	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 26
20,0	100,00
0,08	4,37
CONDICIÓN 1	CUMPLE
CONDICIÓN 2	NO CUMPLE

Tabla 16. Verificación de las condiciones establecidas en el PG-3 para su uso como terraplén
Fuente: GAN-NIK



Para clasificar estos áridos como suelos adecuados o seleccionados se tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Suelos adecuados: $\#2 < 80\%$ y $0,080 < 35\%$
- ✓ Suelos seleccionados: $\# 0,40 \leq 15\%$

Teniendo en cuenta estas condiciones la mayoría de las muestras, a excepción de la muestra 26, puede ser clasificada como suelo adecuado. Como suelo seleccionado la granulometría adecuada sería la correspondiente a las muestras 01, 02, 03, 04, 06, 07, 08, 12, 16, 17, 20, 21, 2 y 23.

TAMICES	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06
2,0	1,00	2,00	19,00	30,00	39,00	6,00
0,08	0,27	1,00	4,45	5,27	6,64	3,72
0,40	1,00	1,00	8,80	12,00	17,80	4,97
Suelo adecuado (a)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo adecuado (b)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12
2,0	1,00	2,00	26,00	41,00	24,00	20,00
0,40	1,00	1,00	18,00	23,00	17,00	13,00
0,08	0,27	1,00	12,40	12,00	11,00	6,00
Suelo adecuado (a)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo adecuado (b)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 16	MUESTRA 17	MUESTRA 18	MUESTRA 19
2,0	24,00	30,00	0,01	6,00	46,00	47,00
0,40	16,00	17,00	0,01	4,50	18,00	19,60
0,08	11,00	8,30	0,00	3,80	10,30	10,55
Suelo adecuado (a)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo adecuado (b)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25
2,0	30,00	24,00	28,00	4,00	34,00	32,00
0,40	13,00	11,80	12,00	2,60	15,20	18,00
0,08	7,40	5,98	5,55	1,56	3,39	10,91
Suelo adecuado (a)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo adecuado (b)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 26
2,0	100,00
0,40	68,20
0,08	4,37
Suelo adecuado (a)	NO CUMPLE
Suelo adecuado (b)	CUMPLE
Suelo seleccionado	NO CUMPLE

Tabla 17. Clasificación de los suelos (adecuados o seleccionados) según el PG-3

Fuente: GAN-NIK



No obstante, dentro de la clasificación como suelo seleccionado también se puede considerar como tal si se verifican todas estas características:

- ✓ Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).
- ✓ Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).
- ✓ Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25\%$).
- ✓ Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.
- ✓ Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

Comparando estas especificaciones con los resultados de los áridos que no cumplían con la primera condición para clasificarse como suelo seleccionado, se obtiene que no se puede clasificar la muestra 05 y 19 por no conocerse sus condiciones plásticas. Del resto, todas las muestras podrían ser clasificadas como suelo seleccionado a excepción de la muestra 26

TAMICES	MUESTRA 05	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 13	MUESTRA 14
2,0	39,00	26,00	41,00	24,00	24,00	30,00
0,40	17,80	18,00	23,00	17,00	16,00	17,00
0,08	6,64	12,40	12,00	11,00	11,00	8,30
LL	Desconocido	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
IP	Desconocido	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Suelo seleccionado (1)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (2)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (3)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (4)	DESCONOCIDO	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (5)	DESCONOCIDO	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

TAMICES	MUESTRA 18	MUESTRA 19	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
2,0	46,00	47,00	34,00	32,00	100,00
0,40	18,00	19,60	15,20	18,00	68,20
0,08	10,30	10,55	3,39	10,91	4,37
LL	No plástico	Desconocido	No plástico	No plástico	No plástico
IP	No plástico	Desconocido	No plástico	No plástico	No plástico
Suelo seleccionado (1)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
Suelo seleccionado (2)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (3)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (4)	CUMPLE	DESCONOCIDO	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (5)	CUMPLE	DESCONOCIDO	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 18. Verificación de la segunda condición para considerar suelo seleccionado establecido en el PG-3

Fuente: GAN-NIK



GRAVACEMENTO Y SUELOCEMENTO:

En el caso del empleo como gravacemento o suelocemento en firmes, el PG-3 establece 4 tipos diferentes, 2 para gravacemento y 2 para suelocemento, en función de su granulometría (ver anejo 5). En función de estas clasificaciones se especifican ciertas limitaciones para cada caso como la restricción de utilizar SC20 sólo en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4 y en arcenes.

Si comparamos los husos granulométricos del PG-3 con los resultados granulométricos de las muestras, se obtiene que para el tipo GC32 de gravacemento podrían valer varios áridos, concretamente los de las muestras 03, 04, 09, 11, 13, 20, 21 y 25.

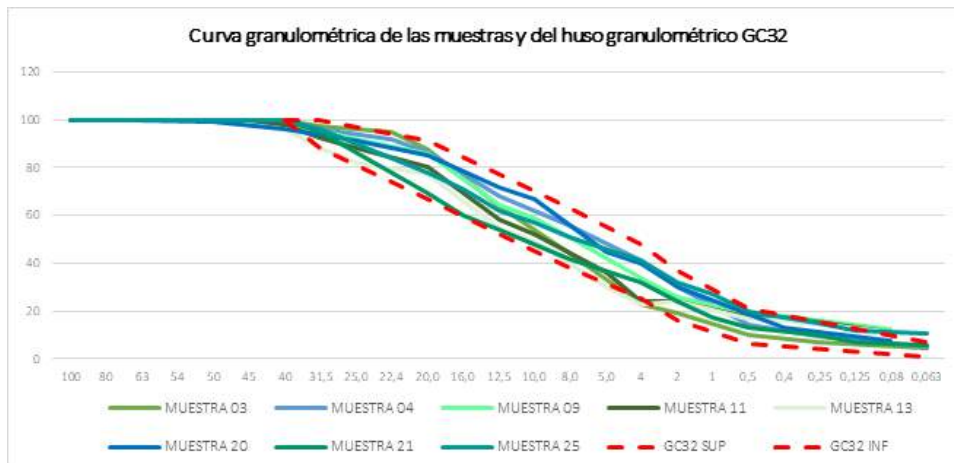


Figura 6. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico GC32 del PG-3

Fuente: GAN-NIK



En el caso de la gravacemento tipo GC20 se obtiene que se ajustarían a su huso granulométrico las muestras 04, 05, 09, 20 y 25.

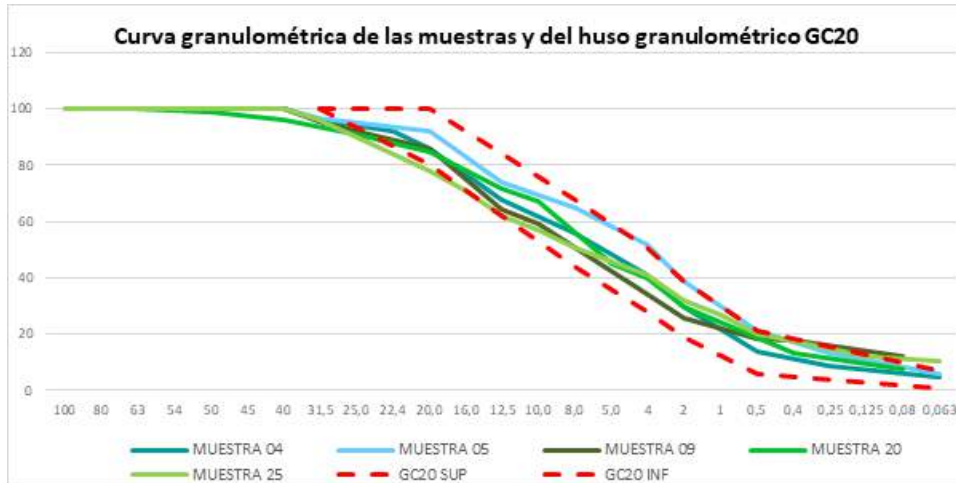


Figura 7. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico GC20 del PG-3

Fuente: GAN-NIK

Para el empleo como suelocemento, las muestras que cumplirían los husos granulométricos de SC40 son numerosas: 04, 05, 09, 10, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 24 y 25. Sin embargo, para SC20 sólo cumplen las muestras 5, 18 y 19 y con algún ajuste sobre la muestra 26, podría entrar dentro de esta tipología.

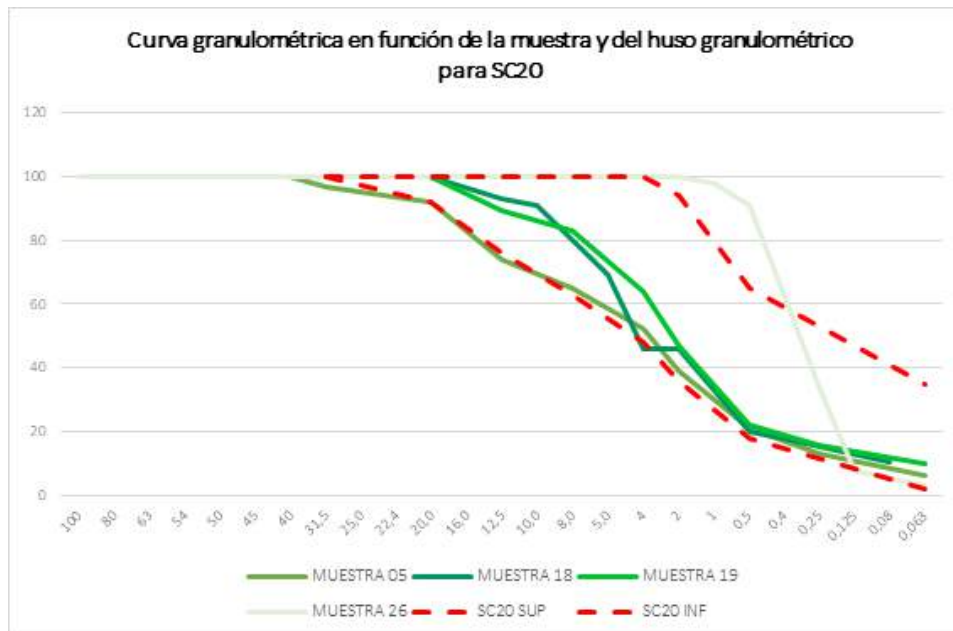


Figura 8. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico SC40 del PG-3

Fuente: GAN-NIK

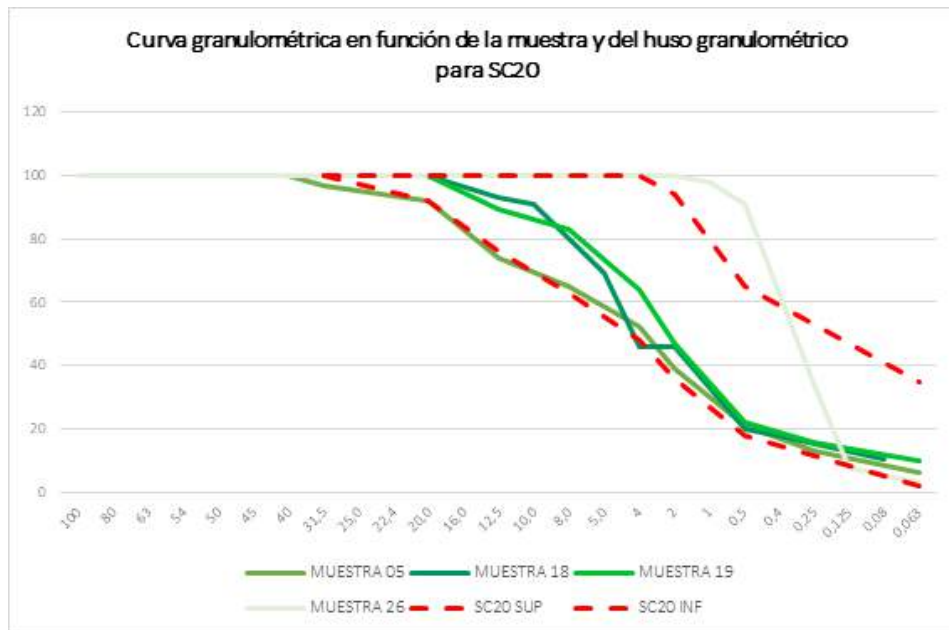


Figura 9. Curvas granulométricas de los áridos reciclados que cumplirían el huso granulométrico SC20 del PG-3

Fuente: GAN-NIK

2.1.2. Índice de lajas

La forma de las partículas del árido grueso es fundamental para garantizar la capacidad resistente del mismo. Las partículas en forma de lajas o alargadas-lajosas (también denominadas agujas) pueden romperse con facilidad, modificando la capacidad resistente del mismo. Es por ello, que para el uso de carreteras u hormigones se fija unos valores máximos con el fin de garantizar el comportamiento adecuado del material de acuerdo con la norma UNE-EN 933-3.

Los resultados para este ensayo lo tenemos para 10 muestras: muestra 01, muestra 02, muestra 03, muestra 04, muestra 19, muestra 21, muestra 22, muestra 23, muestra 24 y muestra 25. Se comparan con los límites máximos para hormigón y para para su uso en firmes bien sea a base de materiales granulares o con aplicaciones ligadas como suelocemento y gravacemento. Para el suelocemento y la gravacemento se permite un límite más flexible en el caso de utilizarse en arcenes, 40, o en calzadas de categoría de tráfico T3 y T4, 35 aunque en el gráfico sólo se ha indicado el más restrictivo, 30. En general, todas las muestras analizadas tienen un índice adecuado para emplearse en el hormigón y en firmes a base de zahorras. Si se quiere elaborar suelocemento o gravacemento también tienen un índice de lajas apto para ello a excepción de la muestra 24 que sólo se podría utilizar en calzadas previstas con un tráfico pesado de categoría T3-T4 y en arcenes.

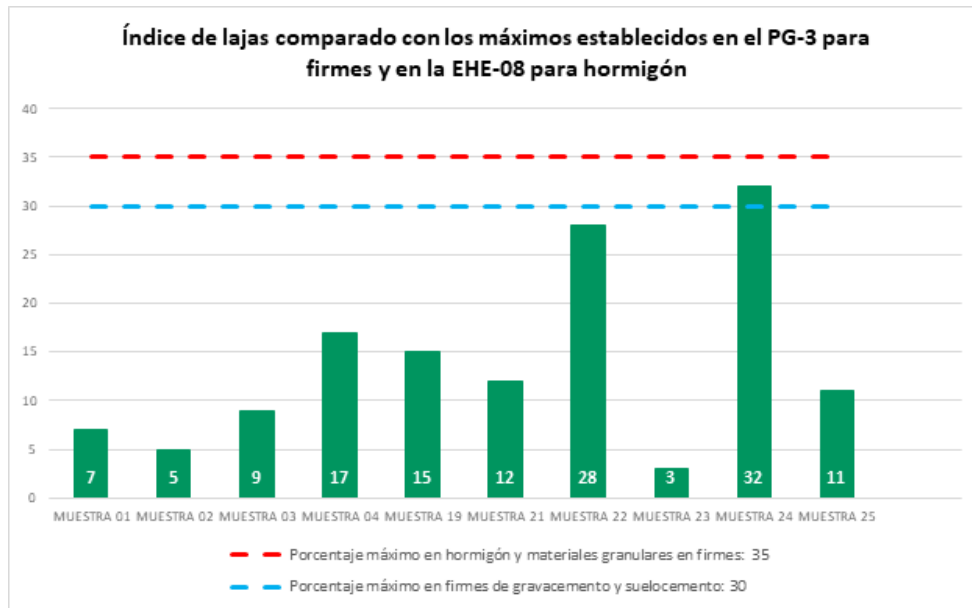


Figura 10. Índice de lajas comparado con los valores más restrictivos para su empleo en hormigones, según la EHE-08, y para su empleo en firmes como zahorras, suelocemento y gravacemento, según el PG-3

Fuente: GAN-NIK

2.1.3. Partículas fracturadas y partículas redondeadas

Con el ensayo UNE-EN 933-5 se determina el porcentaje de partículas en función de las caras de fractura de la fracción de árido grueso. Los áridos que presenten aristas angulosas provocan que haya mayor rozamiento entre sí y, por consiguiente, compuestos más resistentes a la compresión.

Esta característica se debe a tener en cuenta, según el PG-3, en materiales granulares para firmes de carreteras y en la elaboración de gravacemento o suelocemento. Los límites de cada uso están establecidos en los anejos correspondientes de este documento que estarán condicionados según la categoría de tráfico o el lugar de empleo dentro de la plataforma de la carretera.

Este ensayo se ha realizado sobre 8 áridos reciclados diferentes: muestra 03, muestra 04, muestra 19, muestra, 21, muestra 22, muestra, 23, muestra 24 y muestra 25.

Porcentaje de partículas (%)	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 19	MUESTRA 21
Trituradas	56	57	39	97
Redondeadas	44	43	61	3

Porcentaje de partículas (%)	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25
Trituradas	99	100	98	97
Redondeadas	1	0	2	3

Tabla 19. Porcentaje de partículas trituradas y redondeadas de los áridos reciclados a estudio

Fuente: GAN-NIK



El árido reciclado denominado muestra 19 no podría utilizarse como material granular en firmes de carreteras. En el caso de muestra 3 y muestra 4 se podría utilizar calzadas de categoría de tráfico T3-T4 y en arcenes de categoría de tráfico T1-T4. Las muestras 21, 22, 24 y 25 se podrían emplear en bases y subbases de calzadas con categoría de tráfico de T1-T2 y en arcenes de T00-T0. Solamente la muestra 23 tendría un porcentaje de partículas trituradas adecuado para todo tipo de firmes independientemente de la categoría de tráfico pesado.

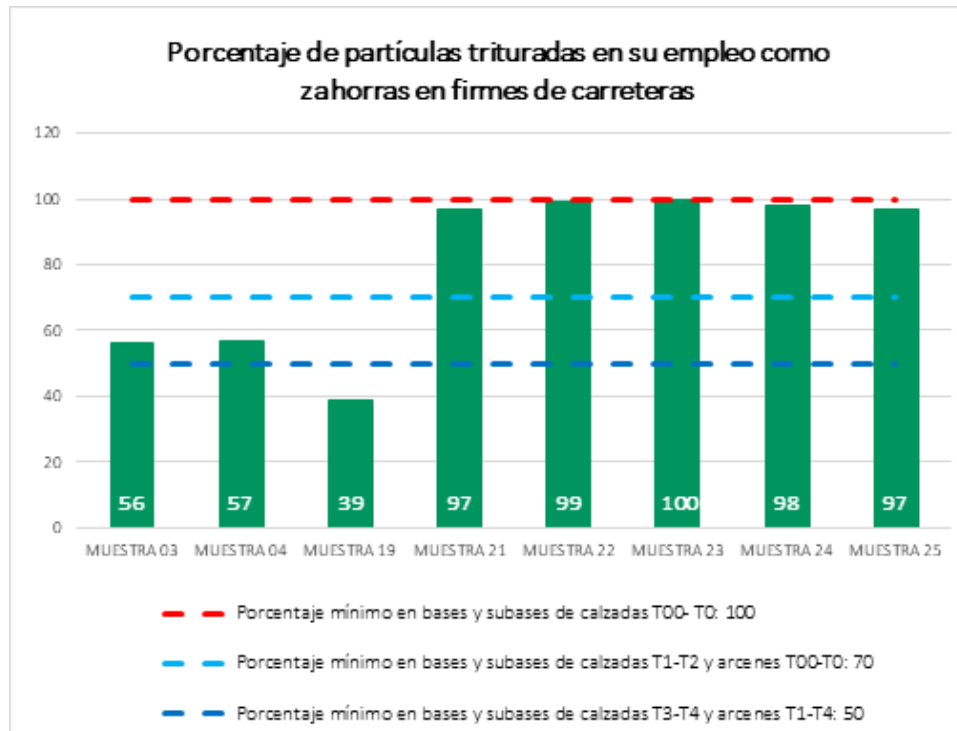


Figura 11. Comparativa del porcentaje de partículas trituradas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como zahorras en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)

Fuente: GAN-NIK

A parte del porcentaje de partículas trituradas, el PG-3 también establece unos límites para el uso como zahorras en firmes de carreteras. Sin embargo, este valor no ha sido proporcionado ni para la muestra 03, 04 y 19 con lo que no se analizará el resultado de estas muestras. La muestra 23 tendría un porcentaje válido de partículas redondeadas para cualquier tipo de carretera y las muestras 21, 22, 24 y 25 serían aptas para calzadas T1-T4 y arcenes T00-T4

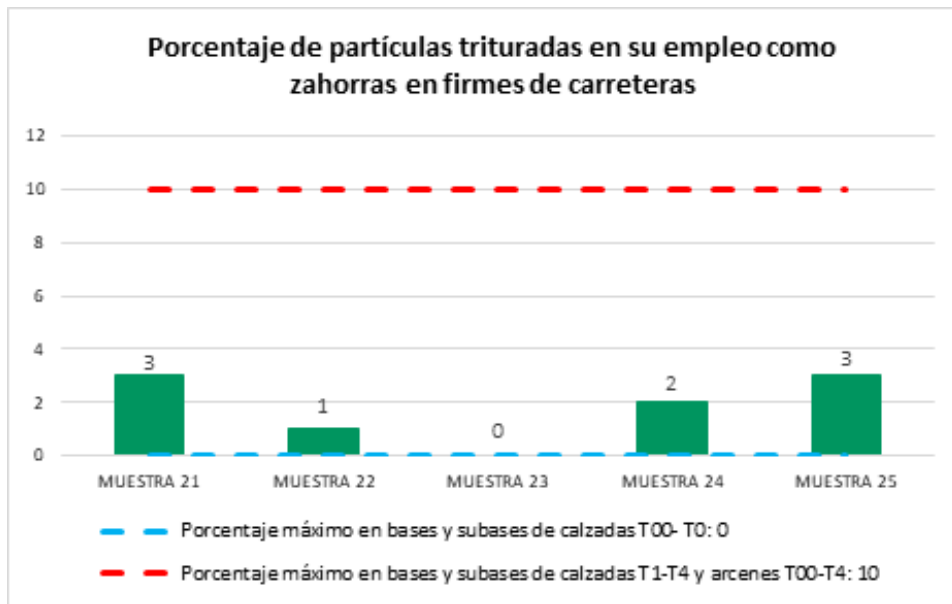


Figura 12. Comparativa del porcentaje de partículas redondeadas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como ahorras en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)

Fuente: GAN-NIK

En el caso de aplicación para gravacemiento, las muestras 21, 22, 23, 24 y 25 son válidos para todo tipo de calzada y arcén tanto por el porcentaje de partículas trituradas como redondeadas. En calzadas previstas con una categoría de tráfico máxima pesada T2 serían válidas las muestras 03 y 04 y los áridos reciclados correspondiente a la muestra 19 sólo podría emplearse en calzadas y arcenes de categoría T3-T4.

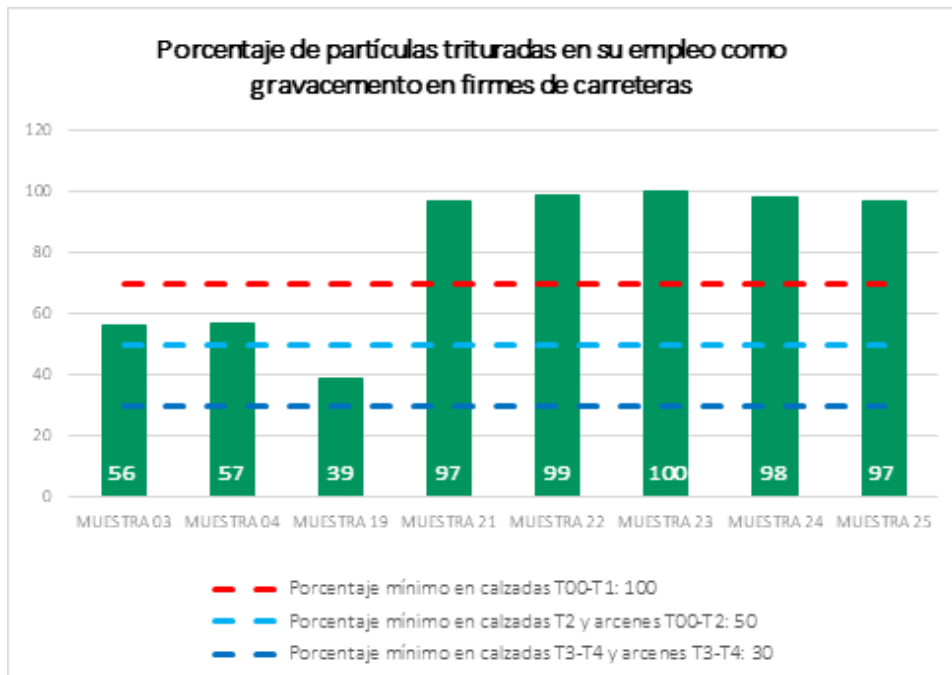


Figura 13. Comparativa del porcentaje de partículas trituradas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como gravacemiento en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)

Fuente: GAN-NIK

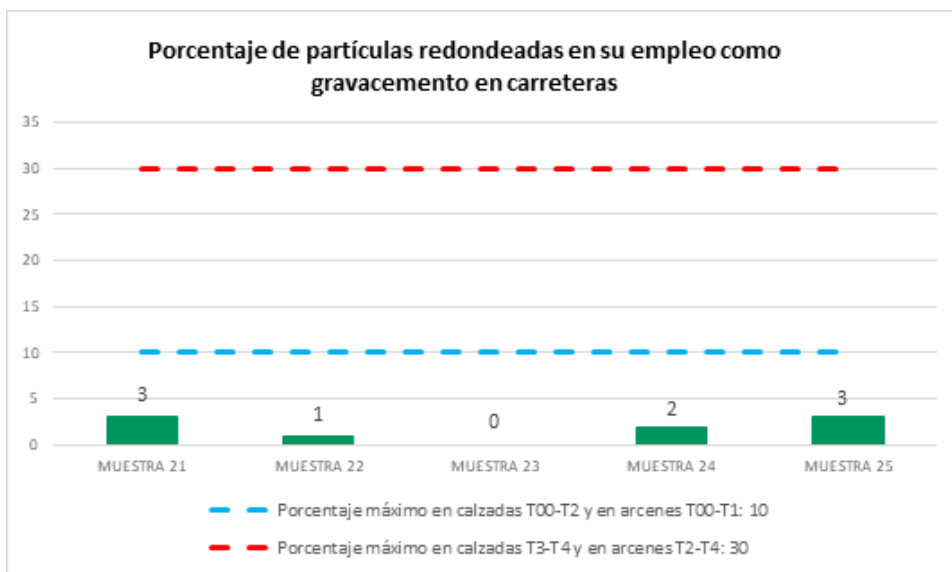


Figura 14. Comparativa del porcentaje de partículas redondeadas de los áridos reciclados a estudio para su empleo como gravacemento en firmes de carreteras (límites establecidos en el PG-3)

Fuente: GAN-NIK

2.2. Requisitos físico-mecánicos

2.2.1. Clasificación de los áridos reciclados

Como se ha establecido en el punto 1.4 de este documento, se recomienda clasificar los áridos reciclados en función de la composición de su fracción gruesa de acuerdo con la norma UNE-EN 933-11. Sin embargo, esta clasificación no debe ser determinante para la aceptación o el rechazo de un árido reciclado ya que su viabilidad viene dada por sus características geométricas, físico-mecánicas y químicas en función de la aplicación en la que se quiera emplear.

En los ensayos proporcionados por los gestores autorizados no consta ningún resultado acorde con este ensayo por lo que únicamente se analizarán los resultados de las muestras 21, 22, 24 y 25.

COMPONENTE (%)	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 24	MUESTRA 25
Rc	68	29	27	47
Ru	18	42	18	27
Rb	8	25	51	23
Ra	4	0	4	0
Rg	1	1	0	0
X	1	3	0	3
Rc+Ru	86	71	45	74

Tabla 20. Composición de la fracción gruesa de las muestras analizadas

Fuente: GAN-NIK



En función de la clasificación de la tabla 8, tenemos que las muestra 21 y 24 se pueden clasificar como ARMh y ARMc respectivamente. El resto de muestras no podrían ajustarse a esta clasificación ya que el porcentaje de impropios (X) es mayor al límite establecido, 1. Sin embargo, no hay que descartar otras clasificaciones propuestas en otras guías, como las “Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD’s” de Castilla y León, que aceptan valores de impropios más altos para clasificaciones de suelos reciclados. No obstante, no se ha podido comparar las muestras analizadas con esta clasificación ya que no se ha proporcionado otros componentes incluidos en esta guía como el yeso o el material flotante.

CLASIFICACIÓN	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25
Árido reciclado de hormigón (ARH)					
Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)					
Árido reciclado mixto de cerámicos (ARMc)					
Árido reciclado mixto con asfalto (ARMa)					

Tabla 21. Clasificación de las muestras analizadas en función de la composición de su fracción gruesa

Fuente: GAN-NIK

2.2.2. Absorción de agua

Los áridos reciclados tienen mayor absorción que los áridos naturales debido al mortero adherido en sus partículas. Para la elaboración del hormigón con áridos reciclados gruesos se debe controlar este parámetro de acuerdo con la norma UNE EN 1097-6. En otras aplicaciones no se exige un control de la absorción de agua, pero puede ser interesante cara a una buena ejecución.

Este parámetro se ha analizado en 6 muestras: muestra 02, muestra 19, muestra 21, muestra 22, muestra 24 y muestra 25. Si comparamos las exigencias que incorpora el Anejo 15 de la EHE-08, sólo las muestras 02 y 19 podrían aplicarse en hormigones reciclados con menos del 20% de árido reciclado grueso ya que la absorción para estos casos no puede ser superior al 7%. En cambio, si se elabora un hormigón con una proporción mayor al 20% de árido reciclado, el límite de absorción es 5% siendo únicamente válido el árido reciclado denominado muestra 19.

MUESTRA 02	MUESTRA 19	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 24	MUESTRA 25
6,50	2,90	8,34	7,06	9,78	10,14

Tabla 22. Absorción (%) de las muestras a estudio.

Fuente: GAN-NIK



2.2.3. Coeficiente de los Ángeles

El ensayo de desgaste de los Ángeles tiene como objetivo determinar la resistencia a la fragmentación de los áridos y se realiza de acuerdo con la norma UNE EN 1097-2. Cuanto mejor resistencia al desgaste tenga un árido, menor diferencia habrá entre sus masas, antes y después de ser ensayado, y, por tanto, menor será su coeficiente de Los Ángeles. La resistencia a fragmentación de los áridos es clave para asegurar una resistencia y durabilidad tanto en firmes como en hormigón.

Este análisis se ha realizado en estas muestras: 01, 02, 03, 04, 15, 19, 21, 22, 23, 24 y 25 cuyos resultados se compararán con los especificados en la EHE-08 para hormigón estructural y no estructural, para firmes de carreteras a base de zahorras y para firmes de carreteras ejecutados con gravacemento.

En el primer caso, para su uso en hormigón estructural o no estructural, en 7 de cada 11 áridos reciclados en los que se ha realizado este ensayo tendrían un coeficiente de los Ángeles adecuado para esta aplicación.

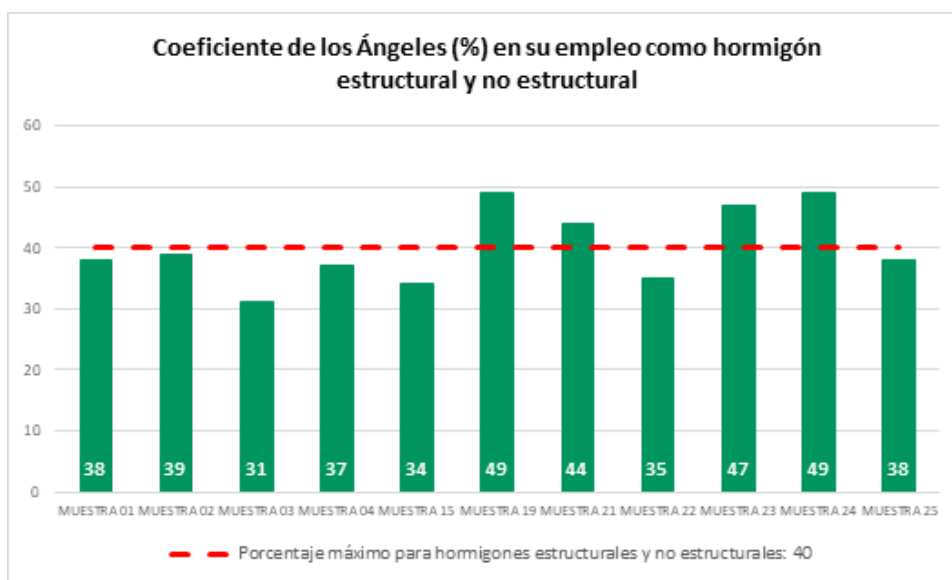


Figura 15. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles de las muestras a estudio con los límites establecidos en la EHE-08 para hormigones estructurales y no estructurales

Fuente: GAN-NIK

El requerimiento máximo de este coeficiente en firmes como establece el PG-3 depende del tráfico, siendo más limitante si se trata de una carretera con alta intensidad de tráfico pesado. Ningún árido reciclado tendría una óptima resistencia a la fragmentación para categorías de tráfico pesado intenso. Para bases y subbases de calzadas de categoría T3-T4 y arcenes T00-T4 serían válidas 3 muestras de 11; concretamente las muestras 03, 15 y 22. Además, el PG-3, se establece que los límites para este coeficiente puede ser 5 unidades superior siempre y cuando la granulometría esté adaptada a la ZAD 20. Este criterio puede ser interesante si se consiguiese una granulometría adecuada sobre todo en las muestras 01, 02 y 25.



En caso de querer emplear los materiales muestreados para fabricar gravacemiento se descartarían estos materiales si su aplicación es en calzadas de alta intensidad de tráfico pesado (T00-T0). Las muestras 03, 15 y 22 son adecuada para calzadas diseñadas para categorías de tráfico pesado de T1 a T4 y para arcenes. Las muestras 01, 02, 04 y 25 sólo presentan una resistencia a la fragmentación óptima para aplicaciones de gravacemiento en arcenes.

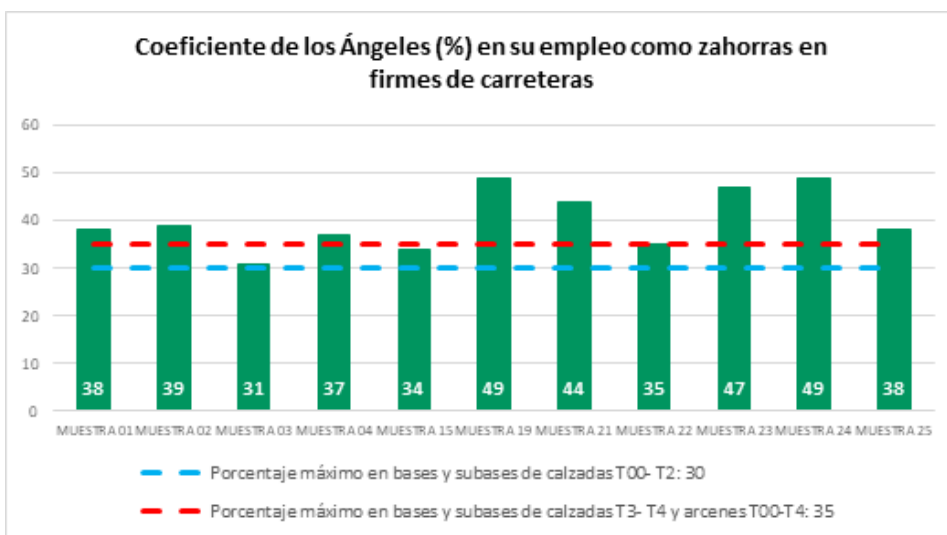


Figura 16. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para zahorras en firmes de carreteras

Fuente: GAN-NIK

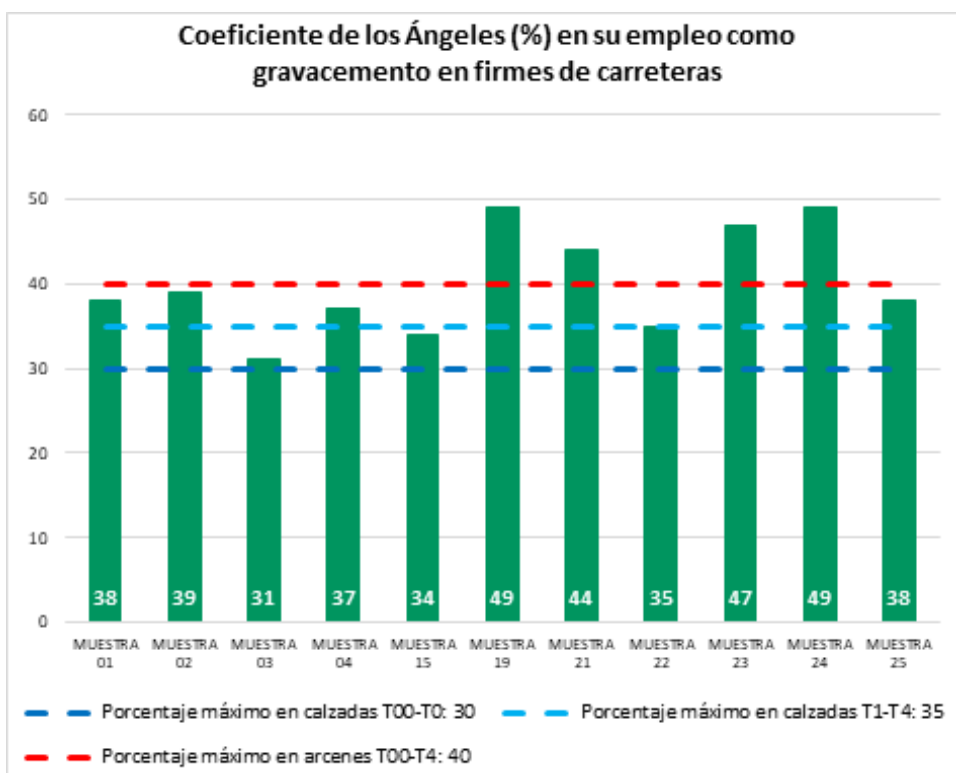


Figura 17. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemiento de carreteras

Fuente: GAN-NIK



2.2.4. Pérdida de peso con sulfato magnésico

El ensayo según la norma UNE-EN 1367-2 sirve para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos, en concreto la pérdida de peso con sulfato magnésico. Se ha analizado este parámetro en 4 muestras, concretamente en la 21, 22, 24 y 25.

Tanto para firmes de carreteras a base de zahorras como para hormigones se limita en las normativas correspondientes la pérdida de peso con sulfato magnesio, ensayado de acuerdo con la norma UNE EN 1367-2, al 18%. Ninguna de las muestras analizadas bajo esta norma cumpliría con este requisito.

MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 24	MUESTRA 25
24	23	42	21

Tabla 23. Pérdida de peso con sulfato magnésico (%) de las muestras a estudio

Fuente: GAN-NIK

2.2.5. Límite de Atterberg

Estos ensayos sirven para analizar la consistencia de un suelo. Para el límite líquido (LL) se utiliza la norma UNE 103103 y el límite plástico (LP) se rige por la norma UNE 103104. Una vez definidos el límite líquido y límite plástico puede determinarse el índice de plasticidad (IP) puesto que es la diferencia entre ambos: $IP=LL-LP$. Este índice representa el intervalo de humedades desde el estado semisólido a semilíquido y al igual que los límites, es frecuentemente utilizado para la caracterización de suelos cohesivos. Por tanto, estos parámetros se deben controlar, según el PG-3, en terraplenes, en firmes a base de zahorras, suelocemento y gravacemento.

Este parámetro se ha analizado en 16 muestras cuyos resultados son óptimos para cualquier aplicación ya que es un material no plástico.

PARÁMETRO	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12
Límite líquido	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Límite plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Índice de plasticidad	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico

PARÁMETRO	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 18	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22
Límite líquido	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Límite plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Índice de plasticidad	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico

PARÁMETRO	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
Límite líquido	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Límite plástico	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico
Índice de plasticidad	No plástico	No plástico	No plástico	No plástico

Tabla 24. Resultados de los límites de Atterberg en las muestras a estudio.

Fuente: GAN- NIK



2.2.6. Hinchamiento libre

El ensayo de hinchamiento libre de acuerdo con la norma UNE 103601 permiten obtener valores cuantitativos sobre la capacidad expansiva del suelo. Se denomina hinchamiento libre, al incremento de altura, expresado como tanto por ciento del valor inicial, que experimenta una probeta de suelo cuando se encuentra confinada lateralmente, sometida a una presión vertical de 10 kPa y se inunda de agua.

Este ensayo se incluye en el apartado de terraplén PG-3 para la caracterización del suelo como marginal o tolerable. Además, se recomienda analizar este parámetro en suelos con alta concentración de yesos, material que se encuentra en cantidades significativas en los áridos reciclados.

Se tiene el resultado del ensayo UNE 103601 de 5 muestras cuyos resultados están dentro del rango establecido tanto para suelo tolerable como para marginal.

MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
0,05	0,17	0,03	0,11	0,01

Tabla 25. Hinchamiento libre (%) según la norma UNE 103601 de las muestras a estudio

Fuente: GAN- NIK

2.2.7. Asiento de colapso

El ensayo de colapso de suelos según la norma NLT 254 tiene por objeto determinar la magnitud del colapso unidimensional que se produce cuando se inunda un suelo semisaturado. Un suelo colapsable puede experimentar deformaciones verticales pequeñas bajo el efecto de presiones verticales importantes, mientras su contenido de humedad sea bajo. Sin embargo, puede sufrir asientos importantes al ser inundado, manteniéndose constante la presión vertical.

Al igual que el parámetro de hinchamiento libre, el asiento de colapso según la norma NLT 254 es un criterio incluido en la clasificación de suelo tolerable del PG-3 cuyo valor límite es inferior a 1. También es un parámetro a analizar en suelos con concentraciones de yeso superiores al 2%.

Este parámetro se ha analizado en 5 muestras aunque se ha aplicado la norma UNE 103406. Los resultados obtenidos tienen un valor inferior al 1%.

MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
0,02	0,105	0,025	0,093	0,073

Tabla 26. Asiento de colapso (%) según la norma UNE 103406 de las muestras a estudio

Fuente: GAN- NIK



2.2.8. Índice CBR

El CBR es un indicador utilizado para medir la capacidad portante, generalmente, de explanadas, bases y subbases de firmes. El ensayo se rige por la norma UNE 103502 y generalmente, se realiza en condiciones de humedad y densidad controladas. Los resultados más cercanos al 0% presentan peor calidad y los próximos a 100%, mejor calidad. Es común requerir este ensayo tanto en carreteras como en caminos rurales.

Se cuenta con resultados del índice CBR de 15 áridos reciclados cuyos resultados son los siguientes:

MUESTRA 01	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12	MUESTRA 13	MUESTRA 14
122,2	15,6	33,7	28,3	31,4	31,4	27

MUESTRA 18	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
150	120	67	69	81	78	115	10

Tabla 27. Resultados del índice CBR según la norma UNE 103502 de las muestras a estudio.

Fuente: GAN- NIK

Para la ejecución de terraplenes y explanadas se establecen criterios para el índice del CBR en el PG-3 y en la Norma 6.1 I.C que se resumen en la tabla 28 de este documento.

USO ESPECÍFICO	CBR (%), según UNE 103502		
	Suelos seleccionados	Suelos adecuados	Suelos tolerables
Explanadas	$\geq 10^1$ ó ≥ 20	$\geq 5^2$	≥ 3
Terraplenes	Coronación	≥ 5	≥ 5
	Núcleo	≥ 3	≥ 3
	Cimiento	≥ 3	≥ 3
Rellenos localizados (Artículo 332 del PG-3)	> 10 ó >20 (para trasdós de obra de fábrica)	> 10 ó >20 (para trasdós de obra de fábrica)	-

¹ En el caso de emplearse para las capas superiores de la explanada deberá tener, en las condiciones de puesta en obra, CBR ≥ 12 . Además, en el caso de formación de explanadas de categoría E2 sobre suelos seleccionados se deberá exigir un CBR mínimo de 12.

² En el caso de emplearse para las capas superiores de la explanada deberá tener, en las condiciones de puesta en obra, CBR ≥ 6 . Además, en el caso de formación de explanadas de categoría E1 sobre suelos adecuados se deberá exigir un CBR mínimo de 6.

Tabla 28. Requisitos sobre el índice CBR

Fuente: GAN- NIK

Comparando estos límites con los resultados de las muestras analizadas la mayoría de los áridos reciclados tienen un índice de CBR adecuado para estas aplicaciones a excepción de la muestra 26 que podría presentar alguna limitación en su uso.



2.2.9. Equivalente de arena

Este ensayo se realiza según la norma UNE-EN 933-8 y sirve para evaluar la calidad de los áridos desde un punto de vista de su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica. Este ensayo se exige en el PG-3 para firmes ejecutados con zahorras, suelocemento o gravacemento.

Este ensayo se ha realizado en 9 muestras diferentes cuyos resultados son los siguientes:

MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
03	04	19	21	22	23	24	25	26
56	57	39	29	31	55	49	39	44

Tabla 29. Resultados del ensayo equivalente de arena según la norma UNE EN 933-8 de las muestras a estudio

Fuente: GAN- NIK

En el caso de firmes dependerá de la intensidad media del tráfico pesado previsto y de la zona de la plataforma donde se utilice. A excepción de la muestra 21, todos tendrían un coeficiente equivalente de arena acorde para utilizarse en arcenes T3 y T4. Las muestras 3,4,23,24 y 26 serán válidas para cualquier tipo de calzada y arcén las muestras 19 y 25 se podrían aplicar en bases y subbases de calzadas T2-T4 y en arcenes T00-T2. Las muestras 3,4,23,24 y 26 serán válidas para cualquier tipo de calzada y arcén.

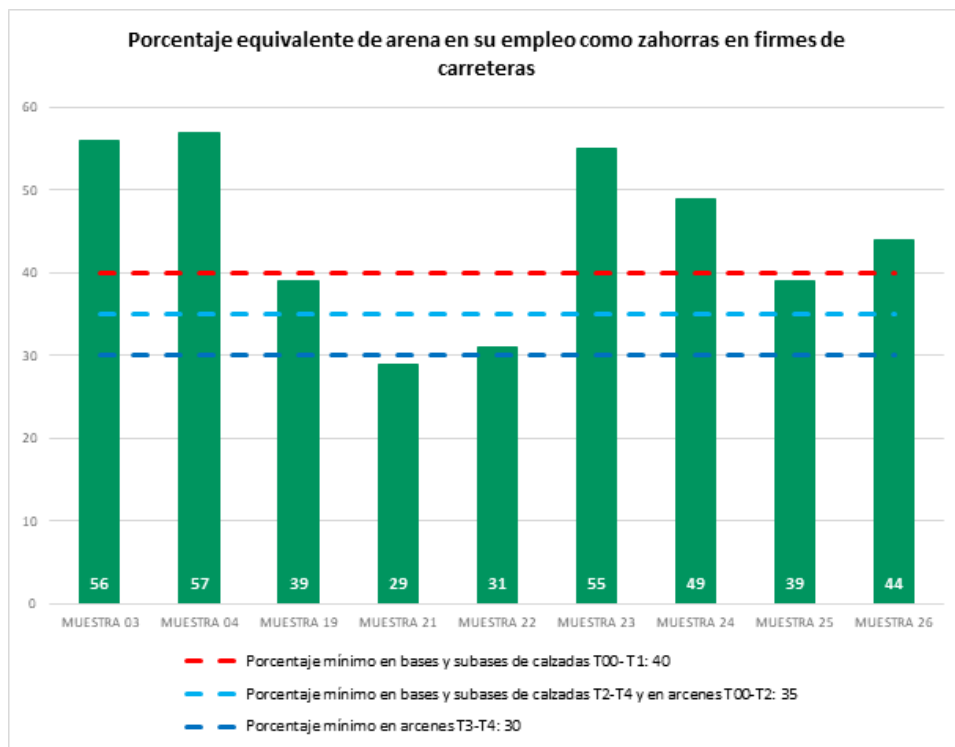


Figura 18. Comparativa del equivalente de arena de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con zahorras

Fuente: GAN-NIK



En el caso de la gravacemiento depende de la intensidad media de tráfico pesado, el tipo de gravacemiento (GC32 y GC20) y si se emplea en calzadas o en arcenes. Sus límites oscilan entre 40 para GC20 y 35 para G32. En este caso, las muestras 03, 04, 23, 24 y 26 tendrían un coeficiente equivalente de arena adecuado para cualquier tipo de gravacemiento. En cambio, las muestras 19 y 25 sólo podrían emplearse para fabricar una gravacemiento tipo GC32 y quedan excluidas para este uso las muestras 21 y 22.

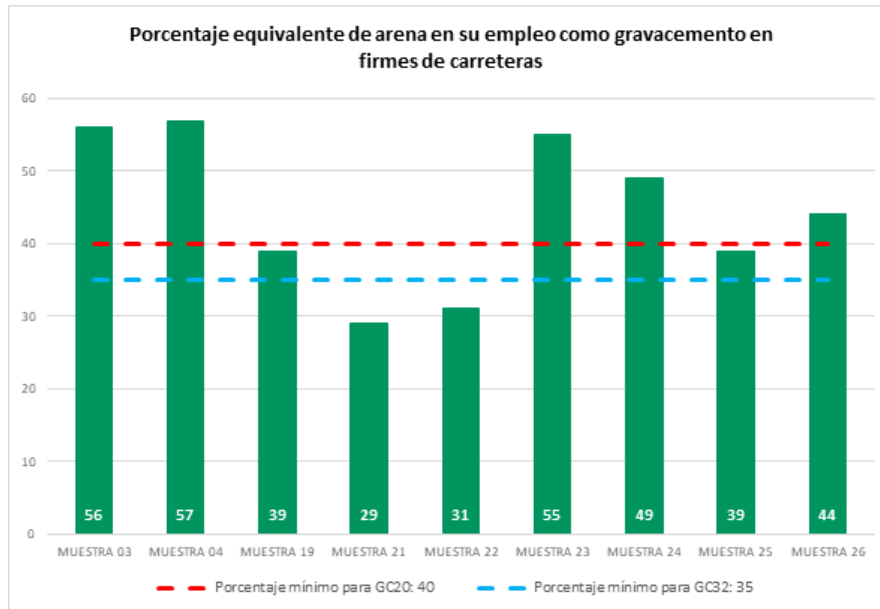


Figura 19. Comparativa del equivalente de arena de las muestras a estudio con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con gravacemiento

Fuente: GAN-NIK

2.2.10. Próctor normal modificado

Estos ensayos son los más habituales para determinar la calidad de la compactación tanto en un terraplén como en una explanada. El ensayo próctor normal se rige por la norma UNE 103500 y el próctor modificado por la UNE 103501. En ambos ensayos se debe determinar la humedad óptima y la densidad máxima seca así como la curva de compactación.

Los resultados obtenidos son los incluidos en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12
Densidad máxima	1,97	1,92	2,14	2,18	2,12	2,14
Humedad óptima	10,42	6,54	7,1	6,3	6,7	6,4

PARÁMETRO	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23
Densidad máxima	2,11	2,15	1,84	1,78	1,82	2,16
Humedad óptima	8,2	6,9	14,5	10,7	11,3	2,5

PARÁMETRO	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
Densidad máxima	1,82	1,77	1,66
Humedad óptima	10,5	10,3	6,9

Tabla 30. Densidad máxima y humedad óptima alcanzada mediante los ensayos de Proctor Modificado o Normal

Fuente: GAN-NIK



2.3. Requisitos químicos

2.3.1. Contenido de azufre, de sulfatos solubles y cloruros totales

El ensayo normalizado mediante la UNE 1744-1 permite determinar el contenido de azufre total, cloruros totales o sales solubles según sea requerido en las normativas vigentes, EHE-08 y PG-3.

USO	PARÁMETRO	LÍMITES	
Hormigón	Sulfatos solubles en ácido	≤ 0,8	
Zahorras	Cloruros totales	≤ 0,05	
	Azufre total	Sin contacto con capas de cemento	< 1
		Con contacto con capas de cemento	< 0,5
	Sulfatos solubles	< 0,7	

Tabla 31. Parámetros con sus límites a controlar mediante el ensayo UNE 1744-1 según la aplicación

Fuente: GAN-NIK

En la aplicación de hormigón se incluyen valores para los sulfatos solubles en ácido y los cloruros totales pero del primero de ellos no se tiene datos. Lo mismo ocurre con la gravacemento que tiene unos requisitos para el azufre total y sales solubles en ácido según el PG-3 pero tampoco se tiene resultados sobre los sulfatos solubles en ácido.

Este ensayo, o similar, se ha realizado en las muestras establecidas en la tabla 32.

Parámetro (%)	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 18	MUESTRA 21	MUESTRA 22
Contenido de sulfatos solubles	-	0,03 ¹	-	2,110	0,890
Contenido de cloruros totales	-	-	-	0,006	0,001
Contenido de compuestos de azufre	0,873	1,418	4,71	1,700	1,160

Parámetro (%)	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
Contenido de sulfatos solubles ¹	0,040	0,450	1,280	0,05
Contenido de cloruros totales	0,001	0,004	0,002	0,004
Contenido de compuestos de azufre	0,030	0,370	1,480	0,030

¹ Los sulfatos solubles en la muestra 4 se han determinado con la norma UNE 103201/96.

Tabla 32. Resultados del contenido de sulfatos solubles en agua, cloruros totales y los compuestos de azufre totales de las muestras a estudio

Fuente: GAN- NIK

Si se comparan estos resultados con los requisitos para zahorras de firmes de carretera, serían válidas las muestras 23 y 26 tanto si está en contacto con capas de cemento como si no. Las muestras 3 y 24 presentan un valor adecuado de azufre total para su empleo cuando no estén en contacto con capas de cemento, aunque la muestra 3 no puede ser validada por no tener resultado en el contenido de sulfatos solubles.



2.3.2. Contenido de materia orgánica

Un contenido alto de materia orgánica en un suelo influye desfavorablemente en las capacidades mecánicas del suelo. Su determinación se realiza de acuerdo con la norma UNE 103204 y se exige su control tanto en terraplenes como en suelocemento de acuerdo con el PG-3. Para el empleo en terraplenes los límites máximos son 0,2%, 1%, 2% y 5% dependiendo de si se clasifica como suelo seleccionado, adecuado, tolerable o marginal respectivamente.

Se ha analizado el contenido de materia orgánica de 14 áridos reciclados cuyos resultados son los siguientes:

MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12	MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 18
0,05	0,08	0,15	0,12	0,14	0,07	1,20

MUESTRA 19	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
0,59	0,50	0,36	0,06	0,74	0,18	2,88

Tabla 33. Resultados del contenido de materia orgánica según la norma UNE 103204 de las muestras a estudio

Fuente: GAN- NIK

Si comparamos estos valores con los límites máximos para terraplenes, se concluye:

- ✓ 8 muestras de 14 tienen un contenido de materia orgánica óptima dentro de la clasificación de suelo seleccionado: 9/10/11/12/13/14/ 23 y 25.
- ✓ Adicionalmente a las muestras anteriores, otras 4 tendrían un porcentaje de materia orgánica apto para la denominación de suelo adecuado. 8 muestras+19,21/22/24
- ✓ Además de los anteriores áridos reciclados, la muestra 18 también podría ser válida como suelo tolerable.
- ✓ Solamente una muestra, la 26, quedaría clasificada como suelo marginal por su contenido de materia orgánica.

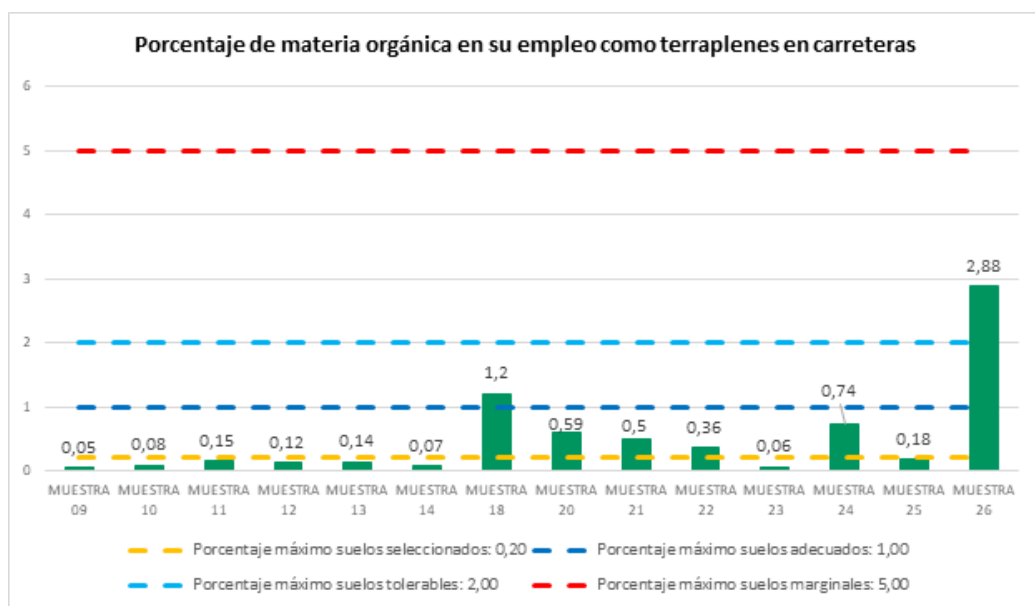


Figura 20. Resultados del contenido de materia orgánica (%) de las muestras a estudio en función del tipo de suelo

Fuente: GAN-NIK

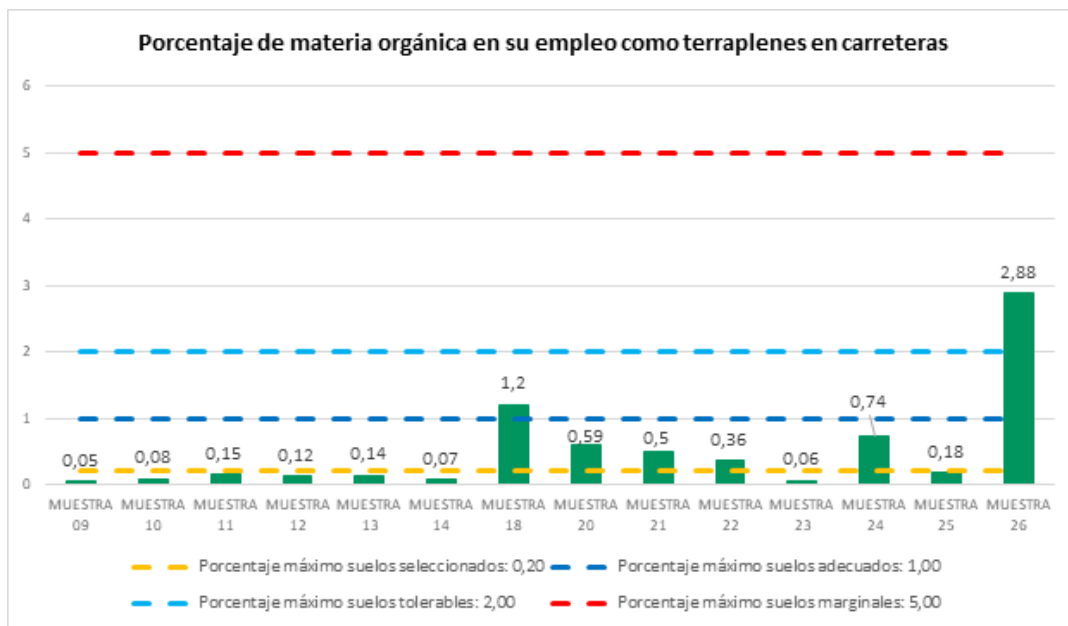


Figura 21. Resultados del contenido de materia orgánica (%) para su uso en suelocemento de las muestras a estudio
Fuente: GAN-NIK

2.3.3. Contenido de sales solubles

Respecto al límite para su empleo como suelocemento, máximo 1, sólo dos áridos reciclados quedarían excluidos de este uso, la muestra 18 y 26.

Un requerimiento del PG-3 para el uso de áridos en terraplenes es limitar el contenido de sales solubles. Estos ensayos se realizan de acuerdo con la norma NLT 114 para sales solubles y con la norma NLT 115 para el yeso. El límite máximo establecido para suelos seleccionados y adecuados es 0,2% incluyendo el yeso mientras que para suelos tolerables el contenido de sales solubles no puede ser mayor de 1% y el contenido de yeso de 5%. Cumplir con estas limitaciones es uno de los mayores problemas que tienen los áridos reciclados con lo que algunas guías autonómicas específicas para el empleo de áridos reciclados son más permisivas en estos límites.

La alta concentración de sales solubles y yesos puede originar inestabilidades del terreno debido a que estas sustancias en contacto con agua pueden disolverse. No obstante, un suelo que contiene yesos no quiere decir que no se pueda utilizar, sino que hay que realizar ciertas comprobaciones adicionales, como de colapso y/o de expansividad, y ejecutar el terraplén de forma que se evite filtraciones de agua tal y como se establece en el artículo 330 de terraplenes PG-3.

Los resultados del contenido de sales solubles mediante el ensayo normalizado NLT 114 se ha realizado en 12 áridos reciclados mientras que el contenido de yeso de acuerdo con la NLT 115 se ha realizado en 7 de estos 12 áridos reciclados.



PARÁMETRO	MUESTRA 09	MUESTRA 10	MUESTRA 11	MUESTRA 12	MUESTRA 13	MUESTRA 14
Contenido de sales solubles (NLT 114)	0,08	0,12	1,86	0,18	0,19	0,14
Contenido de yesos (NLT 115)	0,05	-	-	-	-	-

PARÁMETRO	MUESTRA 18	MUESTRA 20	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 24	MUESTRA 25
Contenido de sales solubles (NLT 114)	4,71	3,65	2,49	1,45	1,83	2,26
Contenido de yesos (NLT 115)	9,12	4,09	6,60	8,10	2,20	9,10

Tabla 34. Resultados del contenido de sales solubles según la norma NLT 114 y del contenido de yeso según la norma NLT 115 de las muestras a estudio

Fuente: GAN- NIK

Si comparamos estos resultados con los valores límite fijados en el PG-3 se tienen las siguientes conclusiones:

- ✓ La mitad de las muestras cumplen con los requisitos especificados para suelos seleccionados o adecuados, concretamente las muestras 09, 10, 12, 13, 14 y 26.
- ✓ El resto de muestras tendrían valores superiores a los máximos especificados en el PG-3 para poder clasificarlos como suelos. Destaca la alta concentración de yesos en las muestras 18, 21, 22 y 25.

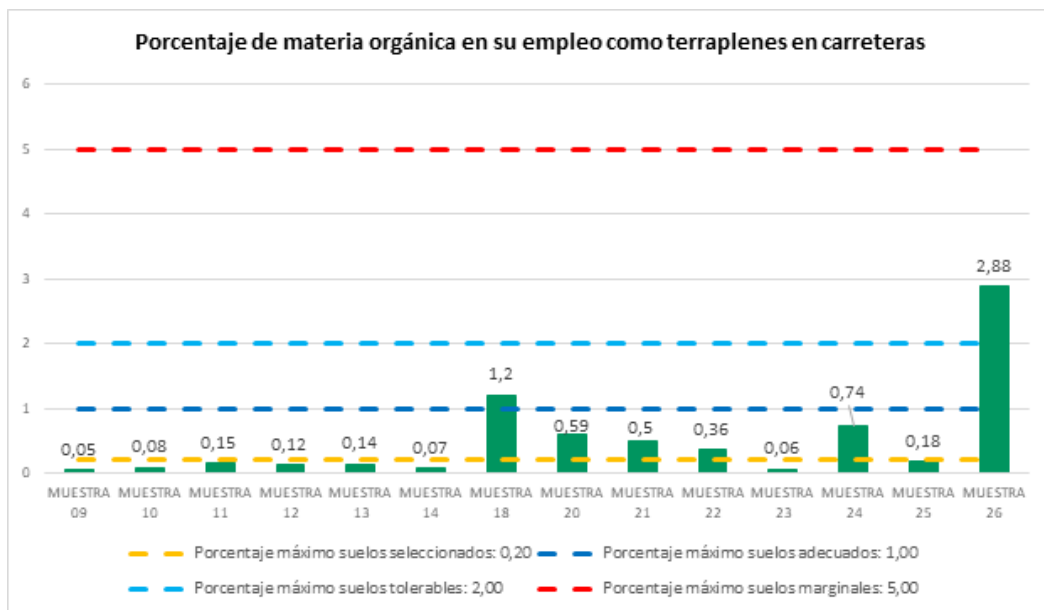


Figura 22. Resultados del Contenido de Sales solubles (%) en función del tipo de suelo

Fuente: GAN-NIK



2.3.4. Reactividad potencial con los álcalis de cemento

Para la aplicación del hormigón se debe garantizar que el árido no reacciona con el álcalis del cemento. En caso de producirse esta reactividad, se forman una especie de geles que en presencia de humedad se expanden, originando agrietamientos y movimientos diferenciales que conllevan a una disminución de la durabilidad del hormigón. Para comprobar que el árido no es reactivo, la EHE-08 y el Código Estructural recomiendan el ensayo según la norma UNE 146508.

Sólo se ha realizado este ensayo en la muestra 26 cuyo resultado es no reactivo.



2.4. Tabla resumen

A continuación, se hace unas tablas resúmenes para cada aplicación a estudio en función de si cumplen o no los ensayos realizados de la siguiente forma:

Cumple con el requisito establecido en la norma correspondiente
No cumple con el requisito establecido en la norma correspondiente
No existe resultado para este ensayo

Para el empleo del árido reciclado en el hormigón se exigen ciertos requisitos para la mezcla de árido natural y reciclado de los cuales no se tiene resultados, concretamente para el contenido de terrones de arcilla con la norma UNE 7133 y para el porcentaje de partículas ligeras UNE 7244. Por tanto, la caracterización del árido para este uso es incompleta además por la falta de todos los parámetros en todos los áridos.

APLICACIÓN: HORMIGÓN												
MUESTRAS	Requisitos Geométricos			Requisitos Físico-mecánicos				Requisitos Químicos				
	UNE 933-1/ UNE 933-2		UNE-EN 933-3	UNE 933-11	UNE 7133	UNE EN 1097-6	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1367-2	UNE EN 1744-1		UNE EN 1097-6	UNE 7244
	Granulometría	Descalcificado	índice lajas	Composición	Descalcificado terrones arcilla	Absorción	Coefficiente de los Ángeles	Pérdida de sulfato magnésico	Sulfatos solubles	Cloruros totales	** Compuestos totales azufre	Partículas ligeras
01												
02						*						
03												
04								*				
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
24												
25												
26			N.A.	N.A.			N.A.	N.A.				
23								N.A.				

* Si sólo se usa una proporción del 20% de árido reciclado

** El ensayo para los compuestos de azufre del que se tiene resultados es el UNE EN 1744-1.

Tabla 35. Caracterización de las muestras para su empleo en hormigón.

Fuente: GAN- NIK



APLICACIÓN: ZAHORRAS EN FIRMES										
MUESTRAS	Requisitos Geométricos			Requisitos Físico-mecánicos					Requisitos Químicos	
	UNE 933-1		UNE-EN 933-3	UNE-EN 933-5	UNE 1097-2	UNE 933-8	UNE 103103 y UNE 103104	UNE-EN 1367-2	UNE EN 1744-1	
	Granulometría	Descalcificado	índice lajas	Composición	Descalcificado terrones arcilla	Absorción	Coefficiente de los Ángeles	Pérdida de sulfato magnésico	Sulfatos solubles	Cloruros totales
01										
02										
03			*		**				***	
04			*							
05										
06										
07										
08										
09										
10										
11										
12										
13										
14										
15					**					
16										
17										
18										
19						****				
20										
21				*****						
22				*****	**	*****				
24				*****						
25				*****		****				
26		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.			N.A.		
23								N.A.		

- * Sólo válido para bases y subbases de calzadas T3-T4 y arcenes T1-T4.
- ** Sólo válido para bases y subbases de calzadas T3-T4 y arcenes T00-T4.
- *** No válido si está en contacto con capas de cemento.
- **** Sólo válido para bases y subbases de calzadas T2-T4 y arcenes T0-T4.
- ***** Sólo válido para bases y subbases de calzadas T1-T4 y arcenes T0-T4.
- ***** Sólo válido para arcenes T3-T4.

Tabla 36. Caracterización de las muestras para su empleo como zahorras en firmes de carreteras

Fuente: GAN- NIK



Al igual que ocurre con el hormigón, para la gravacemiento y el suelocemento se establecen unos requerimientos concretos para la mezcla como se incluye en el anejo 5 con lo cual la caracterización para esta aplicación no va a estar completa en ningún caso.

APLICACIÓN: GRAVACEMIENTO										
MUESTRA	Requisitos Geométricos					Requisitos Físico-mecánicos			Requisitos Químicos	
	UNE 933-1		UNE-EN 933-3	UNE 933-5		UNE EN 1097-2	UNE 933-8	UNE 103103 y UNE 103104	UNE EN 1744-1	
	GC20	GC32	Índice de lajas	Trituradas	Redondeadas	Coefficiente de los Ángeles	Equivalente de arena	Límites de Atterberg	Azufre total	Sales solubles en ácido
01						****				
02						****				
03				*		***				
04				*		****				
05										
06										
07										
08										
09										
10										
11										
12										
13										
14										
15						***				
16										
17										
18										
19				**			*****			
20										
21										
22						***				
24			*							
25						****	*****			
26			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.				
23										

*Sólo válido para calzadas T2-T4 y arcenes T0-T4.
 ** Sólo válido para calzadas T3-T4 y arcenes T3-T4.
 *** Sólo válido para calzadas T1-T4 y arcenes T00-T4.
 **** Sólo válido para arcenes T00-T4.
 ***** Sólo válido para GC32.

Tabla 37. Caracterización de las muestras para su empleo como gravacemiento en firmes de carreteras
 Fuente: GAN- NIK



APLICACIÓN: SUELOCEMENTO						
MUESTRA	Requisitos Geométricos		Requisitos Físico-mecánicos UNE 103103 y UNE 103104 Límites de Atterberg	Requisitos Químicos		
	UNE 933-1			UNE 103204	UNE EN 1744-1	
	SC20	SC40	Contenido de materia orgánica	Azufre total	Sales solubles en ácido	
01	Red	Red	Green	Green	Green	Green
02	Red	Red	Green	Green	Green	Green
03	Red	Red	Green	Green	Green	Green
04	Red	Green	Green	Green	Red	Green
05	Green	Green	Green	Green	Green	Green
06	Red	Red	Green	Green	Green	Green
07	Red	Red	Green	Green	Green	Green
08	Red	Red	Green	Green	Green	Green
09	Red	Green	Green	Green	Green	Green
10	Red	Green	Green	Green	Green	Green
11	Red	Red	Green	Green	Green	Green
12	Red	Red	Green	Green	Green	Green
13	Red	Red	Green	Green	Green	Green
14	Red	Green	Green	Green	Green	Green
15	Red	Red	Green	Green	Green	Green
16	Red	Red	Green	Green	Green	Green
17	Red	Red	Green	Green	Green	Green
18	Green	Green	Green	Red	Red	Green
19	Green	Green	Green	Green	Green	Green
20	Red	Green	Green	Green	Green	Green
21	Red	Green	Green	Green	Red	Green
22	Red	Green	Green	Green	Red	Green
24	Red	Green	Green	Green	Green	Green
25	Red	Green	Green	Green	Red	Green
26	Red	Red	Green	Red	Green	Green
23	Red	Red	Green	Green	Green	Green

Tabla 38. Caracterización de las muestras para su empleo como suelocemento en firmes de carreteras
Fuente: GAN- NIK



APLICACIÓN: TERRAPLENES

1. SUELO SELECCIONADO

MUESTRA	Requisitos Geométricos			Requisitos Físico-mecánicos	Requisitos Químicos	
	UNE 103101*	CONDICIÓN 01	CONDICIÓN 02	UNE 103502	UNE 103204	NLT 114- NLT 115
	Suelo general	Suelo seleccionado: #040 ≤ 15%	UNE 103101; UNE 103103 y UNE 103104 Suelos seleccionados: #2 < 80%; #0,40 < 75%; #0,080 < 25%; LL < 30; IP < 10	Índice CBR	Materia orgánica	Sales solubles (incluido yeso)
01	Red	Verde		Verde		
02	Red	Verde				
03	Verde	Verde				
04	Verde	Verde				
05	Verde	Verde				
06	Red	Verde				
07	Red	Verde				
08	Red	Verde				
09	Verde	Verde		Verde		Verde
10	Verde	Verde				
11	Verde	Verde				Red
12	Verde	Verde				
13	Verde	Verde				
14	Verde	Verde				
15	Verde	Verde				
16	Red	Verde				
17	Red	Verde				
18	Verde	Verde		Verde	Red	Red
19	Verde	Verde				
20	Verde	Verde		Verde	Red	Red
21	Red	Verde			Red	Red
22	Red	Verde			Red	Red
24	Verde	Verde			Red	Verde
25	Verde	Verde			Verde	Red
26	Verde	Verde	Red		Red	Verde
23	Verde	Verde			Verde	

* La granulometría en algunas muestras ha sido determinado por UNE EN 933-1.

** En los casos que cumple la condición 01 no ha sido necesaria la comprobación de la condición 02.

*** Índice de CBR de referencia para terraplenes.



APLICACIÓN: TERRAPLENES

2. SUELO ADECUADO

MUESTRA	Requisitos Geométricos		Requisitos Físico-mecánicos			Requisitos Químicos	
	UNE 103101*	UNE 103101*	UNE 103103 y UNE 103104		UNE 103502	UNE 103204	NLT 114/ NLT 115
	Suelos general	Suelo adecuado	Condición 01: LL < 40	Condición 02**: Si LL <30; IP >4	Índice CBR	Materia orgánica	Sales solubles (incluido yeso)
01	Red	Green			Green		
02	Red	Green					
03	Green	Green					
04	Green	Green					
05	Green	Green					
06	Red	Green					
07	Red	Green					
08	Red	Green					
09	Green	Green			Green		
10	Green	Green			Green		
11	Green	Green			Green		Red
12	Green	Green			Green		
13	Green	Green			Green		
14	Green	Green			Green		
15	Green	Green					
16	Red	Green					
17	Red	Green					
18	Green	Green			Green	Red	Red
19	Green	Green					
20	Green	Green			Green		Red
21	Red	Green			Green		Red
22	Red	Green			Green		Red
24	Green	Green			Green		Green
25	Green	Green			Green		Red
26	Green	Red			Green	Red	Green
23	Green	Green			Green		

* La granulometría en algunas muestras ha sido determinado por UNE EN 933-1.

** En los casos que cumple la condición 01 no ha sido necesaria la comprobación de la condición 02.

*** Índice de CBR de referencia para terraplenes.

* La granulometría en algunas muestras ha sido determinado por UNE EN 933-1.

** En los casos que cumple la condición 01 no ha sido necesaria la comprobación de la condición 02.

*** Índice de CBR de referencia para terraplenes.



APLICACIÓN: TERRAPLENES

3. SUELO TOLERABLE

MUESTRA	Requisitos Geométricos UNE 103101*		Requisitos Físico-mecánicos				Requisitos Químicos		
	Suelos general	Hinchamiento libre	Colapso	Condición 01: LL < 65	Condición 02**: LL > 40; IP > 0,73	Índice CBR***	Materia orgánica	Sales solubles	Yesos
01	Red					Verde			
02	Red								
03	Verde								
04	Verde								
05	Verde								
06	Red								
07	Red								
08	Red								
09	Verde								
10	Verde								
11	Verde							Red	
12	Verde								
13	Verde								
14	Verde								
15	Verde								
16	Red								
17	Red								
18	Verde							Red	Red
19	Verde								
20	Verde							Red	Verde
21	Red							Red	Red
22	Red							Red	Red
24	Verde								
25	Verde							Red	Red
26	Verde						Red		Verde
23	Verde								

* La granulometría en algunas muestras ha sido determinado por UNE EN 933-1.

** En los casos que cumple la condición 01 no ha sido necesaria la comprobación de la condición 02.

*** Índice de CBR de referencia para terraplenes.

Tabla 39. Caracterización de las muestras para su empleo como terraplén

Fuente: GAN-NIK



2.5. Conclusiones

La falta de ciertos ensayos hace que la caracterización para algunas aplicaciones sea incompleta sobre todo en usos donde los requisitos son más numerosos como el hormigón. No obstante, y a raíz de los resultados obtenidos, se pueden extrapolar las siguientes conclusiones:

- ✓ En general, los áridos reciclados presentan una buena consistencia determinada en general por su característica no plástica.
- ✓ Las características geométricas para áridos gruesos para usos como hormigón, zahorras o gravacemento en firmes de carreteras son adecuadas tanto por el índice de lajas como por el porcentaje de partículas trituradas. Esto asegura la capacidad resistente del árido reciclado para estos usos.
- ✓ Hay un alto porcentaje de muestras cuyos resultados sobre el Coeficiente de los Ángeles, basado en el ensayo UNE EN 1097-2, no cumplen con las exigencias establecidas para las aplicaciones de hormigón, zahorras o gravacemento. Sin embargo, diferentes estudios han identificado que esta propiedad, que a priori resulta negativa, con el paso de tiempo no es tan relevante ya que el mortero de cemento adherido en la superficie de los áridos reciclados favorece a un proceso de “autocementación” mejorando la capacidad portante de estos materiales.
- ✓ En el uso como zahorras, en algunas muestras el contenido de azufre y sales solubles en agua son incompatibles con las exigencias establecidas en el PG-3. Aun así, de forma general, estos valores no distan demasiado de los límites exigidos con lo que fomentar una mejor separación en origen de los RCD pueden contribuir a disminuir la concentración de estas sustancias y hacer válidos estos materiales.
- ✓ Para el empleo del árido reciclado en hormigón y en capas de firmes de carreteras como zahorras se establece un límite para la pérdida de peso con sulfato magnésico. Este ensayo se ha realizado en muy pocas muestras con lo que sus resultados pueden desvirtuar la realidad. Aun así, destaca que en la mayoría de las muestras no cumpliría con el valor exigido aunque en la mayoría de los casos no está lejos de cumplir.
- ✓ El empleo del material en terraplenes es la aplicación mayormente caracterizada. La mayoría de las muestras presentan buenas condiciones para su uso bien sea como suelo seleccionado, adecuado o tolerable salvo por el contenido de sales solubles o yesos. Un alto contenido de estas sustancias con la presencia del agua puede originar disoluciones del material y, por tanto, inestabilidades del terraplén. Aun así, estos materiales pueden emplearse si se toman las medidas y comprobaciones necesarias para evitar este fenómeno.

A yellow CAT tracked excavator is the central focus, positioned on a dirt path at a construction site. The excavator's arm and bucket are visible at the top. In the background, a large, dark, rocky mountain rises against a clear sky. The ground is uneven and covered with dirt and some debris. The scene is overlaid with semi-transparent geometric shapes in shades of green and brown, which serve as a background for the text.

3. Caracterización técnica de los áridos reciclados con baja o nula comercialización



3.1. Requisitos geométricos

3.1.1. Granulometría

Aunque estrictamente para terraplenes el PG-3 recomienda realizar la caracterización granulométrica según la norma UNE 103101, se han realizado los ensayos bajo la norma UNE-EN 933-1 para unificar los ensayos solicitados a los laboratorios. Esta elección de ensayo ha derivado la interpolación de los resultados para los tamices 0,4 y 0,08 para el análisis de los resultados como terraplenes. Estas muestras tienen alta concentración de finos con lo que se descarta el análisis granulométrico tanto para su empleo en el hormigón como en la gravacemento.

TERRAPLENES:

En el caso de rellenos tipo terraplén de acuerdo con el PG-3 se debe cumplir alguna de estas dos condiciones:

- ✓ Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE: # 20 > 70%, según UNE103101.
- ✓ Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE: # 0,080 ≥ 35%, según UNE103101.

De esta forma tenemos que las muestras 27 y 29 cumplirían con las condiciones para relleno de terraplén según las indicaciones del PG-3.

TAMICES	MUESTRA 27	MUESTRA TAMICES 28	MUESTRA 29
20,0	95	60	98
0,08	17,04	19,97	14,04
CONDICIÓN 1	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
CONDICIÓN 2	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 40. Verificación de las condiciones granulométricas en los áridos de baja comercialización establecidas en el PG-3 para suelos

Fuente: GAN-NIK

Una vez validado su uso, se puede clasificar el tipo de suelo teniendo que cumplir para ello los siguientes requisitos granulométricos:

- ✓ Suelos adecuados:
 - a. #2 < 80%
 - b. #0,080 < 35%
- ✓ Suelos seleccionados:
 - c. # 0,40 ≤ 15%

Teniendo en cuenta estas condiciones, todas las muestras se pueden clasificar granulométricamente como suelo adecuado.



TAMICES	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
2,0	44	36	47
0,08	17,04	19,97	14,04
0,40	28,80	27,40	29,00
Suelo adecuado (a)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo adecuado (b)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 41. Verificación granulométrica en los áridos reciclados de baja comercialización para la clasificación de los suelos (adecuados y seleccionados) especificada en el PG-3

Fuente: GAN-NIK

No obstante, dentro de la clasificación como suelo seleccionado también se puede considerar como tal si se verifican todas estas características:

1. Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).
2. Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).
3. Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25\%$).
4. Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.
5. Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

Comparando estas especificaciones con los resultados de los áridos muestreados se obtiene que las muestras 27 y 29 cumplirían como suelo seleccionado, pero no la muestra 28.

TAMICES	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
2,0	44	36	47
0,40	28,80	27,40	29,00
0,08	17,04	19,97	14,04
LL	No plástico	30,20	No plástico
IP	No plástico	13,20	No plástico
Suelo seleccionado (1)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (2)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (3)	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (4)	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
Suelo seleccionado (5)	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

Tabla 42. Verificación en los áridos reciclados de baja comercialización de la segunda condición para considerar suelo seleccionado establecida en el PG-3

Fuente: GAN-NIK



ZAHORRAS:

Para el uso como zahorras según los criterios del PG-3, independientemente del tipo de zahorra, se debe cumplir que el cernido por el tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN 933-2) será menor que los dos tercios ($< 2/3$) del cernido por el tamiz 0,250 mm (norma UNE-EN 933-2). Según este criterio, sólo la muestra 29 sería apta granulométricamente.

TAMICES	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
0,25	24	25	26
0,063	16,3	19,2	13,3
REQUISITO DEL CERNIDO 0,063 MENOR A 2/3 DEL 0,25			
2/3 de 0,25	16,00	16,67	17,33
	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

Tabla 43. Verificación en los áridos reciclados de baja comercialización de la especificación granulométrica establecida en el PG-3 para considerarla zahorra

Fuente: GAN-NIK

Otra condición específica para el árido grueso de las zahorras es que el contenido de finos del árido grueso de acuerdo con la norma UNE-EN 933-1, expresado como porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al uno por ciento ($< 1\%$) en masa. En este caso, como se ha analizado la muestra completa sin separar la fracción gruesa, los resultados no cumplen con lo establecido en el PG-3.

TAMICES	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
0,063	16,3	19,2	13,3
VERIFICACIÓN	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 44. Verificación en los áridos reciclados de baja comercialización del contenido mínimo de finos establecida en el PG-3 para considerarla zahorra

Fuente: GAN-NIK



El análisis granulométrico completo de estos materiales es el siguiente:

TAMICES (mm)	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
100	100	100	100
80	100	91	100
63	100	87	100
50	100	81	100
40	100	75	100
31,5	100	65	100
20,0	95	60	98
16,0	87	52	96
12,5	77	-	87
10,0	71	49	78
8,0	65	46	70
4	52	42	55
2	44	36	47
1	36	33	38
0,5	32	29	31
0,25	24	25	26
0,125	19	22	16
0,063	16,3	19,2	13,3

Tabla 45. Granulometría en los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK

Si comparamos estos resultados con las curvas granulométricas establecidas en el PG-3 para ZA 0/32, ZA 0/20 y ZAD0/20, según los husos granulométricos del anejo 3, ninguna muestra entraría dentro de estas clasificaciones pudiendo ser la más cercana, ZA 0/20

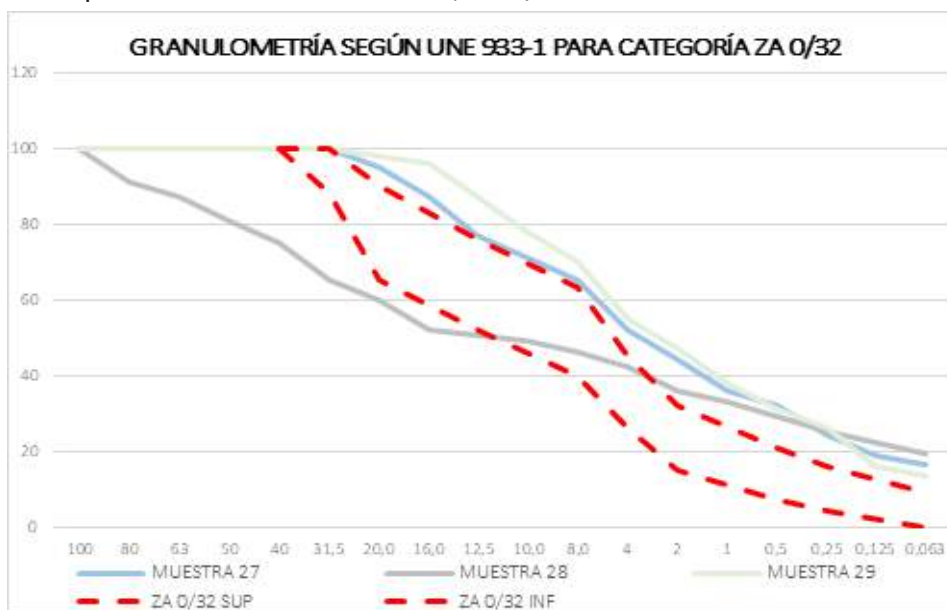


Figura 23. Curva granulométrica de las muestras analizadas y ZA 0/32

Fuente: GAN-NIK

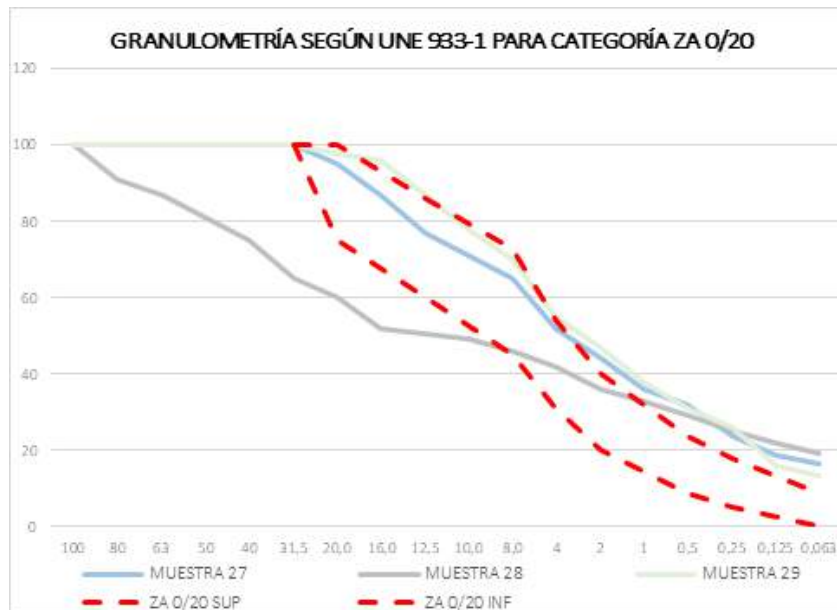


Figura 24. Curva granulométrica de las muestras analizadas y ZA 0/20

Fuente: GAN-NIK

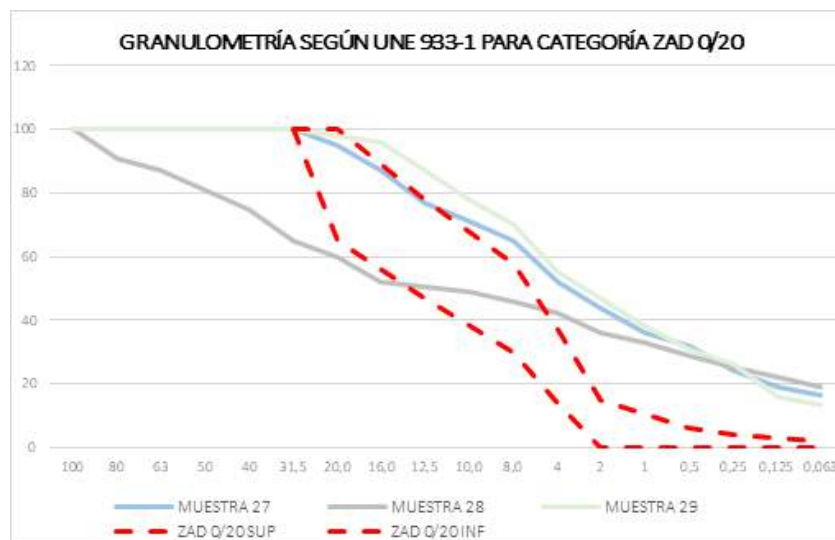


Figura 25. Curva granulométrica de las muestras analizadas y ZAD 0/20

Fuente: GAN-NIK



SUELOCIMIENTO:

El análisis granulométrico para su empleo como suelocemento es óptimo ya que tanto para el tipo SC20 como para el SC40 valdrían las muestras 27 y 29.

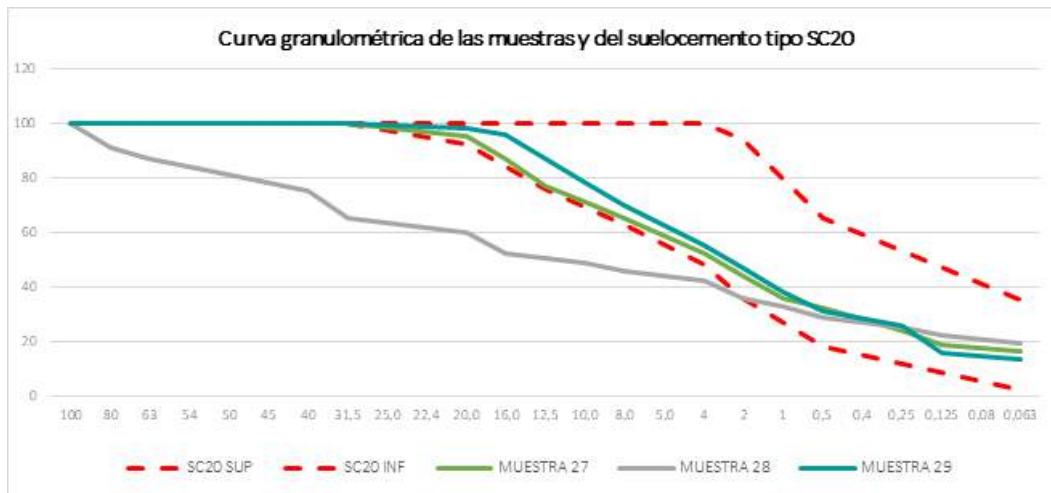


Figura 26. Curva granulométrica de las muestras analizadas y el suelocemento SC20
Fuente: GAN-NIK

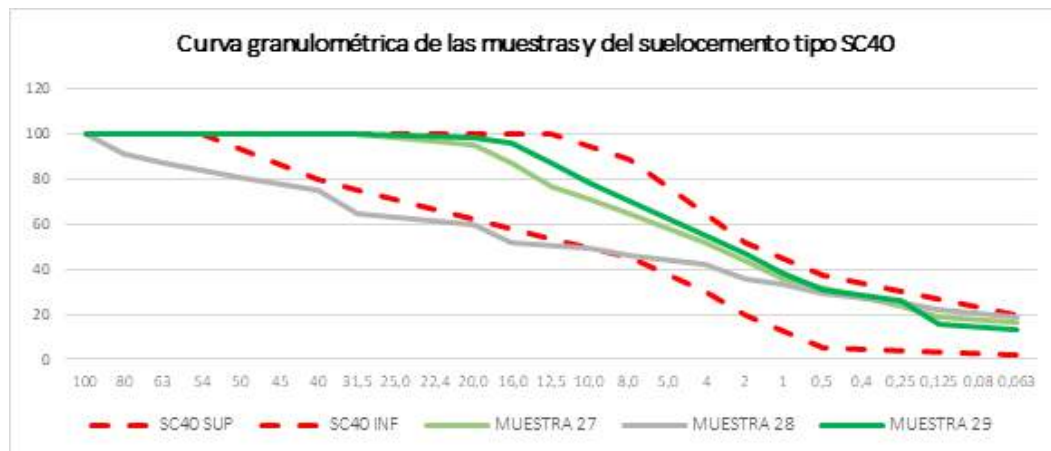
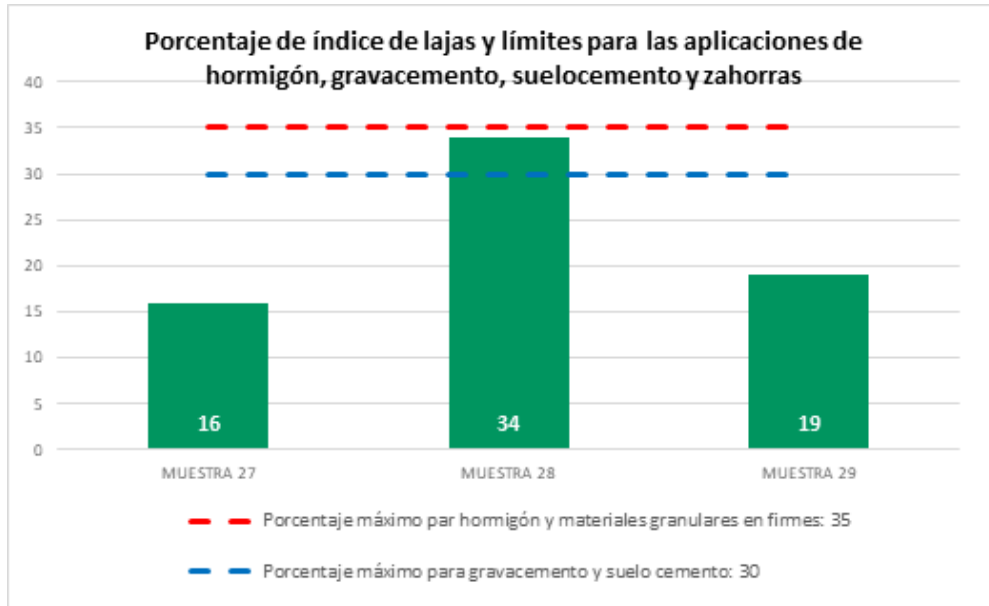


Figura 27. Curva granulométrica de las muestras analizadas y el suelocemento SC40
Fuente: GAN-NIK



3.1.2. Índice de lajas

Dentro del análisis de la fracción gruesa, se comprueba la forma del mismo mediante el índice de lajas según la norma UNE-EN 933-3. Al comparar los resultados con los límites establecidos para hormigón, firmes de zahorras de carreteras, gravacemento, suelocemento y mezclas bituminosas en caliente, se observa que las muestras 27 y 29 cumplirían los límites más restrictivos para cada aplicación establecidos en las normativas correspondientes. Además, los resultados de la muestra 28 cumpliría el límite de índice de lajas para hormigones y firmes a base de zahorras aunque no serviría para el resto de aplicaciones.



Para suelocemento y gravacemento también se permite un índice de lajas inferior a 40 para arcenes y 35 para calzadas de categorías T3-T4.

Figura 28. Resultados sobre el índice de lajas en los áridos reciclados de baja comercialización
Fuente: GAN-NIK

3.1.3. Partículas fracturadas y partículas redondeadas

Los resultados del ensayo UNE-EN 933-5 determina las caras de fractura de la parte de árido grueso. Como se ha mencionado anteriormente, los áridos con mayor proporción de aristas angulosas presentan mejor comportamiento ante la compresión.

Los valores de partículas trituradas de las muestras 27 y 29 son altos por lo que cumplirían con los límites establecidos en el PG-3 para su uso como zahorras en firmes de arcenes, independientemente de la categoría de tráfico pesado previsto, y de calzadas con previsión de tráfico pesado de las categorías T1-T4. Para gravacemento y para mezclas bituminosas en caliente cumplirían para calzadas de cualquier categoría de tráfico. La muestra 28 se descarta para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, para firmes a base de zahorras en calzadas con alta intensidad de tráfico pesado (T00-T2) y en arcenes con categorías de tráfico pesado previstas de T00-T0 y para gravacemento de calzadas de categorías T00 a T1.

Porcentaje de partículas (%)	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Trituradas	96	69	96
Redondeadas	4	31	4

Tabla 46. Porcentaje de partículas trituradas y redondeadas en los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK

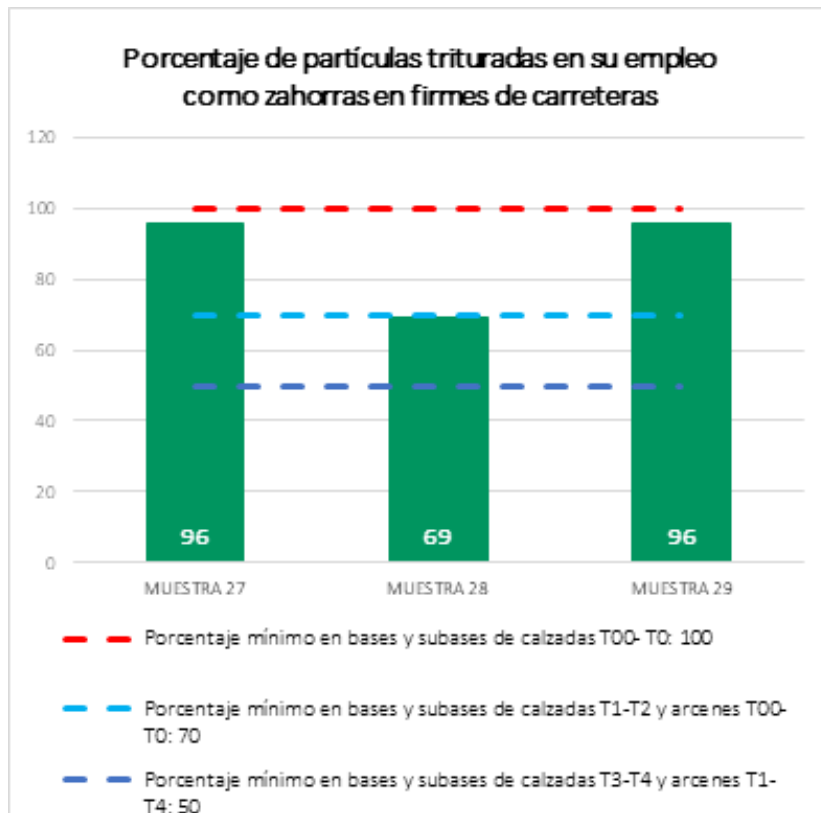


Figura 29. Comparativa de los porcentajes de las partículas trituradas en los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para materiales granulares en firmes

Fuente: GAN-NIK

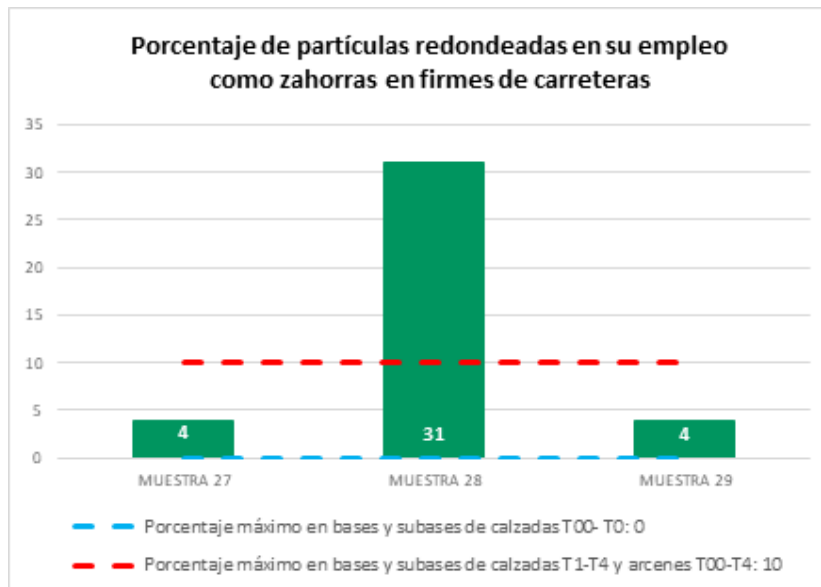


Figura 30. Comparativa de los porcentajes de las partículas redondeadas en los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para materiales granulares en firmes

Fuente: GAN-NIK

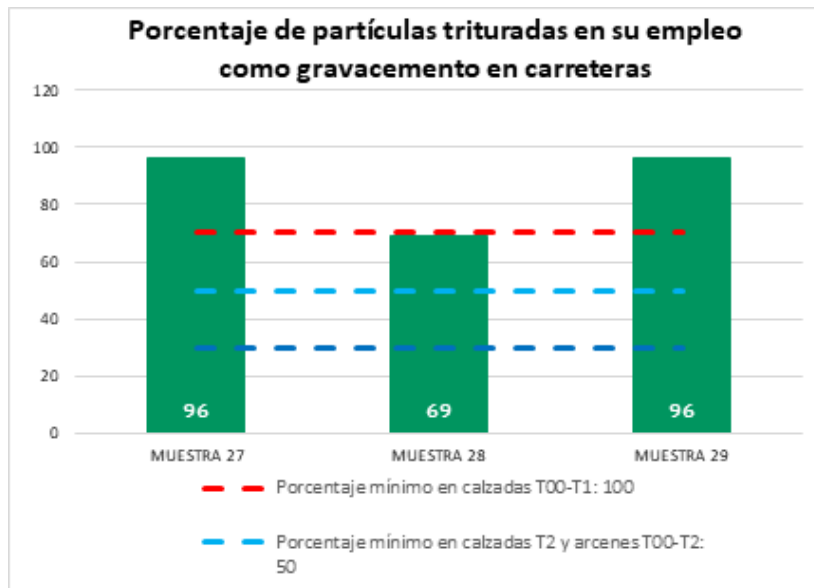


Figura 31. Comparativa de los porcentajes de las partículas trituradas de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemento en carreteras
Fuente: GAN-NIK

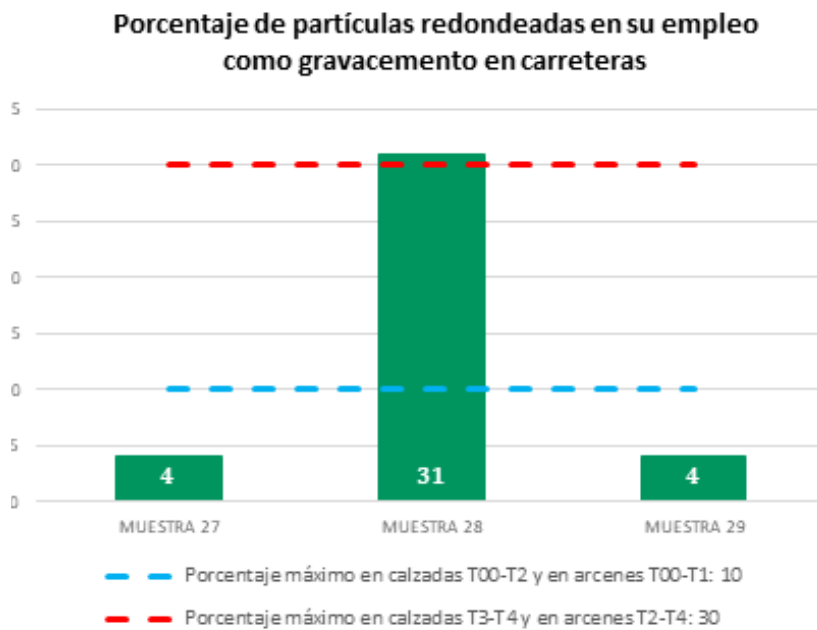


Figura 32. Comparativa de los porcentajes de las partículas redondeadas de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemento en carreteras
Fuente: GAN-NIK



3.2. Requisitos físico-mecánicos

3.2.1. Clasificación de los áridos reciclados

Se recomienda clasificar los áridos reciclados en función de la composición de su fracción gruesa de acuerdo con la norma UNE-EN 933-11. Sin embargo, esta clasificación no debe ser determinante para la aceptación o el rechazo de un árido reciclado ya que su viabilidad viene dada por sus características geométricas, físico-mecánicas y químicas en función de la aplicación en la que se quiera emplear.

COMPONENTE (%)	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Rc	51	23	59
Ru	17	38	13
Rb	29	33	22
Ra	0	0	0
Rg	0	1	2
X	3	5	4
Rc+Ru	68	61	72

Tabla 47. Composición de la fracción gruesa en los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK

Si comparamos la clasificación propuesta de la tabla 10 del apartado 1.4 de este documento con los resultados de cada muestra tenemos que ninguna de ellas podría ajustarse a esta clasificación ya que el porcentaje de impropios (X) es mayor al límite establecido, igual o inferior a 1. Sin embargo, no hay que descartar otras clasificaciones propuestas en otras guías, como las “Recomendaciones de uso de áridos fabricados con RCD’s” de Castilla y León, que aceptan valores de impropios más altos para clasificaciones de suelos reciclados. No obstante, no se ha podido comparar las muestras analizadas con esta clasificación ya que no se ha proporcionado otros componentes incluidos en esta guía como el yeso o el material flotante.

3.2.2. Absorción de agua

Como se ha mencionado anteriormente, los áridos reciclados tienen mayor absorción que los áridos naturales. Por ejemplo, con los resultados obtenidos sobre absorción según la norma UNE EN 1097-6 de las muestras analizadas se observa que ningún material podría ser empleado para hormigón según los límites establecidos en la EHE-08 y en el Código Estructural. Este parámetro es interesante conocer ya que cara al proceso de humectación en la compactación puede requerir mayores concentraciones de agua.

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
8,01	11,3	9,24

Tabla 48. Absorción (%) en los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK



3.2.3. Coeficiente de los Ángeles

La resistencia a la fragmentación se ha realizado de acuerdo con la norma UNE EN 1097-2. Comparando los resultados obtenidos con los límites establecidos para este coeficiente en las normativas vigentes se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Las muestras 27 y 29 tienen un coeficiente de los Ángeles aceptable para su empleo como hormigón estructural y no estructural.
- ✓ En el PG-3, se establece que los límites para este coeficiente puede ser 5 unidades superior siempre y cuando la granulometría esté adaptada a la ZAD 20. Este criterio puede ser interesante para las muestras 27 y 29 si se consiguiese una granulometría adecuada.
- ✓ En caso de querer emplear los materiales muestreados para fabricar gravacemento se descartarían estos materiales si su aplicación es en calzadas de alta intensidad de tráfico pesado (T00-T0). Sin embargo, los áridos reciclados de la muestra 28 tienen una resistencia a la fragmentación óptima para firmes de arcenes.

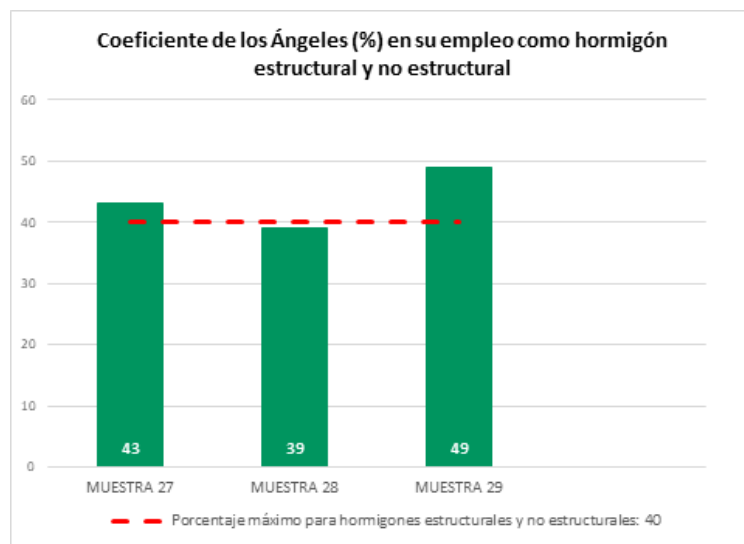


Figura 33. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en la EHE-08 para hormigones estructurales y no estructurales

Fuente: GAN-NIK

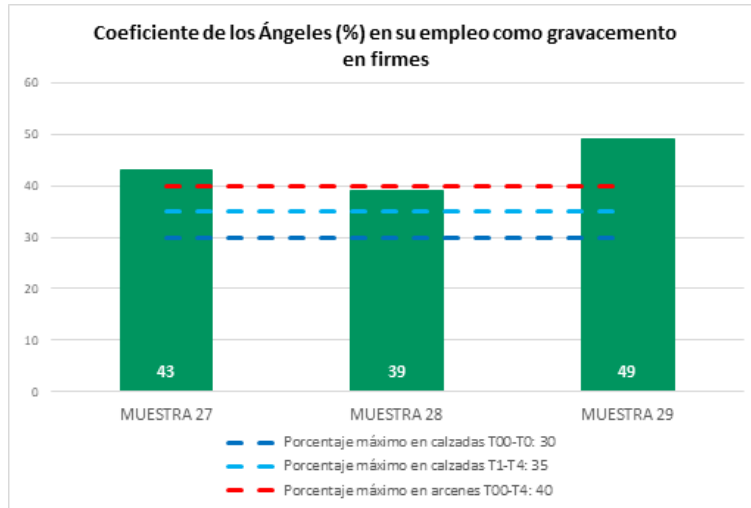


Figura 34. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para zajorras en firmes de carreteras

Fuente: GAN-NIK

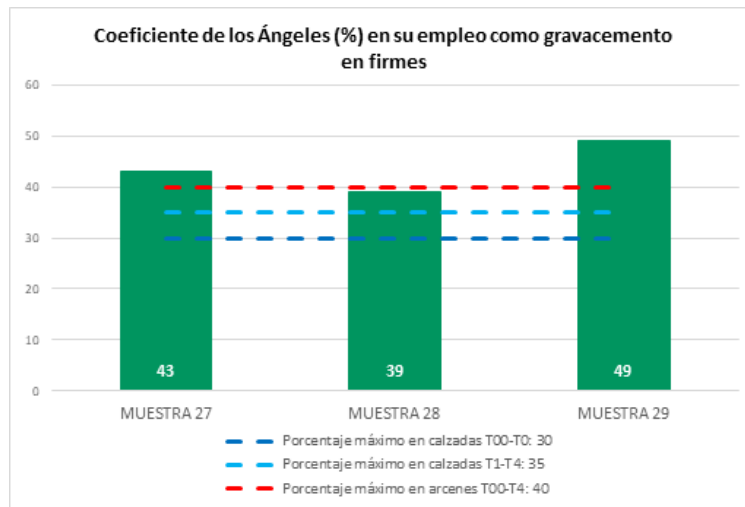


Figura 35. Comparativa del Coeficiente de los Ángeles los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para gravacemento de carreteras

Fuente: GAN-NIK



3.2.4. Pérdida de peso con sulfato magnésico

Tanto para firmes de carreteras a base de zahorras como para hormigones se limita la pérdida de peso con sulfato magnesio, ensayado de acuerdo con la norma UNE EN 1367-2, al 18%. Ninguna de las muestras analizadas bajo esta norma cumpliría con este requisito.

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
24	36	19

Tabla 49. Pérdida de peso con sulfato magnésico (%) de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK

3.2.5. Límites de Atterberg

Las muestras 27 y 29 analizadas de acuerdo a la norma UNE EN ISO 17892-12 tienen un carácter no plástico con lo que este parámetro no sería determinante para descartar ningún uso.

La muestra 28 analizada ha resultado plástica cuyos valores serían asimilables a los límites establecidos para suelos adecuados para terraplenes del PG-3 y descartándose para otros usos.

PARÁMETRO	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Límite líquido	No plástico	30,2	No plástico
Límite plástico	No plástico	17,0	No plástico
Índice de plasticidad	No plástico	13,2	No plástico

Tabla 50. Límites de Atterberg de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK

3.2.6. Hinchamiento libre

Para la caracterización como suelos marginales o tolerables para terraplenes del PG-3 se establecen unos valores límites para el hinchamiento libre según la norma UNE 103601. Si comparamos estos límites con los resultados de las muestras analizadas obtenemos que todas las muestras están dentro del rango establecido tanto para suelo tolerable como para marginal.

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
0,06	0,13	0,48

Tabla 51. Hinchamiento libre (%) según la norma UNE 103601 de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK



3.2.7. Asiento de colapso

Al igual que el parámetro de hinchamiento libre, el asiento de colapso según la norma NLT 254 es un criterio incluido en la clasificación de suelo tolerable del PG-3 cuyo valor límite es inferior a 1. Este parámetro se ha analizado bajo la norma UNE 103406 y los resultados obtenidos cumplen con este criterio.

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
0,025	0,127	0,005

Tabla 52. Asiento de colapso (%) según la norma UNE 103406 de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK

3.2.8. Índice CBR

Otro parámetro analizado ha sido el índice CBR según la norma UNE 103502. Los valores obtenidos han sido altos con lo que presentan buenas condiciones tanto para terraplenes, rellenos localizados, firmes como explanadas.

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
68	66	90

Tabla 53. Resultados del Índice CBR según la norma UNE 103502 de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK

3.2.9. Equivalente de arena

Otro ensayo que se ha realizado en las muestras analizadas es el equivalente de arena según la UNE-EN 933-8 cuyos resultados son los siguientes:

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
27	15	20

Tabla 54. Resultados del ensayo equivalente de arena según la norma UNE EN933-8 de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN-NIK

Ninguna muestra cumpliría con los criterios establecidos para su utilización en firmes a base de zahorras o a base de gravacemento.

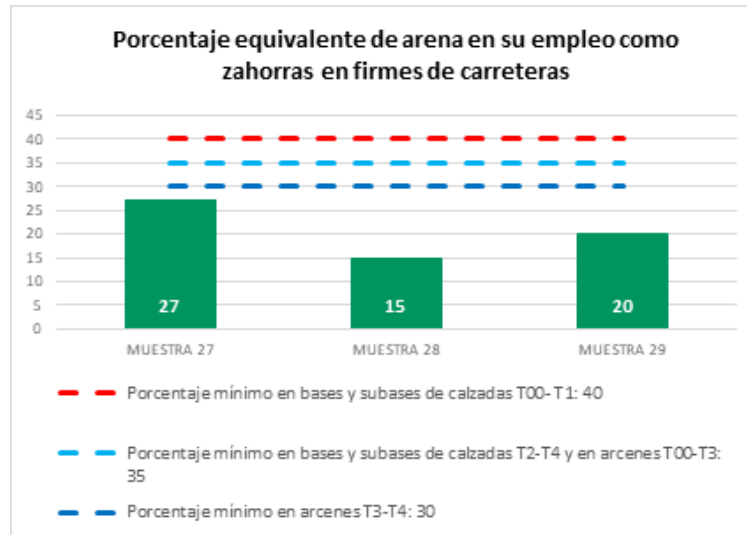


Figura 36. Comparativa del equivalente de arena de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con zahorras

Fuente: GAN-NIK

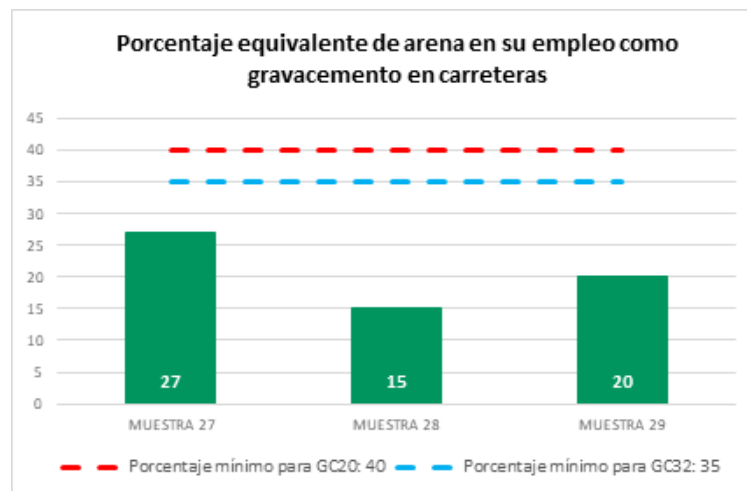


Figura 37. Comparativa del equivalente de arena de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para firmes de carreteras con gravacemiento

Fuente: GAN-NIK



3.2.10. Próctor normal o modificado

Mediante el ensayo UNE 103501 se ha determinado la densidad máxima y la humedad óptima de estas muestras teniendo valores muy similares.

PARÁMETRO	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Densidad máxima	1,74	1,74	1,82
Humedad óptima	10,4	15,4	11,1

Tabla 55. Resultados del ensayo Proctor Modificado de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK

3.3. Requisitos químicos

3.3.1. Contenido de azufre, de sulfatos solubles y cloruros totales

Los resultados analizados son los siguientes:

Parámetro (%)	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Contenido de sulfatos solubles	3,300	3,800	1,150
Contenido de cloruros totales	0,015	0,080	0,010
Contenido de compuestos de azufre	1,630	2,680	1,400

Tabla 56. Resultados del contenido de sulfatos solubles en agua, cloruros totales y los compuestos de azufre totales de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK

Al comparar estos valores con los fijados en las normativas vigentes en función de la aplicación se concluye que ninguna muestra tendría un contenido de azufre, sulfatos solubles y cloruros totales adecuado.

3.3.2. Contenido de materia orgánica

Se ha determinado el contenido de materia orgánica de las muestras analizadas mediante la norma UNE 103204 cuyos resultados son los siguientes:

MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
0,72	0,38	0,74

Tabla 57. Resultados del contenido de materia orgánica según la norma UNE 103204 de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK



Comparando estos resultados con las especificaciones sobre materia orgánica del apartado de terraplenes del PG-3, podría clasificarse el material como suelo adecuado en función de este parámetro. Además, también podría ser de aplicación para la formación de suelocemento.

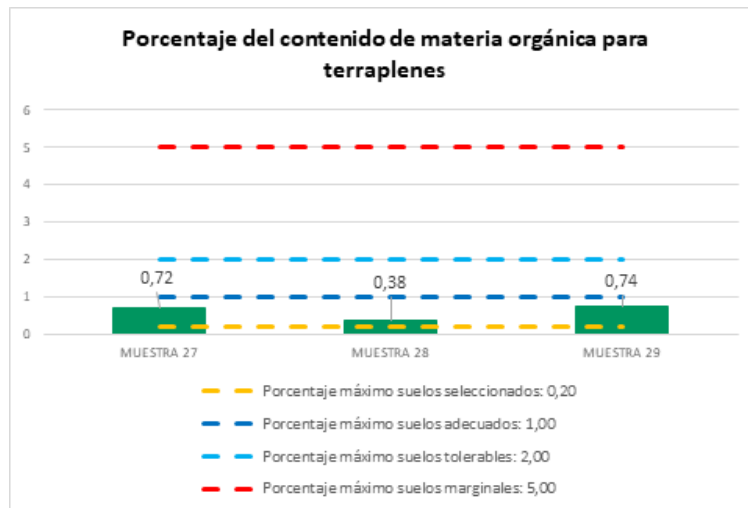


Figura 38. Comparativa de la materia orgánica de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para terraplenes

Fuente: GAN-NIK

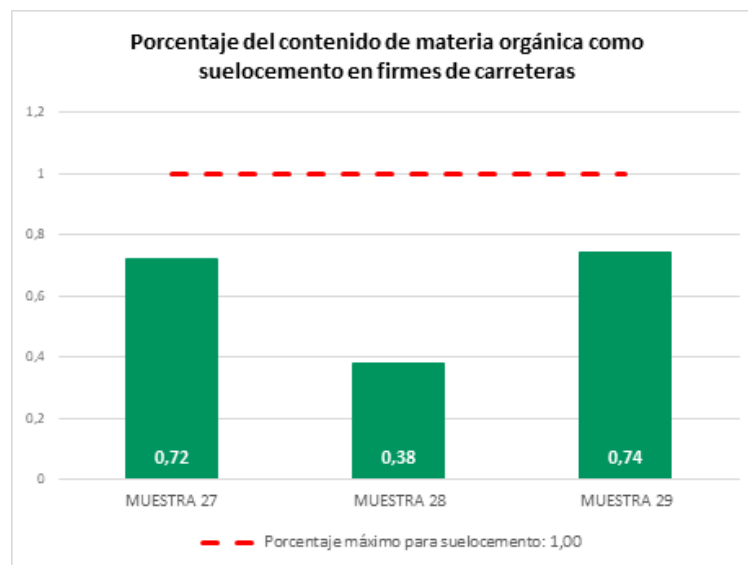


Figura 39. Comparativa de la materia orgánica de los áridos reciclados de baja comercialización con los límites establecidos en el PG-3 para suelocemento

Fuente: GAN-NIK



3.3.3. Contenido de sales solubles

Los resultados de los ensayos de sales solubles de acuerdo con la norma NLT 114 y de yeso de acuerdo con la norma NLT 115 son los siguientes:

Parámetro	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Contenido de sales solubles (%)	2,50	3,00	2,36
Contenido de yeso (%)	8,30	15,50	7,30

Tabla 58. Resultados del contenido de sales solubles según la norma NLT 114 y del contenido de yeso según la norma NLT 115 de los áridos reciclados de baja comercialización

Fuente: GAN- NIK

En general, los valores obtenidos son altos y no cumplen con las especificaciones incluidas para la formación de terraplenes del PG-3. Por tanto, hay que tener precaución a la hora de utilizar estos materiales ya que pueden producirse disoluciones del material en contacto con el agua y, en consecuencia, inestabilidades.

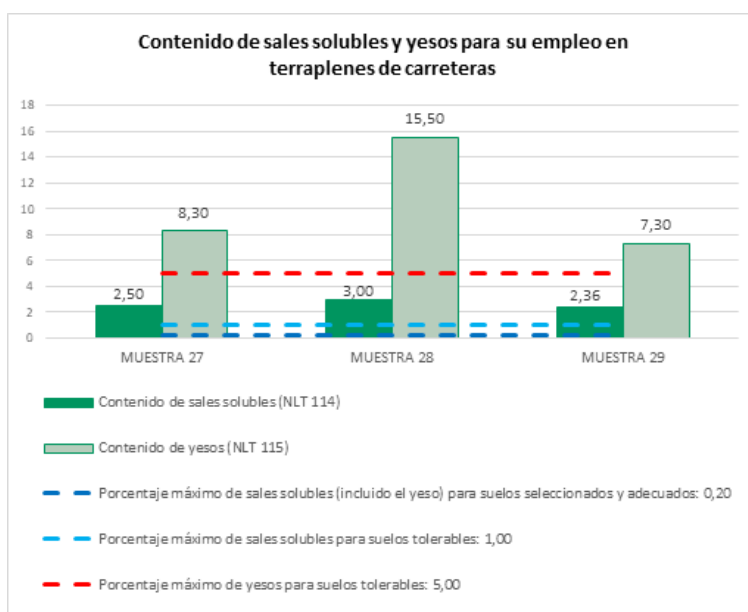


Figura 40. Resultados del Contenido de Sales solubles (%) en función del tipo de suelo

Fuente: GAN-NIK



3.4. Tabla resumen

Ensayos gestores

Como en el apartado 2.4 de este documento se realiza una tabla resumen sobre los resultados y las exigencias para cada uso:

Cumple con el requisito establecido en la norma correspondiente
No cumple con el requisito establecido en la norma correspondiente
No existe resultado para este ensayo

APLICACIÓN: HORMIGÓN												
MUESTRA	Requisitos geométricos			Requisitos físico-mecánicos					Requisitos químicos			
	UNE 933-1/ UNE 933/2		UNE-EN 933-3	UNE 933-11	UNE 7133	UNE EN 1097-6	UNE EN 1097-2	UNE-EN 1367-2	UNE EN 1744-1		UNE EN 1097-6**	UNE 7244
	Granulometría	Descalcificado	Índice lajas	Composición	Terrones arcilla	Absorción	Coefficiente de los Ángeles	Pérdida de sulfato magnésico	Sulfatos solubles	Cloruros totales	Comp. Totales azufre	Partículas ligeras
27												
28												
29												

** El ensayo para los compuestos de azufre del que se tiene resultados es el UNE EN 1744-1.

Tabla 59. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo en hormigón.

Fuente: GAN- NIK



APLICACIÓN: ZAHORRAS EN FIRMES

MUESTRA	Requisitos geométricos				Requisitos físico mecánicos				Requisitos químicos	
	UNE 933-1	UNE-EN 933-3	UNE 933-5		UNE EN 1097-2	UNE 933-8	UNE 103103 y UNE 103104	UNE-EN 1367-2	UNE EN 1744-1	
	< 2/3 cernido #0,25	Índice de lajas	Trituradas	Redondeadas	Coefficiente de los Ángeles	Equivalente arena	Límites Atterberg	Pérdida de sulfato magnésico	Azufre total	Sulfatos solubles en agua
27				**						
28			*							
29				**						

* Sólo válido para bases y subbases de calzadas T3-T4 y arcenes T1-T4.

** Sólo válido para bases y subbases de calzadas T1-T4 y arcenes T0-T4.

Tabla 60. Caracterización de las muestras para su empleo como zahorras en firmes de carreteras

Fuente: GAN- NIK

APLICACIÓN: GRAVACEMIENTO

MUESTRA	Requisitos geométricos				Requisitos físico mecánicos			Requisitos químicos	
	UNE 933-1	UNE-EN 933-3	UNE 933-5		UNE EN 1097-2	UNE 933-8	UNE 103103 y UNE 103104	UNE EN 1744-1	
	Granulometría	Índice de lajas	Trituradas	Redondeadas	Coefficiente de los Ángeles	Equivalente de arena	Límites de Atterberg	Azufre total	Sales solubles en ácido
27				*					
28					**				
29				*					

* Sólo válido para calzadas T1-T4 y arcenes T00-T4.

** Sólo válido para arcenes T00-T4.

Tabla 61. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo como gravacemiento en firmes de carreteras

Fuente: GAN- NIK



APLICACIÓN: SUELOCEMENTO

	Requisitos geométricos	Requisitos físico mecánicos	Requisitos químicos		
MUESTRA.	UNE 933-1	UNE 103103 y UNE 103104	UNE 103204	UNE EN 1744-1	
	Granulometría	Límites de Atterberg	Contenido de materia orgánica	Azufre total	Sales solubles en ácido
27					
28					
29					

Tabla 62. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo como sueloceemento en firmes de carreteras

Fuente: GAN- NIK

* La granulometría en algunas muestras ha sido determinado por UNE EN 933-1.

** En los casos que cumple la condición 01 no ha sido necesaria la comprobación de la condición 02.

*** Índice de CBR de referencia para terraplenes.



APLICACIÓN: TERRAPLENES

1. SUELO SELECCIONADO

MUESTRA	Requisitos geométricos			Requisitos físico mecánicos	Requisitos químicos	
	UNE 103101*	CONDICIÓN 01	CONDICIÓN 02	UNE 103502	UNE 103204	NLT 114- NLT 115
	Suelo general	UNE 103101*	UNE 103101; UNE 103103 y UNE 103104			
		Suelo seleccionado: #040 ≤ 15%	Suelos seleccionados: #2 < 80%; #0,40 < 75%; #0,080 < 25%; LL <30; IP < 10	Índice CBR	Materia orgánica	Sales solubles (incluido yeso)
27						
28						
29						

2. SUELO ADECUADO

MUESTRA	Requisitos geométricos		Requisitos físico mecánicos			Requisitos químicos	
	UNE 103101*	UNE 103101*	UNE 103103 y UNE 103104		UNE 103502	UNE 103204	NLT 114/ NLT 115
	Suelos general	Suelo adecuado	Condición 01: LL < 40	Condición 02**: Si LL <30; IP >4	Índice CBR	Materia orgánica	Sales solubles (incluido yeso)
27							
28							
29							

3. SUELO TOLERABLE

MUESTRA	Requisitos geométricos	Requisitos físico mecánicos				Requisitos químicos			
	UNE 103101*	UNE 103601	NLT 254	UNE 103103 y UNE 103104		UNE 103502	UNE 103204	NLT 114	NLT 115
	Suelos general	Hinchamiento libre	Colapso	Condición 01: LL < 65	Condición 02**: LL > 40; IP > 0,73	Índice CBR***	Materia orgánica	Sales solubles	Yesos
27									
28									
29									

* La granulometría en algunas muestras ha sido determinado por UNE EN 933-1.

** En los casos que cumple la condición 01 no ha sido necesaria la comprobación de la condición 02.

*** Índice de CBR de referencia para terraplenes.

Tabla 63. Caracterización de las muestras de baja comercialización para su empleo como terraplén

Fuente: GAN-NIK



3.5. Conclusiones

Los materiales de baja comercialización no tienen una condición adecuada para utilizarse en hormigón, gravacemento o zahorras como era de esperar. Sin embargo, salvo por las condiciones de sales solubles y yesos, estos materiales se podrían clasificar como suelos adecuados o tolerables. Por tanto, se podría decir que estos materiales tienen un gran potencial para usarse como rellenos tipo terraplén siempre y cuando se tomen las medidas oportunas para que el contenido de sales solubles no produzca inevitabilidades.

A yellow CAT tracked excavator is the central focus, positioned on a dirt path at a construction site. The excavator's tracks and rear section are visible, with the CAT logo on the side. In the background, a large, dark, rocky mountain rises under a clear sky. The ground is uneven and covered with dirt and small rocks. A semi-transparent green rectangular box is overlaid on the image, containing the text. The overall scene suggests a rugged, industrial environment.

4. Caracterización ambiental de los áridos reciclados



Para la caracterización ambiental sólo se tiene criterio en los ensayos subvencionados por el proyecto RCdiGreen, es decir, de las muestras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 y 29. Por ello, en este apartado estudiaremos conjuntamente todos los resultados independientemente de la clasificación previa realizada para el análisis técnico del material.

4.1. Toma de muestras

Para la toma de muestras del análisis ambiental requerido se ha tomado por parte del director técnico de ASPEM MEDIOAMBIENTE 2017, S.L. una muestra mixta de 2Kg en cada una de las plantas autorizadas participantes del material a ensayar en un envase proporcionado por el laboratorio para su envío. Esta muestra se ha conformado a partir de 10 submuestras diferenciadas y representativas del material acopiado de manera manual y de acuerdo con el procedimiento “PO-AS-7-04-Toma de muestras sólidas, incluidos terrenos de relleno y residuos”. Cada muestra de cada planta se ha codificado, almacenado, conservado y custodiado desde la toma hasta su entrega en el laboratorio según el procedimiento “POAS- 7-07-Identificación, conservación y custodia de muestras”.

4.2. Analíticas

Los ensayos de lixiviación han sido realizados bajo la norma UNE-EN 12457-4-2003 en cada una de las muestras tomadas por el laboratorio AGRUPA Laboratorio S.L.L., acreditado según la Norma NEN-EN-ISO/IEC 17025. Los resultados de estos ensayos han sido contrastados con los límites de admisión de residuos en vertederos que establece el Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Dentro de los componentes a analizar hay que matizar que los sólidos disueltos es un parámetro que se puede considerar como valor alternativo a los valores de sulfato y cloruros. Los resultados de lixiviación, incluidos en la tabla 64, 65 y 66 rebasan los límites fijados para admisión de residuos en vertederos inertes de sulfatos y sólidos disueltos en 7 instalaciones y los cloruros en 1 muestra. Teniendo en cuenta lo comentado anteriormente sobre los sólidos disueltos, se concluye que los **sulfatos** son el mayor problema en estos materiales para considerarlos inertes. Este resultado era esperado como ya se ha indicado en numerosas guías europeas sobre consideraciones ambientales en los áridos reciclados con altos contenidos de cerámicos. Por tanto, si se compara con el Real Decreto 646/2020 estos residuos se consideran **no peligrosos** desde una perspectiva ambiental.



RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIXIVIACIÓN UNE-EN 12457-4 (mg/kg)						
COMPONENTES	LÍMITES INERTES ¹	LÍMITES NO PELIGROSOS ¹	LÍMITES PELIGROSOS ¹	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23
As	0,5	2	25	< 0,025	< 0,01	< 0,005
Ba	20	400	300	0,493	0,291	0,700
Cd	0,04	1	5	< 0,025	< 0,01	< 0,005
Cr	0,5	10	70	0,126	0,0221	< 0,005
Cu	2	50	100	0,0679	0,0687	0,00622
Hg	0,01	0,2	2	< 0,01	< 0,004	< 0,002
Mo	0,5	10	30	0,0459	0,0110	< 0,005
Ni	0,4	10	40	0,190	0,0382	0,0315
Pb	0,5	10	50	< 0,025	< 0,01	< 0,005
Sb	0,06	0,7	5	< 0,025	< 0,01	< 0,005
Se	0,1	0,5	7	< 0,25	< 0,1	< 0,05
Zn	4	50	200	0,412	0,0744	0,0659
Cloruros	800	15000	25000	208	< 10	13,1
Fluoruros	10	150	500	2,83	2,87	< 2
Sulfatos	1000 ²	20000	50000	10800	7340	208
Índice de fenoles	1	-	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5
COD ³	500	800	1000	56,7	< 20	< 20
Sólidos Disueltos ⁴ a 180 °C	4000	60000	100000	20900	11400	780

1 Límites para la admisión de residuos inertes, peligrosos y no peligrosos en vertederos según el Real Decreto 646/2020.

2 Aunque el residuo no cumpla este valor correspondiente al sulfato, podrá considerarse que cumple los criterios de admisión si la lixiviación no supera ninguno de los siguientes valores: 1500 mg/l en CO con una relación L/S = 0,1 l/kg y 6000 mg/kg con una relación L/S = 10 l/kg. Será necesario utilizar el ensayo de percolación para determinar el valor límite con una relación L/S = 0,1 l/kg en las condiciones iniciales de equilibrio, mientras que el valor con una relación L/S = 10 l/kg se podrá determinar, bien mediante una prueba de lixiviación por lotes, bien mediante un ensayo de percolación en condiciones próximas al equilibrio local.

3 Si el residuo no cumple estos valores de carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación L/S = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg.

4 Los valores de sólidos totales disueltos podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

Tabla 64. Resultados de los ensayos de lixiviación bajo la norma UNE-EN 12457-4.

Fuente: GAN- NIK



RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIXIVIACIÓN UNE-EN 12457-4 (mg/kg)						
COMPONENTES	LÍMITES	LÍMITES	LÍMITES	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
	INERTES ¹	NO PELIGROSOS ¹	PELIGROSOS ¹			
As	0,5	2	25	< 0,025	< 0,025	0,0342
Ba	20	400	300	0,500	0,456	1,58
Cd	0,04	1	5	< 0,025	< 0,025	< 0,005
Cr	0,5	10	70	0,139	0,0816	< 0,005
Cu	2	50	100	0,0723	0,0273	0,0119
Hg	0,01	0,2	2	< 0,01	< 0,01	< 0,002
Mo	0,5	10	30	0,0459	0,0271	0,0133
Ni	0,4	10	40	0,0823	0,0746	0,0343
Pb	0,5	10	50	< 0,025	< 0,025	< 0,005
Sb	0,06	0,7	5	< 0,025	< 0,025	< 0,005
Se	0,1	0,5	7	< 0,1	< 0,1	< 0,05
Zn	4	50	200	0,113	0,193	0,0675
Cloruros	800	15000	25000	39,4	91,2	36,4
Fluoruros	10	150	500	3,74	3,28	4,74
Sulfatos	1000 ²	20000	50000	14200	13200	97,7
Índice de fenoles	1	-	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5
COD ³	500	800	1000	66,8	< 20	< 20
Sólidos Disueltos ⁴ a 180 °C	4000	60000	100000	24200	24100	< 600

1 Límites para la admisión de residuos inertes, no peligrosos y peligrosos en vertederos según el Real Decreto 646/2020.

2 Aunque el residuo no cumpla este valor correspondiente al sulfato, podrá considerarse que cumple los criterios de admisión si la lixiviación no supera ninguno de los siguientes valores: 1500 mg/l en CO con una relación L/S = 0,1 l/kg y 6000 mg/kg con una relación L/S = 10 l/kg. Será necesario utilizar el ensayo de percolación para determinar el valor límite con una relación L/S = 0,1 l/kg en las condiciones iniciales de equilibrio, mientras que el valor con una relación L/S = 10 l/kg se podrá determinar, bien mediante una prueba de lixiviación por lotes, bien mediante un ensayo de percolación en condiciones próximas al equilibrio local.

3 Si el residuo no cumple estos valores de carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación L/S = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg.

4 Los valores de sólidos totales disueltos podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

Tabla 65. Resultados de los ensayos de lixiviación bajo la norma UNE-EN 12457-4.

Fuente: GAN- NIK



RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIXIVIACIÓN UNE-EN 12457-4 (mg/kg)						
COMPONENTES	LÍMITES INERTES ¹	LÍMITES NO PELIGROSOS ¹	LÍMITES PELIGROSOS ¹	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
As	0,5	2	25	< 0,025	0,0267	< 0,025
Ba	20	400	300	0,327	0,330	0,592
Cd	0,04	1	5	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Cr	0,5	10	70	0,133	0,0346	0,327
Cu	2	50	100	0,160	0,0873	0,277
Hg	0,01	0,2	2	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Mo	0,5	10	30	0,0573	0,0461	0,0767
Ni	0,4	10	40	0,107	0,0583	0,101
Pb	0,5	10	50	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Sb	0,06	0,7	5	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Se	0,1	0,5	7	< 0,25	< 0,1	< 0,1
Zn	4	50	200	0,238	0,122	0,113
Cloruros	800	15000	25000	213	913	211
Fluoruros	10	150	500	5,37	2,88	3,57
Sulfatos	1000 ²	20000	50000	13800	14900	10500
Índice de fenoles	1	-	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5
COD ³	500	800	1000	109	76,9	121
Sólidos Disueltos ⁴ a 180 °C	4000	60000	100000	23600	27600	19800

1 Límites para la admisión de residuos inertes, no peligrosos y peligrosos en vertederos según el Real Decreto 646/2020.

2 Aunque el residuo no cumpla este valor correspondiente al sulfato, podrá considerarse que cumple los criterios de admisión si la lixiviación no supera ninguno de los siguientes valores: 1500 mg/l en CO con una relación L/S = 0,1 l/kg y 6000 mg/kg con una relación L/S = 10 l/kg. Será necesario utilizar el ensayo de percolación para determinar el valor límite con una relación L/S = 0,1 l/kg en las condiciones iniciales de equilibrio, mientras que el valor con una relación L/S = 10 l/kg se podrá determinar, bien mediante una prueba de lixiviación por lotes, bien mediante un ensayo de percolación en condiciones próximas al equilibrio local.

3 Si el residuo no cumple estos valores de carbono orgánico disuelto (COD) con su propio pH, podrá alternativamente probarse con una relación L/S = 10 l/kg y un pH entre 7,5 y 8,0. El residuo podrá considerarse conforme a los criterios de admisión de COD si el resultado de esta determinación no es superior a 500 mg/kg.

4 Los valores de sólidos totales disueltos podrán utilizarse como alternativa a los valores de sulfato y cloruro.

Tabla 66. Resultados de los ensayos de lixiviación bajo la norma UNE-EN 12457-4.

Fuente: GAN- NIK

El Real Decreto 646/2020 también incluye unos valores límite de contenido total de parámetros orgánicos de los residuos para su admisión en vertederos. Si se analiza estos parámetros, se pueden considerar que los **residuos son inertes**. Sin embargo, por la incertidumbre asociada al propio ensayo, existen dos muestras en dos instalaciones diferentes cuya concentración de PCB y de hidrocarburos pueden considerarse fuera de los límites como inertes. La determinación analítica de estos parámetros es muy sensible y variable por lo que, para cerciorar que los límites de estos parámetros rebasan los valores fijados para inertes, se debería tomar mayor número de muestras.



RESULTADOS DEL CONTENIDO TOTAL DE PARÁMETROS ORGÁNICOS (mg/Kg de materia seca)						
PARÁMETRO	LÍMITES INERTES ¹	LÍMITES NO PELIGROSOS ¹	LÍMITES PELIGROSOS ¹	MUESTRA 21	MUESTRA 22	MUESTRA 23
Carbono Orgánico Total	30000 ¹	50000	60000	11400	11500	16700
Suma máxima BTEX ²	6	-	-	< 0,12	< 0,12	< 0,12
HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos,16 congéneres) ³	55	-	-	< 8	9,79	< 8
PCBs (Policlorobifenilos,7 congéneres)	1	-	-	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Hidrocarburos C10-C40	500	-	-	31,7	71,3	< 25

¹ En el caso de la tierra, previa conformidad del órgano ambiental competente de la comunidad autónoma, podrá aplicarse un valor límite más alto siempre que el carbono orgánico disuelto (COD) alcance un valor máximo de 500 mg/kg a L/S= 10 l/kg, bien con el pH propio del residuo o con un pH situado entre 7,5 y 8,0.

² Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos.

³ Suma de las siguientes sustancias: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno y Pireno.

Tabla 67. Resultados de los ensayos de parámetros orgánicos

Fuente: GAN-NIK

RESULTADOS DEL CONTENIDO TOTAL DE PARÁMETROS ORGÁNICOS (mg/Kg de materia seca)						
PARÁMETRO	LÍMITES INERTES ¹	LÍMITES NO PELIGROSOS ¹	LÍMITES PELIGROSOS ¹	MUESTRA 24	MUESTRA 25	MUESTRA 26
Carbono Orgánico Total	30000 ¹	50000	60000	11900	9480	5470
Suma máxima BTEX ²	6	-	-	< 0,12	< 0,12	< 0,12
HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos,16 congéneres) ³	55	-	-	< 8	< 8	< 8
PCBs (Policlorobifenilos,7 congéneres)	1	-	-	0,822	< 0,8	< 0,8
Hidrocarburos C10-C40	500	-	-	54,9	< 25	< 25

¹ En el caso de la tierra, previa conformidad del órgano ambiental competente de la comunidad autónoma, podrá aplicarse un valor límite más alto siempre que el carbono orgánico disuelto (COD) alcance un valor máximo de 500 mg/kg a L/S= 10 l/kg, bien con el pH propio del residuo o con un pH situado entre 7,5 y 8,0.

² Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos.

³ Suma de las siguientes sustancias: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno y Pireno.

Tabla 68. Resultados de los ensayos de parámetros orgánicos

Fuente: GAN-NIK

RESULTADOS DEL CONTENIDO TOTAL DE PARÁMETROS ORGÁNICOS (mg/Kg de materia seca)						
PARÁMETRO	LÍMITES INERTES ¹	LÍMITES NO PELIGROSOS ¹	LÍMITES PELIGROSOS ¹	MUESTRA 27	MUESTRA 28	MUESTRA 29
Carbono Orgánico Total	30000 ¹	50000	60000	21400	11900	13300
Suma máxima BTEX ²	6	-	-	< 0,12	< 0,12	< 0,12
HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos,16 congéneres) ³	55	-	-	12,1	< 8	< 8
PCBs (Policlorobifenilos,7 congéneres)	1	-	-	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Hidrocarburos C10-C40	500	-	-	128	< 25	405

¹ En el caso de la tierra, previa conformidad del órgano ambiental competente de la comunidad autónoma, podrá aplicarse un valor límite más alto siempre que el carbono orgánico disuelto (COD) alcance un valor máximo de 500 mg/kg a L/S= 10 l/kg, bien con el pH propio del residuo o con un pH situado entre 7,5 y 8,0.

² Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos.

³ Suma de las siguientes sustancias: Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Naftaleno y Pireno.

Tabla 69. Resultados de los ensayos de parámetros orgánicos



Fuente: GAN-NIK

4.3. Conclusiones

Según los resultados de las analíticas realizadas y comparándolo con el Real Decreto 646/2020, este tipo de material se clasificaría como **no peligroso** destacando la alta concentración de sulfatos. Sin embargo, estamos limitando el material a una legislación basada en un uso que no se quiere aplicar aunque sí que es cierto que diferentes guías, por falta de mayores estudios, toman los valores de admisión a vertederos como referencia. No obstante, en alguna Comunidad Autónoma ya han establecido valores más permisivos para los sulfatos como es el caso del País Vasco según lo dispuesto en su Orden del 12 de enero de 2015. En esta Comunidad se permite una concentración de 6000 mg/kg de sulfatos en lixiviados para aplicaciones no ligadas.

Desde una perspectiva de análisis de cómo influye el sulfato al medio receptor se ha comprobado que muy poca normativa trata al sulfato como un contaminante potencial. Si se revisa la legislación en materia de contaminación de suelos, ni el Real Decreto 9/2005 de suelos contaminados ni los valores de referencia para metales pesados y otros elementos traza para la salud humana en suelo de la Comunidad Foral de Navarra incluidos en la Ley Foral 14/2018 incluyen límites para los sulfatos. En el caso de contaminación de agua, el Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, incluye un umbral de sulfatos, 250 mg/l. No obstante, ni el Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, ni el borrador del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico sobre directrices para la protección de las aguas subterráneas frente a la Contaminación Puntual en el que se establecen valores genéricos de referencia de calidad de las aguas subterráneas especifican valores para los sulfatos.

Es importante destacar que además el sulfato se encuentra habitualmente de forma natural dentro del territorio navarro, principalmente en la zona sur. Este hecho ha podido motivar a excluirlo como sustancia a analizar dentro de los diferentes medios receptores e incluyendo otros componentes más influyentes cara a analizar un impacto ambiental. Esto no implica que el sulfato no pueda producir impactos en el medio originando problemas como, por ejemplo, de salinidad.

Por otro lado, los metales pesados y los parámetros orgánicos obtenidos, en general, cumplen con lo establecido en el Real Decreto 646/2020. Es importante destacar que diferentes legislaciones de contaminación de aguas y suelos establecen criterios para estas sustancias con lo que se les debe considerar como contaminantes potenciales.

Con todo esto se considera que a nivel ambiental no se establezcan únicamente los criterios de aceptación de residuos inertes en vertederos incluidos en el Real Decreto 646/2020 sino que se establezcan unos umbrales teniendo en cuenta estos dos criterios:

- ✓ Vulnerabilidad de los espacios receptores a nivel ambiental.
- ✓ Conformación de la aplicación del árido reciclado: ligada, no ligada con cobertura impermeable



o permeable.

A yellow tracked excavator is the central focus, positioned on a dirt path. The background features a large, rugged mountain under a clear sky. The scene is overlaid with semi-transparent geometric shapes in shades of green and brown. The text 'Anejo 1. Informes de las visitas a las instalaciones' is prominently displayed in white, bold font across the lower portion of the image.

Anejo 1. Informes de las visitas a las instalaciones



Instalación 1

Esta planta de valorización produce 9 áridos reciclados que clasifican como:

- ✓ Todo-uno de 1ª
- ✓ Todo-uno de 2ª
- ✓ (0-20)
- ✓ Grava 1ª (30-70)
- ✓ Balasto (60-120)
- ✓ Grava 2ª (20-50)
- ✓ Grava cribada (12-28)
- ✓ Gravillín (6-12)
- ✓ Arena (0-6)

Durante la visita se muestra el proceso completo del tratamiento de los escombros para obtener estos áridos. En el inicio del proceso comienza con el pesado de la báscula ubicada en la entrada de la instalación. Tras ello, las piezas prefabricadas de hormigón de gran tamaño se cortan mediante cizalla para evitar atascos en las instalaciones por la longitud de las barras metálicas. Además, se hace una revisión de los escombros y se eliminan las impurezas de gran volumen que se pueden encontrar como maderas de gran dimensión o plásticos.



Figura 41. Proceso de tratamiento mediante cizalla de las piezas prefabricadas

Fuente: GAN-NIK



Figura 42. Cizalla cortando las piezas de prefabricado

Fuente: GAN-NIK



Figura 43. Acopio del escombro recibido
Fuente: GAN-NIK



Figura 44. Instalación del proceso de pretratamiento
Fuente: GAN-NIK

Tras ello, pasa por las máquinas que constan de imanes, machacadora y sopladores. De este primer proceso salen dos materiales: uno con mayor contenido de cerámicos y más fino y otro con menor cantidad y con mayor granulometría. El primero de ellos es el que mayor problema tiene para comercializar ya que presenta mayor cantidad de cerámicos. Este material es el elegido para el estudio de sus características dentro del proyecto RCdiGreen con el fin de encontrarle una salida. Aun así, dentro de la instalación se está llevando a cabo un nuevo proceso de cribado y limpieza para poder darle una buena valorización.



Figura 45. Detalle de los imanes de la instalación
Fuente: GAN-NIK



Figura 46. Material fino del primer tratamiento e improprios de los sopladores
Fuente: GAN-NIK



Figura 47. Segundo proceso que se da al material fino
Fuente: GAN-NIK



Figura 48. Acopio del material fino tras un nuevo proceso de limpieza
Fuente: GAN-NIK



Figura 49. Detalle del acopio de la arena reciclada de segunda



Figura 50. Acopio del árido reciclado de segunda de granulometría 20-30
Fuente: GAN-NIK

En este proceso se obtiene un material fino similar a la arena de 0-20 mm (Figura 48) También se obtiene otro material más grueso de granulometría 20-30 mm al que podríamos denominar grava de segunda de 20-30 mm. (Figuras 50 y 51)



Durante este proceso, se produce una pequeña cantidad que no se puede valorizar y que se gestiona como residuo: (Figura 52)



Figura 51. Árido reciclado de segunda de granulometría 20-30 mm

Fuente: GAN-NIK



Figura 52. Material no valorizable obtenido en el proceso

De los áridos reciclados que han pasado la primera fase, pero con una granulometría mayor y con menor proporción de cerámicos tienen buena acogida para el uso en agricultura de zonas encharcadas como material de drenaje (Figuras 53 y 54)



Figura 53. Acopio de árido mixto obtenido de la primera línea

Fuente: GAN-NIK



Figura 54. Detalle del acopio de árido mixto obtenido de la primera línea

Fuente: GAN-NIK



Para obtener áridos reciclados de mayor calidad, este material vuelve a pasar por otro sistema de limpieza, machaqueo y cadena de triaje (Figuras 55 y 56)



Figura 55. Instalación de la planta de reciclaje y cabina de triaje

Fuente: GAN-NIK



Figura 56. Detalle de la cadena de triaje manual

Fuente: GAN-NIK

De esta forma se obtiene un árido reciclado de mayor concentración de hormigón y menos impurezas: (Figura 57)



Figura 57. Material obtenido tras la cadena de triaje

Fuente: GAN-NIK



Figura 58. Maquinaria para dar la última limpieza y granulometría requerida

Fuente: GAN-NIK



Este material aún puede ser procesado para obtener la granulometría deseada siendo el árido reciclado con mayor comercialización (Figuras 59 y 60)



Figura 59. Detalle del árido reciclado obtenido tras el proceso final

Fuente: GAN-NIK



Figura 60. Acopio del árido reciclado con mayor proporción de hormigón

Fuente: GAN-NIK

Los plásticos que se obtienen de los sopladores se está buscando opciones para valorizarlo mediante la incineración en empresas cementeras o semejantes (Figura 61) Uno de los mayores problemas que tiene la planta es la calidad con la que llega el escombros siendo significativo el problema que presentan los sacos de rafia ya que los sopladores no son capaces de eliminar estas impurezas.



Figura 61. Detalle de los restos obtenidos en los sopladores

Fuente: GAN-NIK



Figura 62. Camino de Adiós

Fuente: GAN-NIK

Tras la visita a la planta se nos muestra los caminos realizados tanto en Adiós en 2021 (Figuras 62 y 63) como en Añorbe en 2020 (Figuras 64,65 y 66 en página siguiente)



Figura 63. Detalle del acabado del camino de Adiós

Fuente: GAN-NIK



Figura 64. Camino en pendiente de Añorbe

Fuente: GAN-NIK

Ambos tienen una buena compactación. Además, en los caminos de Añorbe se destaca su buen estado aun estando en pendiente y en un lugar de fuerte escorrentía.



Figura 65. Detalle de los bordes del camino de Añorbe

Fuente: GAN-NIK



Figura 66. Detalle de la granulometría y material del camino utilizado en Añorbe

Fuente: GAN-NIK



Instalación 2

La visita tiene como objetivo conocer los áridos reciclados que se producen y su proceso, así como los problemas de la instalación.

El inicio del proceso comienza con la recepción del material en la báscula y tras ello, dependiendo del tipo de residuo, se va acopiando en diferentes espacios donde se procede a la separación de impropios mediante maquinaria o/y de forma manual (Figura 68) En los elementos de hormigón armado y prefabricado se cortan y se separa el hierro mediante cizalla con el fin de evitar obstrucciones en el procesado de la máquina de reciclaje (Figura 69)

De esta forma se crean dos líneas de residuos a tratar: residuos mixtos limpios (con presencia fundamentalmente de hormigón, ladrillo y cerámicos) y residuos con mayor concentración de hormigón.



Figura 67. Entrada a la planta de reciclaje de RCD de
Fuente: GAN-NIK



Figura 68. Zona de acopios y de separación de impropios
Fuente: GAN-NIK



Figura 69. Cizalla para separar las armaduras metálicas del hormigón
Fuente: GAN-NIK



Figura 70. Instalación para la separación de impropios y el machaqueo del residuo
Fuente: GAN-NIK



La cantidad de residuos mixtos frente a residuos de hormigón es mucho mayor debido a la falta de separación en origen.

En ambas líneas se realiza el mismo proceso de machaqueo y de limpieza con sopladores e imanes (Figura 70). De esta forma se obtiene los siguientes materiales:

Material a tratar	Línea de salida	Producto obtenido	Observaciones
Escombros limpio	0-30	Árido fino	
	30-60	Árido intermedio	
	60-100	Árido grueso	Se usa como materia prima del todo 1 de 2ª
Hormigón	0-30	Todo uno de 1ª/ hormigón 0-30	
	30-60	Grava 1ª/ hormigón 30-60	
	60-100	...	No sale producto porque cierran la machaca al máximo
Árido grueso	0-30	Todo uno 2ª/ mixto 0-30	
	30-60	Grava 2ª/ mixto 30-60	
	60-100	...	No sale producto porque cierran la machaca al máximo

Tabla 70. Productos obtenidos en la instalación

Fuente: GAN-NIK

Dentro de todos los materiales que se obtienen, el árido fino es el que presenta mayor contenido de restos cerámicos y, por tanto, puede presentar mayor proporción de sulfatos. Es el material que más cuesta comercializar junto con el árido intermedio (Figuras 71 y 72)



Figura 71. Acopio de árido fino mixto

Fuente: GAN-NIK



Figura 72. Acopio de árido mixto intermedio

Fuente: GAN-NIK



Figura 73. Acopio de árido mixto grueso

Fuente: GAN-NIK



Figura 74. Acopio de grava de segunda

Fuente: GAN-NIK

Viendo la dificultad de comercialización de los áridos mixtos, dentro de la planta se está realizando una revalorización con el fin de obtener un árido de mejor calidad. Para ello, se parte del árido mixto más grueso (granulometría 60-100 mm) al que se le realiza de nuevo el tratamiento completo. Aun así, este árido mixto tan grueso en ocasiones ha sido comercializado también para drenajes (Figura 73)

De este material se obtiene el llamado árido grueso mixto de 2ª que dependiendo de la granulometría tendríamos todo uno de 2ª (0-30 mm(Figura 75)) y grava de 2ª (30-60 mm(Figura 74)). Ambos materiales se están comercializando para rellenos y caminos, aunque en menor proporción que los áridos reciclados de hormigón. Hay que destacar que se están produciendo acopios importantes de áridos mixtos finos e intermedios originándose problemas en la planta para poder realizar otros áridos reciclados o aceptar mayor cantidad de escombros.



Figura 75. Acopio de todo uno de segunda

Fuente: GAN-NIK



Por otro lado, se procesa los residuos con mayor concentración de hormigón del cual se obtienen todo uno de 1ª (Figura 76) y grava de 1ª (Figuras 77 y 78) Estos áridos tienen buena comercialización y se usan para rellenos, bases de soleras, caminos, capas de drenaje, etc. El problema es que no se puede producir en grandes cantidades si el material no viene separado en origen.



Figura 76. Acopio de todo uno de primera
Fuente: GAN-NIK



Figura 77. Acopio de grava de primera
Fuente: GAN-NIK



Figura 78. Detalle del acopio de grava de primera
Fuente: GAN-NIK



Instalación 3

Esta instalación tiene diversificado su negocio en tres actividades:

- ✓ Fabricación de árido para hormigón.
- ✓ Restauración de la cantera con tierras.
- ✓ Planta de reciclaje.

La instalación de esta planta nace de un acuerdo con el Ayuntamiento del Baztán para dar salida a los escombros de la zona. El tratamiento que se da en la propia planta es mediante la instalación de la propia cantera con lo que el escombros que aceptan tiene que ser limpio. Además, posibilitan la ubicación de plantas móviles para el tratamiento in situ del material.



Figura 79. Restauración de la cantera con tierras.

Fuente: GAN-NIK



Figura 80. Zona de separación de los materiales impropios

Fuente: GAN-NIK

Tras el pesado del escombros en la báscula se procede a una limpieza de impropios de los escombros (Figura 80)



El escombros limpio se acopia en la zona alta de la cantera (Figura 81). Parte de este material va a ser usado para la ejecución de un proyecto que comenzará en breve una vez valorizado mediante planta móvil.

Como se ha especificado anteriormente, la propia instalación que se usa para hacer hormigón sirve para hacer el tratamiento del escombros. En primer lugar, se depositan los escombros en la tolva (Figuras 82,83 y 84). El machaqueo se realiza por rodillo y el transporte del material por la planta por cintas transportadoras.



Figura 81. Zona de acopio de los escombros limpios

Fuente: GAN-NIK



Figura 82. Tolva de áridos

Fuente: GAN-NIK



Figura 83. Cinta transportadora

Fuente: GAN-NIK



Figura 84. Cinta transportadora y zona donde se produce el cribado final

Fuente: GAN-NIK



El material generado es un todo uno 0-100 mm que van acopiando y que en la fecha de la visita era aproximadamente de 2000 toneladas (Figuras 86 y 87). Actualmente se está preparando junto a Prolesogal una batería de ensayos del material para categorizarlo y poder dar impulso a su comercialización ya que todavía su empleo es muy puntual.



Figura 85. Material acopiado tras el fin del proceso de tratamiento

Fuente: GAN-NIK



Figura 86. Detalle del todo uno reciclado tras el proceso

Fuente: GAN-NIK



Figura 87. Acopio de los áridos reciclados producidos

Fuente: GAN-NIK



Instalación 4

En esta instalación destaca su integración en el entorno por el cercado mediante pinos que permite que la actividad no sea rechazada por las localidades cercanas.

La instalación tiene diferentes líneas de negocio como es la fabricación de tierra vegetal o la planta de reciclaje. Durante la visita sólo nos centraremos en la planta de valorización de residuos de construcción y demolición

El inicio del proceso es mediante la recepción de los escombros en la báscula que comparte con el resto de líneas de negocio. El escombros que se acepta en esta planta tiene que estar bastante limpio para conseguir una eficiente limpieza en sus sistemas de cribados. A continuación, ese escombros se acopia para una limpieza manual y mecánica mediante diferentes cribados para eliminar los impropios (Figuras 88,89 y 90) .



Figura 88. Acopio de escombros a tratar

Fuente: GAN-NIK



Figura 89. Sistema de cribado

Fuente: GAN-NIK



Figura 90. Detalle del sistema de cribado

Fuente: GAN-NIK



También este proceso se puede realizar en otra máquina que cuenta con un sistema similar de cribado y una cadena de triaje manual (Figura 91)



Figura 91. Instalación de cribado con cadena de triaje Azanza

Fuente: GAN-NIK



Figura 92. Detalle de la instalación de reciclaje Azanza

Fuente: GAN-NIK

Tras el proceso de limpieza del escombro se procede a un tratamiento mediante imanes y machacador obteniéndose dos áridos reciclados de diferente granulometría en función del tamizado de la criba (Figuras 92 y 93)



Figura 93. Detalle del imán y contenedores de los restos metálicos

Fuente: GAN-NIK



Los áridos reciclados con granulometría mayor se están comercializando para drenajes por su buen comportamiento y su densidad menor (Figura 95)

El árido reciclado con granulometría menor que se podría asemejar a un todo uno 0-30 (Figura 96) Tiene mayores problemas de comercialización por la fuerte competencia que hay con el árido natural. Este material se ha utilizado para caminos cercanos a la instalación.



Figura 94. Fase final del proceso donde se acopian los áridos reciclados según su granulometría de
Fuente: GAN-NIK



Figura 95. Árido reciclado de granulometría 30-100
Fuente: GAN-NIK



Figura 96. Árido reciclado de granulometría de 0-30
Azanza
Fuente: GAN-NIK



Instalación 5

A diferencia del resto, esta instalación se encuentra dentro de una nave industrial teniendo especial atención la prevención de riesgos por ruido a la que pueden estar expuesta los operarios.

Al igual que en otras plantas, la empresa tiene diversificado su negocio siendo una parte la correspondiente a la valorización de RCD.

El escombros que recibe esta planta es de las inmediaciones y fluctúa mucho de calidad y cantidad en función de las demoliciones que se lleven a cabo. Cuando se recibe el material se pesa en la báscula y se acopia para poder valorizarlo (Figura 97)



Figura 97. Escombros acopiados para su valorización
Fuente: GAN-NIK



Figura 98. Instalación junto a la pala cargadora.
Fuente: GAN-NIK



El escombro se carga con una pala cargadora sobre la tolva donde se tritura. La instalación también cuenta con imanes para eliminar los restos metálicos (Figuras 98-página anterior-,99 y 100)



Figura 99. Detalle del imán de la instalación
Fuente: GAN-NIK



Figura 100. Contenedor con los restos metálicos tras el proceso de limpieza por imanes.
Fuente: GAN-NIK



Figura 101. Cinta transportadora final del proceso
Fuente: GAN-NIK



Figura 102. Árido reciclado obtenido tras el proceso de valorización
Fuente: GAN-NIK

El árido reciclado obtenido sale por una cinta transportadora donde se va acopiando (Figuras 101 y 102)



Figura 103. Camino realizado con árido reciclado
Fuente: GAN-NIK



Figura 104. Camino realizado con árido reciclado
Fuente: GAN-NIK

El material resultante se comercializa en la zona para realizar mejoras de caminos, accesos a naves industriales, mejoras de parkings, etc. Tras la visita a la instalación se nos mostró algunos caminos del entorno realizados con árido reciclado de la planta (Figuras 103,104 y 105). Sus acabados no son tan buenos ya que la zona carece de financiación para hacer obras completas con una adecuada compactación del material, aun así la zona de rodadura se ve con una buena consistencia y estabilidad.



Figura 105. Adecuación del terreno de una nave industrial de madera con árido reciclado
Fuente: GAN-NIK



Instalación 6

Se trata de una fundición de hierro, dedicada a la fabricación de piezas de automoción (bloques y culatas). En esta visita se explica el proceso productivo y cómo y dónde se originan las arenas residuales que finalmente se depositan en vertedero. La recuperación de estas arenas es del 98% llegándose a alcanzar una producción media anual de 60.000 toneladas.

Las arenas residuales proceden de la operación de desmoldeo de las piezas. Por eso en el proceso de la fundición tiene gran importancia el proceso de fabricación de los moldes interior y exterior de piezas, machos o núcleos y moldes de fundición. Estos procesos consisten básicamente en:

- ✓ Conformación de machos o núcleos: se conforman recurriendo a un sistema de aglomeración química, en el cual a la arena se añaden aglomerantes químicos (resinas) que gracias a un catalizador (amina) se acelera la reacción de endurecimiento y conformación del macho para su colada posterior.
- ✓ Conformación de moldes: estos moldes darán la configuración exterior a las piezas de fundición y se realiza con una técnica de moldeo en verde. El moldeo en arena verde es un proceso en el que se emplea un 85-95 % de arena silíceo junto un 5-10% bentonita y un 3-9% de materiales carbonosos (hulla).



Figura 106. Silo donde se almacenan las arenas residuales distribuidas en tres tolvas

Fuente: GAN-NIK



Figura 107. Detalles de las salidas de los silos que almacena la arena residual.

Fuente: GAN-NIK



Actualmente las arenas residuales de la instalación terminan en su propio vertedero aunque desde la cooperativa se ha intentado buscar una valorización para ello. Por ejemplo, antes de la crisis de 2008 se valorizó parte de estas arenas en una empresa ceramista de La Rioja que fabricaba ladrillos de grandes dimensiones, para rellenos de zanjas, bases para huertas solares o campos de golf. Estas arenas para ser admitidas en el vertedero se caracterizan de acuerdo a la ley 646/2020. En esa caracterización se observó que su lixiviación es baja pero que el contenido de fluoruros, en torno a 16-19, no permitían clasificar las arenas residuales como inertes. Por eso, desde 2018, se ha desarrollado un proceso de inertización orientado a disminuir los fluoruros desde la materia prima. Gracias a ello, se están alcanzando valores inferiores a 10 mg/l de fluoruros convirtiéndose en un residuo inerte en vez de no peligroso.



Figura 108. Ampliación del vertedero donde se depositan actualmente las arenas

Fuente: GAN-NIK



Figura 109. Acceso al vertedero

Fuente: GAN-NIK



Instalación 7

En esta planta el proceso comienza con el pesado de los escombros en la báscula y con una separación de los residuos para mejorar las líneas de proceso apilando los residuos en función de su naturaleza: hormigón, madera, mezclados, etc (Figuras 110,111 y 112)



Figura 110. Acopio de escombros de hormigón

Fuente: GAN-NIK



Figura 111. Acopio de residuos de madera

Fuente: GAN-NIK

Una vez realizada esa limpieza se procede a la trituración y limpieza más exhaustiva de los escombros. De los escombros limpios se obtiene un árido reciclado de calidad que podría clasificarse como suelo seleccionado. Generalmente este árido se emplea en caminos, drenajes, explanadas o terraplenes (Figuras 113,114 y 115) .



Figura 112. Acopio de residuos de residuos pétreos mixtos

Fuente: GAN-NIK



Figura 113. Escombros limpios antes de procesar

Fuente: GAN-NIK



Figura 114. Acopio de árido reciclado
Fuente: GAN-NIK



Figura 115. Detalle del árido reciclado como suelo seleccionado
Fuente: GAN-NIK

Con el escombros sucio también se realiza un nuevo proceso limpieza y trituración. Para ello, se cuenta con una cabina de triaje donde manualmente se separan los residuos (Figuras 116,117 y 118)



Figura 116. Cabina de triaje
Fuente: GAN-NIK



Figura 117. Interior de la cabina de triaje
Fuente: GAN-NIK



Figura 118. Contenedores con los residuos clasificados procedentes de la cabina de triaje

Fuente: GAN-NIK



Figura 119. Acopio del árido reciclado con peor comercialización

Fuente: GAN-NIK

El árido reciclado obtenido del escombros sucio no tiene buena salida debido a la cantidad de cerámicos que contiene (Figura 119) Esto origina que se vaya apilando gran cantidad de este material en la planta. Actualmente se está cribando de nuevo este material acopiado para aprovechar el árido más grueso (generalmente de hormigón) y reincorporarlo en la valorización del árido reciclado que más se comercializa (Figura 120)



Figura 120. Cinta transportadora que sirve para el cribado del acopio de árido reciclado mixto

Fuente: GAN-NIK

A yellow CAT excavator is positioned on a dirt path at a construction site. In the background, there is a large, dark, rocky mountain. The scene is overlaid with semi-transparent colored rectangles: a large green one in the center, a brown one on the left, and a smaller brown one at the bottom left. The text is centered within the green rectangle.

Anejo 2. Requisitos de los áridos reciclados para su uso en el hormigón



A continuación, se establecen varias tablas con las diferentes limitaciones de los áridos reciclados para su aplicación en hormigón, en función de la EHE-08, el Código estructural y los ensayos para verificar dichos límites. Estas especificaciones sirven para hormigones estructurales, no estructurales y en masa. En estos requisitos se incluyen todas las especificaciones técnicas establecidas en la norma armonizada europea EN 12620: “Áridos para hormigones” que es de obligatorio cumplimiento.

A.2.1. Requisitos geométricos

TAMAÑO MÍNIMO DE ÁRIDO (MM.)		
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08
Hormigón estructural	UNE-EN 933-1 y 933-2	4
Hormigón no estructural		4
Hormigón de limpieza		4
FORMA. ÍNDICE DE LAJAS (%)		
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08/ CÓDIGO ESTRUCTURAL
Hormigón estructural	UNE-EN 933-3	< 35
Hormigón no estructural		< 35
Hormigón de limpieza		< 35
CONTENIDO DE DESCALIFICADOS (%)		
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08
Hormigón estructural	UNE-EN 933-1 y 933-2	≤ 10
Hormigón no estructural		≤ 10
Hormigón de limpieza		≤ 10
CONTENIDO DE PARTÍCULAS QUE PASAN POR EL TAMIZ 4 MM (%) (NATURAL + RECICLADO)		
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08
Hormigón estructural	UNE-EN 933-1 y 933-2	≤ 5
Hormigón no estructural		≤ 5
Hormigón de limpieza		≤ 5



A.2.2. Requisitos físico-mecánicos

IMPUREZAS (%)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08	CÓDIGO ESTRUCTURAL
Hormigón estructural	UNE-EN 933-11	Material cerámico: $\leq 5\%$ Partículas ligeras: $\leq 1\%$ Asfalto: $\leq 1\%$ Otros materiales: $\leq 1\%$	Partículas ligeras: $\leq 2\%$ Asfalto: $\leq 1\%$ Otros materiales: $\leq 0,5\%$
Hormigón no estructural		$\leq 1\%$	
Hormigón de limpieza		$\leq 1\%$	
CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA (%) (NATURAL + RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08	
Hormigón estructural	UNE 7133	Si contenido de AR es $<20\%$: en A.N. $\leq 0,15$ + en A.R. $\leq 0,6$	
Hormigón no estructural		Si contenido de AR es 100% : $\leq 0,25$	
Hormigón de limpieza		$\leq 0,6$	
ABSORCIÓN (%) (NATURAL + RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08	CÓDIGO ESTRUCTURAL
Hormigón estructural	UNE-EN 1097-6	Si contenido de AR es $<20\%$: en A.R. ≤ 7 + en A.N. $\leq 4,5$ Si contenido de AR es $>20\%$: ≤ 5	Si contenido de AR es $<20\%$: en A.R. ≤ 7 + en A.N. $\leq 4,5$
Hormigón no estructural		Si contenido de AR es $<20\%$: en A.R. ≤ 7 + en A.N. $\leq 4,5$ Si contenido de AR es $>20\%$: ≤ 5	
Hormigón de limpieza		Si contenido de AR es $<20\%$: en A.R. ≤ 7 + en A.N. $\leq 4,5$ Si contenido de AR es $>20\%$: ≤ 5	Si contenido de AR es $<20\%$: en A.R. ≤ 7 + en A.N. $\leq 4,5$
RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN. COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES (%) (NATURAL+ RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08/ CÓDIGO ESTRUCTURAL	
Hormigón estructural	UNE-EN 1097-2	$\leq 40^*$	
Hormigón no estructural		$\leq 40^*$	
Hormigón de limpieza			
PÉRDIDA DE PESO CON SULFATO DE MAGNÉSICO (%) (NATURAL + RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08/ CÓDIGO ESTRUCTURAL	
Hormigón estructural	UNE-EN 1367-2	≤ 18	
Hormigón no estructural		≤ 18	
Hormigón de limpieza		≤ 18	

* El límite de la fragmentación de lasas está basado en el Anejo 15 de la EHE donde se permite la aplicación del árido reciclado en hormigones de resistencias características hasta 40 N/mm². Sin embargo, en el artículo 28.6 de la EHE-08 se especifica que para resistencias características menores a 30 N/mm² (resistencia característica límite para hormigón estructural establecida en la Guía), la resistencia de fragmentación puede ser entre 40 y 50 si se acredita experiencia previa.



A.2.3. Requisitos químicos

CONTENIDO DE SULFATOS SOLUBLES EN ÁCIDO (%) (NATURAL + RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08/ CÓDIGO ESTRUCTURAL	
Hormigón estructural		≤ 0,8	
Hormigón no estructural	UNE-EN 1744-1	≤ 0,8	
Hormigón de limpieza		≤ 0,8	
CONTENIDO DE CLORUROS TOTALES (%) (NATURAL + RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08/ CÓDIGO ESTRUCTURAL	
Hormigón estructural		≤ 0,05	
Hormigón no estructural	UNE-EN 1744-1	≤ 0,05	
Hormigón de limpieza			
CONTENIDO TOTAL DE COMPUESTOS DE AZUFRE (%) (NATURAL + RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08/ CÓDIGO ESTRUCTURAL	
Hormigón estructural		≤ 1	
Hormigón no estructural	UNE-EN 1097-6	≤ 1	
Hormigón de limpieza		≤ 1	
CONTENIDO PARTÍCULAS LIGERAS (%) (NATURAL+ RECICLADO)			
TIPO DE HORMIGÓN	ENSAYO	LIMITACIONES EHE -08	CÓDIGO ESTRUCTURAL
Hormigón estructural		≤ 1	≤ 2
Hormigón no estructural	UNE 7244	≤ 1	-
Hormigón de limpieza		≤ 1	≤ 2

A yellow CAT excavator is positioned on a dirt path at a construction site. In the background, a large, dark, rocky mountain rises against a clear sky. The excavator's arm and bucket are visible, and the CAT logo is on the side of the machine. The ground is uneven and covered with dirt and small rocks. There are some green and brown translucent overlays on the image.

Anejo 3. Requisitos de los áridos reciclados para su uso en materiales granulares en terraplenes



A.3.1. Consideraciones generales

Según la guía el suelo seleccionado y adecuado se utilizará tanto en terraplenes como para rellenos localizados, mientras que los suelos tolerables y marginales sólo se emplearán para terraplenes.

El “Catálogo de firmes y unidades de obra con árido reciclado de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)” de Andalucía clasifica la granulometría de los suelos seleccionados reciclados y para suelos adecuados reciclados mediante la norma UNE-EN-933-1.

A.3.2. Requisitos geométricos

GRANULOMETRÍA *		
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3
Suelo marginal	UNE 103101	- Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE: # 20 > 70%
Suelo tolerable		- Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE: # 0,080 ≥
Suelo adecuado		35%
Suelo seleccionado		
TAMAÑO MÁXIMO DE ÁRIDO (MM.)		
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3
Suelo marginal	UNE 103101	-
Suelo tolerable		-
Suelo adecuado		≤ 100
Suelo seleccionado		≤ 100
CERNIDO ACUMULADO		
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3
Suelo marginal	UNE 103101	-
Suelo tolerable		-
Suelo adecuado		#2 < 80% y #0,080 < 35%
Suelo seleccionado		# 0,40 ≤ 15% **

* Es necesario cumplir una de las dos limitaciones para considerarse suelo.

** También se considera suelo seleccionado si se cumplen todas estas condiciones:

Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento (# 2 < 80%).

Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento (# 0,40 < 75%).

Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento (# 0,080 < 25%).

Límite líquido menor de treinta (LL < 30), según UNE 103103.

Índice de plasticidad menor de diez (IP < 10), según UNE 103103 y UNE 103104.



A.3.3. Requisitos físico-mecánicos

LÍMITE LÍQUIDO				
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
Suelo marginal	UNE 103103	-		
Suelo tolerable		< 65		
Suelo adecuado		< 40		
Suelo seleccionado		-		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
Suelo marginal	UNE 103104	Si LL > 90, IP < 0,73 (LL-20)		
Suelo tolerable		Si LL > 40, IP > 0,73 (LL-20)		
Suelo adecuado		Si LL > 30, IP > 4		
Suelo seleccionado		-		
HINCHAMIENTO LIBRE (%)				
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
Suelo marginal	UNE 103601	< 5		
Suelo tolerable		< 3		
Suelo adecuado		-		
Suelo seleccionado		-		
ASIENTO DE COLAPSO				
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
Suelo marginal	NLT 254	-		
Suelo tolerable		< 1%		
Suelo adecuado		-		
Suelo seleccionado		-		
INDICE CBR*				
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
		Cimiento	Núcleo	Coronación
Suelo marginal	UNE 103502	-	-	-
Suelo tolerable		> 3	> 3	-
Suelo adecuado		> 3	> 3	> 5
Suelo seleccionado		> 3	> 3	> 5



A.3.4. Requisitos químicos

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%)		
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3
Suelo marginal	UNE 103204	< 5
Suelo tolerable		< 2
Suelo adecuado		< 1
Suelo seleccionado		< 0,2

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES (%)		
TIPO DE SUELO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3
Suelo marginal	Sales	-
Suelo tolerable	solubles: NLT	< 1% (excluido el yeso) y <5%
Suelo adecuado	114 Y Yeso	< 0,2% (incluido el yeso)
Suelo seleccionado	:NLT 115	< 0,2% (incluido el yeso)

A yellow CAT excavator is positioned on a dirt path at a construction site. In the background, there is a large, dark, rocky mountain. The excavator's arm and bucket are visible, and it has a "CAT" logo on its side. The ground is uneven and covered with dirt and some debris. There are some green plastic sheets or tarps in the middle ground.

Anejo 4. Requisitos de los áridos reciclados para materiales granulares en firmes



A.4.1. Consideraciones generales

En función del tráfico pesado se permite el uso de los áridos reciclados, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho limitándose a una categoría entre T2 y T4 cuyas intensidades medias diarias de tráfico pesado son las siguientes:

CATEGORÍAS DE TRÁFICO					
T21	T22	T31	T32	T41	T42
≥ 200 y < 800		≥ 100 y < 200		≥ 25 y < 50	

En los apartados de este anexo se incluyen los requisitos técnicos para los áridos exclusivamente de las categorías de tráfico recomendadas para el empleo de árido reciclado del PG-3. Para especificaciones de intensidades medias diarias de tráfico pesado superiores se debe consultar el PG-3. Además, a parte de las recomendaciones generales para áridos se incluyen unas especificaciones concretas en función de la naturaleza del árido.

CONSIDERACIONES EN MATERIALES			
TIPO DE MATERIAL	PARÁMETRO	ENSAYO	LIMITACIÓN
Árido reciclado	Sulfato de magnesio	UNE EN 1367-2	≤ 18%
Árido siderúrgico procedente de alto horno	Desintegración por el silicato bicálcico y por el hierro	UNE-EN 1744-1	No presente
Árido siderúrgico procedente de acería	Expansividad	UNE-EN 1744-1*	< 5%
	Índice de Envejecimiento Granulométrico	NLT-361	< 1%
	Contenido cal libre	UNE-EN 1744-1	< 0,5 %

* La duración del ensayo será de veinticuatro horas (24 h) cuando el contenido de óxido de magnesio (norma UNE-EN 196-2) sea menor o igual al cinco por ciento ($MgO \leq 5\%$) y de ciento sesenta y ocho horas (168 h) en los demás casos.

Las especificaciones para esta aplicación se diferencian en función del tamaño del árido: grueso o fino. Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm y árido fino a la parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm..



A.4.2. Requisitos geométricos

A.4.2.1. Árido grueso

ANGULOSIDAD: PARTICULAS TRITURADAS (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 933-5	≥ 70	≥ 70	≥ 50
T3		≥ 50	≥ 50	≥ 50
T4		≥ 50	≥ 50	≥ 50
ANGULOSIDAD: PARTICULAS REDONDEADAS (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 933-5	≤ 10	≤ 10	≤ 10
T3		≤ 10	≤ 10	≤ 10
T4		≤ 10	≤ 10	≤ 10
ÍNDICE DE LAJAS (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 933-3	< 35	< 35	< 35
T3		< 35	< 35	< 35
T4		< 35	< 35	< 35

GRANULOMETRÍA

CERNIDO POR EL TAMIZ 0,063 MM (%)

ENSAYO

LIMITACIÓN

UNE- EN 933-1

< 2/3 del cernido por el tamiz 0,25 mm

CLASIFICACIÓN DE LA ZAHORRA

ABERTURA DE TAMIZ (mm)	0/32	0/20	Drenante 0/20
40	100	-	-
32	88-100	100	100
20	65-90	75-100	65-100
12,5	52-76	60-86	47-78
8	40-63	45-73	31-54
4	26-45	31-54	14-37
2	15-32	20-40	0-15
0,5	7-21	9-24	0-6
0,25	4-16	5-18	0-4
0,063	0-9	0-9	0-2



A.4.3. Requisitos físico-mecánicos

A.4.3.1. Árido grueso

RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN. COEFICIENTE LOS ÁNGELES (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
		BASES	SUBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 1097-2	≤ 30	≤ 30	≤ 35
T3		≤ 35	≤ 35	≤ 35
T4		≤ 35	≤ 35	≤ 35

A.4.3.2. Árido fino

PLASTICIDAD: LÍMITE LÍQUIDO*				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBASES	ARCENES
T2	UNE-EN UNE 103103	No plástico	No plástico	No plástico
T3		No plástico	No plástico	< 30
T4		No plástico	No plástico	< 30
PLASTICIDAD: ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBASES	ARCENES
T2	UNE-EN UNE 103104	No plástico	No plástico	No plástico
T3		No plástico	No plástico	< 10
T4		No plástico	No plástico	< 10
EQUIVALENTE ARENA (%) **				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 933-8	> 35	> 35	> 35
T3		> 35	> 35	> 30
T4		> 35	> 35	> 30

* Las recomendaciones de que el material no sea plástico son una exigencia que puede exigir por el Pliego de Prescripciones Particulares o por la Dirección de Obra.

**Si no cumple estos valores, su valor de azul de metileno (Anexo A de la norma UNE-EN 933-9), para la fracción 0/0,125 deberá ser inferior a diez gramos por kilogramo (MBf < 10g/kg) y, simultáneamente, el equivalente de arena (SE4) no deberá ser inferior en más de cinco (5) unidades a los valores indicados.



A.4.4. Requisitos químicos

A.4.4.1. Ambos tipos de áridos: grueso y fino

CONTENIDO DE AZUFRE: CAPAS EN CONTACTO CON CAPAS TRATADAS CON CEMENTO (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 1744-1	< 0,5	< 0,5	< 0,5
T3		< 0,5	< 0,5	< 0,5
T4		< 0,5	< 0,5	< 0,5
CONTENIDO DE AZUFRE: CAPAS SIN CONTACTO CON CAPAS TRATADAS CON CEMENTO (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 1744-1	< 1	< 1	< 1
T3		< 1	< 1	< 1
T4		< 1	< 1	< 1
CONTENIDO DE SULFATOS SOLUBLES EN AGUA (SO ₃) (%)				
TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	BASES	SUBBASES	ARCENES
T2	UNE-EN 1744-1	< 0,7	< 0,7	< 0,7
T3		< 0,7	< 0,7	< 0,7
T4		< 0,7	< 0,7	< 0,7

A yellow CAT tracked excavator is positioned on a dirt path at a construction site. In the background, there is a large, dark, rocky mountain. The excavator's arm and bucket are visible, and it has a "CAT" logo on its side. The ground is uneven and covered with dirt and some debris. There are some green plastic sheets or structures in the mid-ground.

Anejo 5. Requisitos de los áridos reciclados para materiales tratados con ligantes hidráulicos en firmes y explanaciones



A.5.1. Requisitos geométricos

HUSOS GRANULOMÉTRICOS											
SUELOCIMIENTO (% EN MASA CERNIDO PONDERAL ACUMULADO)											
CLASE	ENSAYO	54	40	32	20	12,5	8	4	2	0,5	0,063
SC20	UNE-EN 933-1			100	92-100	76- 100	63-100	48- 100	36-94	18-65	2-35
SC40		100	80-100	75-100	62-100	53-100	45-89	30-65	20-52	5-37	2- 20
GRAVACEMIENTO (% EN MASA CERNIDO PONDERAL ACUMULADO)											
CLASE	ENSAYO	54	40	32	20	12,5	8	4	2	0,5	0,063
GC20	UNE-EN 933-1			100	80-100	62-84	44-68	28-51	19-39	6-21	1-7
GC32		100	88-100	67-91	52-77	38-63	25-48	16-37	6-21	1-7	

A.5.1.1. Árido grueso en la gravacemiento

ANGULOSIDAD: PARTICULAS TRITURADAS (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T00 A T1	UNE-EN 933-5	≥ 70	≥ 50
	DE T2		≥ 50	≥ 30
	DE T3 A T4		≥ 30	≥ 30
SC40	DE T00 A T1		≥ 70	≥ 50
	DE T2		≥ 50	≥ 30
	DE T3 A T4		≥ 30	≥ 30
GC20	DE T00 A T1		≥ 70	≥ 50
	DE T2		≥ 50	≥ 30
	DE T3 A T4		≥ 30	≥ 30
GC32	DE T00 A T1		≥ 70	≥ 50
	DE T2		≥ 50	≥ 30
	DE T3 A T4		≥ 30	≥ 30



ANGULOSIDAD: PARTICULAS REDONDEADAS (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T00 A T1	UNE-EN 933-5	≤ 10	≤ 10
	DE T2		≤ 10	≤ 30
	DE T3 A T4		≤ 30	≤ 30
SC40	DE T00 A T1		≤ 10	≤ 10
	DE T2		≤ 10	≤ 30
	DE T3 A T4		≤ 30	≤ 30
GC20	DE T00 A T1		≤ 10	≤ 10
	DE T2		≤ 10	≤ 30
	DE T3 A T4		≤ 30	≤ 30
GC32	DE T00 A T1		≤ 10	≤ 10
	DE T2		≤ 10	≤ 30
	DE T3 A T4		≤ 30	≤ 30
ÍNDICE DE LAJAS (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T00 A T2	UNE-EN 933-3	≤ 30	≤ 40
	DE T3 A T4		≤ 35	≤ 40
	DE T00 A T1		-	-
SC40	DE T00 A T2		≤ 30	≤ 40
	DE T3 A T4		≤ 35	≤ 40
	DE T00 A T1		-	-
GC20	DE T00 A T2		≤ 30	≤ 40
	DE T3 A T4		≤ 35	≤ 40
	DE T00 A T1		-	-
GC32	DE T00 A T2		≤ 30	≤ 40
	DE T3 A T4		≤ 35	≤ 40
	DE T00 A T1		-	-



A.5.2. Requisitos físico-mecánicos

A.5.2.1. Árido grueso en la gravacemiento

RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN. COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
GC20	DE T00 A T1	UNE-EN 1097-2	-	-
	DE T00 A T2		≤ 30*	≤ 40
	DE T3 A T4		≤ 35	≤ 40
GC32	DE T00 A T1		-	-
	DE T00 A T2		≤ 30*	≤ 40
	DE T3 A T4		≤ 35	≤ 40

*Para las categorías de tráfico pesado T1 y T2, cuando se utilicen en capas de calzada materiales reciclados procedentes de capas de mezclas bituminosas, pavimentos de hormigón, materiales tratados con cemento o de demoliciones de hormigones, el valor del coeficiente de los Ángeles (LA) deberá ser inferior a treinta y cinco (< 35).

A.5.2.2. Árido fino en la gravacemiento y el suelocemento

PLASTICIDAD: LÍMITE LÍQUIDO				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T00 A T1	UNE 103103	< 30	< 30
	DE T00 A T2		< 30	< 30
	DE T3 A T4		< 30	< 30
SC40	DE T00 A T1		< 30	< 30
	DE T00 A T2		< 30	< 30
	DE T3 A T4		< 30	< 30
GC20	DE T00 A T1		< 25*	< 25*
	DE T00 A T2		No plástico*	No plástico*
	DE T3 A T4		< 25*	< 25*
GC32	DE T00 A T1		< 25*	< 25*
	DE T00 A T2		No plástico*	No plástico*
	DE T3 A T4		< 25*	< 25*



PLASTICIDAD: ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T00 A T1	UNE 103104	< 12	< 12
	DE T00 A T2		< 12	< 12
	DE T3 A T4		< 12	< 12
SC40	DE T00 A T1		< 12	< 12
	DE T00 A T2		< 12	< 12
	DE T3 A T4		< 12	< 12
GC20	DE T00 A T1		< 25*	< 25*
	DE T00 A T2		No plástico*	No plástico*
	DE T3 A T4		< 6*	< 6*
GC32	DE T00 A T1		< 6*	< 6*
	DE T00 A T2		No plástico*	No plástico*
	DE T3 A T4		< 6*	< 6*
CALIDAD DE FINOS: EQUIVALENTE DE ARENA (%)**				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
GC20	DE T00 A T1	UNE-EN 933-8	> 40	> 40
	DE T00 A T2		> 40	> 40
	DE T3 A T4		> 40	> 40
GC32	DE T00 A T1		> 35	> 35
	DE T00 A T2		> 35	> 35
	DE T3 A T4		> 35	> 35

* Posibilidad de ser exigible dentro del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o por la Dirección de las Obras.

** De no cumplirse estas condiciones, su valor de azul de metileno (MBF), según el Anexo A de la norma UNE-EN 933-9 para la fracción 0/0,125, deberá ser inferior a diez gramos por kilogramo (MBF < 10 g/kg) y, simultáneamente, el equivalente de arena (SE4), deberá ser superior a treinta (> 30), para ambos tipos.




A.5.2.3. Características del conjunto de la mezcla

RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS (MPa)					
CLASE	TIPO DE TRÁFICO*	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3		
			CALZADA	ARCENES	
SC20	DE T3 A T4	NLT-305	2,5 – 4,5	2,5 – 4,5	
SC40	DE T00 A T2		2,5 – 4,5	2,5 – 4,5	
GC20	DE T00 A T4		4,5 - 7	4,5 - 6	
GC32	Todos		4,5 - 7	4,5 - 6	
PLAZO DE TRABAJABILIDAD (Horas)					
CLASE	TIPO DE TRÁFICO*	ENSAYO	TIPO DE EJECUCIÓN	LIMITACIONES PG-3	
				CALZADA	ARCENES
SC20	DE T3 a T4	UNE 41240 o UNE-EN 13286-45	Anchura completa	3	3
			Por zanjas	4	4
SC40	DE T00 A T2		Anchura completa	3	3
			Por zanjas	4	4
GC20	DE T00 a T2		Anchura completa	3	3
			Por zanjas	4	4
GC25	DE T00 A T1		Anchura completa	3	3
			Por zanjas	4	4
	DE T3 A T4		Anchura completa	3	3
			Por zanjas	4	4
GC32	Todos	Anchura completa	3	3	
		Por zanjas	4	4	



A.5.3. Requisitos químicos

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T3 A T4	UNE 103204	≤ 1	≤ 1
SC40	DE T00 A T2		≤ 1	≤ 1
GC20	DE T00 A T2		-	-
GC32	Todos		-	-
COMPUESTOS TOTALES DE AZUFRE (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T3 A T4	UNE-EN 1744-1	-	-
SC40	DE T00 A T2		-	-
GC20	DE T00 A T2		≤ 1	≤ 1
GC32	Todos		≤ 1	≤ 1
SULFATOS SOLUBLES EN ÁCIDO (%)				
CLASE	TIPO DE TRÁFICO	ENSAYO	LIMITACIONES PG-3	
			CALZADA	ARCENES
SC20	DE T3 A T4	UNE-EN 1744-1	-	-
SC40	DE T00 A T2		-	-
GC20	DE T00 A T2		≤ 0,8	≤ 0,8
GC32	Todos		≤ 0,8	≤ 0,8



Anejo 6. Ensayos realizados en cada muestra



PARÁMETRO	MUESTRAS									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Granulometría	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1	UNE 933-1/ UNE 933-2	UNE 103101
Límite líquido y plástico			UNE 103103 y UNE 103104	UNE 103103 y UNE 103104					UNE 103103 y UNE 103104	UNE 103103
Azufre total			UNE-EN 1744-1/10	UNE-EN 1744-1/10						
Sales solubles									NLT 114	NLT 114
Yesos									NLT 115	
Materia orgánica									UNE 103204	UNE 103204
CBR				UNE 103502					UNE 103502	UNE 103502
Proctor modificado			UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501				UNE 103500 y UNE 103501	UNE 103500 y UNE 103501
Equivalente de arena			UNE-EN 933-8	UNE-EN 933-8						
% partículas trituradas			UNE-EN 933-5	UNE-EN 933-5						
Índice lajas	UNE-EN 933-3	UNE-EN 933-3	UNE-EN 933-3	UNE-EN 933-3						
Coficiente de los Ángeles	UNE -EN 1097-2	UNE -EN 1097-2	UNE -EN 1097-2	UNE -EN 1097-2						
Contenido de finos	UNE-EN 1097-6		UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1						
Contenido de SO3				UNE 103201						
Absorción de agua		UNE-EN 1097-6								



PARÁMETRO	MUESTRAS									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Granulometría	UNE 103101	UNE 103101	UNE 103101	UNE 103101	UNE 933-1	UNE 103101	UNE 103101	UNE 103101	UNE 933-2	UNE 103101
Límite líquido y plástico	UNE 103103	UNE 103103	UNE 103103	UNE 103103				UNE 103103	UNE 103103 y UNE 103104	UNE 103103
Azufre total									UNE-EN 1744-1/10	
Sales solubles	NLT 114	NLT 114	NLT 114					NLT 114		NLT 114
Yesos								NLT 115		NLT 115
Materia orgánica	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204				UNE 103204		UNE 103204
CBR	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502				UNE 103502		UNE 103502
Proctor modificado	UNE 103500 y UNE 103501	UNE 103500 y UNE 103501	UNE 103500 y UNE 103501	UNE 103500 y UNE 103501				UNE 103500 y UNE 103501		UNE 103500 y UNE 103501
Equivalente de arena									UNE-EN 933-8	
% partículas trituradas										
Índice lajas									UNE-EN 933-3	
Coefficiente de los Ángeles					UNE -EN 1097-2				UNE -EN 1097-2	
Contenido de finos					UNE-EN 933-1					
Contenido de SO ₃										
Absorción de agua					UNE 83134					



PARÁMETRO	MUESTRAS								
	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Granulometría	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1	UNE EN 933-1
Límite líquido y plástico	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12	UNE-EN 17892-12
Azufre total	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1
Cloruros totales en agua	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1
Sulfatos solubles en agua	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1	UNE-EN 1744-1
Sales solubles	NLT 114	NLT 114		NLT 114	NLT 114	NLT 114	NLT 114	NLT 114	NLT 114
Yesos	NLT 115	NLT 115		NLT 115	NLT 115	NLT 115	NLT 115	NLT 115	NLT 115
Materia orgánica	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204	UNE 103204
CBR	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502	UNE 103502
Proctor modificado	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501	UNE 103501
Equivalente de arena	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8	UNE- EN 933-8
% partículas trituradas/ redondeadas	UNE- EN 933-5	UNE- EN 933-5	UNE- EN 933-5	UNE- EN 933-5	UNE- EN 933-5		UNE- EN 933-5	UNE- EN 933-5	UNE- EN 933-5
Índice lajas	UNE- EN 933-3	UNE- EN 933-3	UNE- EN 933-3	UNE- EN 933-3	UNE- EN 933-3		UNE- EN 933-3	UNE- EN 933-3	UNE- EN 933-3
Coefficiente de los Ángeles	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1097-2		UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 1097-2
Contenido de finos	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1	UNE-EN 933-1
Absorción de agua	UNE- EN 1097-6	UNE- EN 1097-6		UNE- EN 1097-6	UNE- EN 1097-6	UNE- EN 1097-6	UNE- EN 1097-6	UNE- EN 1097-6	UNE- EN 1097-6
Pérdida de sulfato magnésico	UNE-EN 1367-2	UNE-EN 1367-2		UNE-EN 1367-2	UNE-EN 1367-2		UNE-EN 1367-2	UNE-EN 1367-2	UNE-EN 1367-2
Composición	UNE-EN 933-11	UNE-EN 933-11	UNE-EN 933-11	UNE-EN 933-11	UNE-EN 933-11		UNE-EN 933-11	UNE-EN 933-11	UNE-EN 933-11
Hinchamiento libre	UNE 103406	UNE 103601		UNE 103601	UNE 103601	UNE 103601	UNE 103601	UNE 103601	UNE 103601
Colapso	UNE 103406	UNE 103406		UNE 103406	UNE 103406	UNE 103406	UNE 103406	UNE 103406	UNE 103406
Coefficiente de friabilidad						UNE 14604			
Partículas ligeras						UN EN 1744-1			



La economía circular de los RCD como estrategia para la adaptación al cambio climático



Interreg
POCTEFA



RCdiGREEN Partners



La economía circular de los RCD como estrategia para la adaptación al cambio climático

El proyecto ha sido cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Interreg V-A España, Francia, Andorra (POCTEFA 2014-2020). El objetivo de POCTEFA es reforzar la integración económica y social de la zona fronteriza España-Francia-Andorra. Su ayuda se concentra en el desarrollo de actividades económicas, sociales y medioambientales transfronterizas a través de estrategias conjuntas a favor del desarrollo territorial sostenible.