

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32

## Áridos – Áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico – Clasificación y requisitos

### Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

Este anteproyecto de norma ha sido preparado por el INN y está basado en antecedentes técnicos nacionales, con el fin de que sea revisado por parte de un Comité de Anteproyecto.

Si bien se ha tomado todo el cuidado razonable en la preparación y revisión de los documentos normativos producto de la presente comercialización, INN no garantiza que el contenido del documento es actualizado o exacto o que el documento será adecuado para los fines esperados por el Cliente.

En la medida permitida por la legislación aplicable, el INN no es responsable de ningún daño directo, indirecto, punitivo, incidental, especial, consecuencial o cualquier daño que surja o esté conectado con el uso o el uso indebido de este documento.

33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84

**Áridos – Áridos artificiales en base a escorias del proceso siderúrgico – Clasificación y requisitos**

**1 Alcance y campo de aplicación**

- 1.1 Esta norma establece una clasificación de áridos artificiales provenientes del proceso siderúrgico para la obtención del hierro y acero.
- 1.2 Esta norma establece los ensayos de caracterización que deben implementar los productores de áridos artificiales provenientes de procesos siderúrgicos para la obtención del hierro y acero.
- 1.3 Esta norma establece los requisitos de producción que deben cumplir los productores de áridos artificiales provenientes de procesos siderúrgicos para la obtención del hierro y acero.
- 1.4 Esta norma no establece los requisitos que deben cumplir los áridos artificiales para los distintos usos específicos.

**2 Referencias normativas**

Los documentos siguientes son indispensables para la aplicación de esta norma. Para referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier enmienda).

- NCh163, *Áridos para morteros y hormigones - Requisitos.*
- NCh164, *Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras.*
- NCh165, *Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría.*
- NCh166, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de impurezas orgánicas en las arenas.*
- NCh1116, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente.*
- NCh1117, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas.*
- NCh1239, *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y de la absorción de agua de las arenas.*

85 NCh1369, *Áridos - Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto - Método*  
86 *de la máquina de Los Angeles.*

87  
88 NCh1444, *Áridos para morteros y hormigón - Determinación de cloruros y sulfatos.*

89  
90

### 91 **3 Términos y definiciones**

92  
93 Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones dados en NCh163 y los siguientes:

94  
95 3.1  
96 árido artificial  
97 material, granular, sólido e inorgánico, distinto de un árido natural o árido procesado, que resulta de un proceso  
98 industrial o subproducto de otro proceso industrial

99  
100 3.2  
101 escoria siderúrgica de alto horno  
102 BFS  
103 subproducto no metálico de origen industrial procedente del proceso de fabricación de hierro y que se compone  
104 principalmente de silicatos, aluminosilicatos y silicatos de calcio-alúmina

105  
106 3.3  
107 escoria siderúrgica de horno de arco eléctrico  
108 escoria negra  
109 EAFS  
110 subproducto no metálico de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico  
111 (*Electric Arc Furnace*, EAF, por sus siglas en inglés) que se forma durante el proceso de fusión primaria y se  
112 compone principalmente de óxidos de fierro, calcio y silicio

113  
114 3.4  
115 escoria siderúrgica de horno cuchara  
116 escoria blanca  
117 LDFS  
118 subproducto no metálico de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico  
119 tipo cuchara (*Ladle Furnace*, LD, por sus siglas en inglés) que se forma durante el proceso de afino secundario  
120 y se compone principalmente de óxidos de calcio, silicio y fierro

121  
122 3.5  
123 escorias siderúrgicas de horno de oxígeno básico  
124 BOFS  
125 subproducto no metálico de origen industrial procedente del proceso de afino del arrabio (hierro líquido) en un  
126 horno de oxígeno básico (*basic oxygen furnace*, BOF, por sus siglas en inglés)

127  
128

### 129 **4 Clasificación**

130  
131

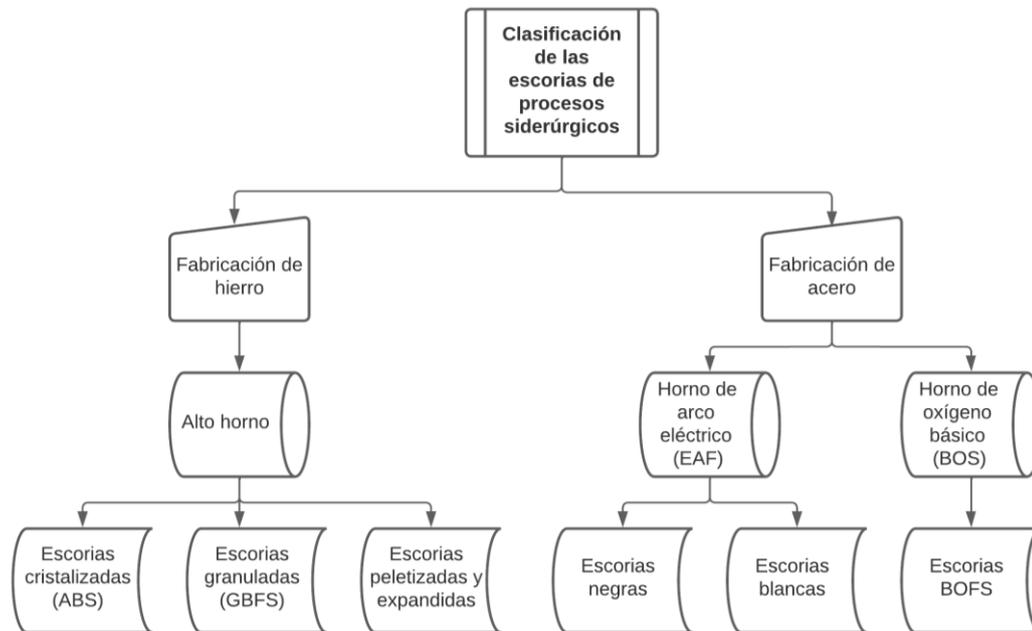
#### 131 **4.1 Generalidades**

132  
133 Para los propósitos de esta norma, los áridos artificiales provenientes de procesos siderúrgicos se clasifican  
134 conforme a su procedencia, según se muestra en Figura 1. Los áridos artificiales especificados en esta norma  
135 son de origen:

136  
137 – escorias siderúrgicas de alto horno (BFS);

- 138 – escorias de alto horno enfriadas por aire (ACBFS)
- 139 – escorias de alto horno granuladas (GBFS)
- 140 – escorias de alto horno expandidas o espumadas (EBFS)
- 141 – escorias de alto horno pelletizadas (PBFS)
- 142
- 143 – escorias siderúrgicas de horno de arco eléctrico (EAFS) o escorias negras;
- 144
- 145 – escorias siderúrgicas de horno de oxígeno básico (BOFS).
- 146

147 NOTA Para los efectos de esta norma, no se considera la clasificación de árido artificial en base a escorias blancas o de horno de  
148 cuchara.



149 **Figura 1 – Esquema general de clasificación de escorias provenientes de procesos siderúrgicos**

150 Los subproductos pueden ser o requieren ser reprocesados para la obtención de materiales adecuados para su  
151 uso como áridos en distintos usos.

152  
153  
154  
155 NOTA Los áridos artificiales pueden conferir características especiales a morteros, hormigones u en otros usos específicos.

156  
157 Los áridos artificiales destinados a distintos usos deben demostrar que no son peligrosos ni producen reacciones  
158 nocivas en el uso específico.

159 Nota Cuando el árido artificial se origine a partir de un residuo, su peligrosidad está definida en el DS 148 o sus modificaciones.

160  
161  
162 Los áridos artificiales deben cumplir con los requisitos de caracterización establecidos en cláusula 5.

## 163 4.2 Escorias siderúrgicas del proceso siderúrgico

### 164 4.2.1 Escorias siderúrgicas de alto horno (BFS)

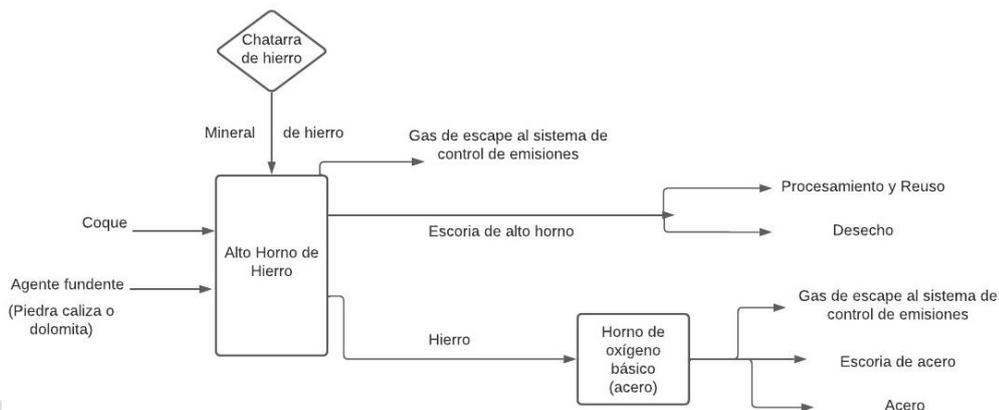
165  
166 Los principales componentes de la escoria siderúrgica de alto horno son: CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, FeO, MnO,  
167 K<sub>2</sub>O, siendo los índices más utilizados el Índice de Basicidad ( $I_b = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3}$ ) y el Índice de  
168 Basicidad Simple ( $I_{bs} = \frac{CaO}{SiO_2}$ ).

172 Dependiendo de su enfriamiento, las escorias de alto horno o BFS (*Blast Furnace Slag*, por sus siglas en inglés),  
173 se dividen en los tipos siguientes:

- 174
- 175 – Escorias de alto horno enfriadas por aire (ACBFS), resultado de un enfriamiento lento que tiene lugar  
176 en las fosas de apagado, lo que hace que una parte de ellas quede en estado cristalino. Es un material  
177 pétreo de características similares a las rocas ígneas.
  - 178
  - 179 – Escorias de alto horno granuladas (GBFS), obtenidas al enfriar rápidamente con agua la escoria fundida.  
180 Es un material arenoso y friable con puzolanicidad latente, es decir, con capacidad para fraguar ante la  
181 presencia de un agente activador.
  - 182
  - 183 – Escorias de alto horno expandidas o espumadas (EBFS), si la escoria fundida se enfría y solidifica  
184 agregando cantidades controladas de agua, aire o vapor, el proceso de enfriamiento y solidificación se  
185 puede acelerar, aumentando la naturaleza celular de la escoria y produciendo un producto expandido o  
186 espumado liviano. La escoria espumada se distingue de la escoria de alto horno enfriada por aire por su  
187 porosidad relativamente alta y su baja densidad aparente.
  - 188
  - 189 – Escorias de alto horno pelletizadas (PBFS), si la escoria fundida se enfría y solidifica con agua y aire  
190 enfriado en un tambor giratorio, se pueden producir gránulos, en lugar de una masa sólida. Al controlar  
191 el proceso, los gránulos se pueden hacer más cristalinos, lo cual es beneficioso para el uso de agregados,  
192 o más vitrificados (vítreos), lo cual es más deseable en aplicaciones cementantes. Un enfriamiento más  
193 rápido da como resultado una mayor vitrificación y menos cristalización.

194

195 Nota La escoria pelletizada se caracteriza por estar formada por partículas de forma redondeada y textura lisa, con baja  
196 porosidad y capacidad de absorción de agua. El tamaño de los pellets puede estar comprendido entre 0,1 mm y 13 mm, siendo  
197 más habitual los valores comprendidos entre 1 mm y 9,5 mm. Su densidad aparente es de 0,85 T/m<sup>3</sup>.



198  
199  
200  
201

**Figura 2 – Esquema general de funcionamiento de alto horno y producción de escoria de alto horno**

202 La escoria enfriada por aire triturada es angular, aproximadamente cúbica y tiene texturas que van desde  
203 superficies rugosas porosas hasta superficies vítreas (lisas) con fracturas concoideas. Sin embargo, puede haber  
204 una variabilidad considerable en las propiedades físicas de la escoria de alto horno, dependiendo del proceso de  
205 producción del hierro, dependiendo del contenido de metales y hierro en la escoria y tienden a ocurrir en escorias  
206 que se generan en altos hornos con mayores adiciones de chatarra.

207

208 La escoria granulada de alto horno es un material granular vítreo que varía, según la composición química y el  
209 método de producción, desde una estructura friable, gruesa, de más de 4,75 mm (tamiz N°4) de diámetro hasta  
210 granos densos del tamaño de arena que pasan por una Tamiz de 4,75 mm (N°4). La molienda reduce el tamaño  
211 de las partículas a la finura del cemento, permitiendo su uso como material cementante suplementario en el  
212 hormigón de cemento Portland.

213 La escoria expandida triturada es angular, de forma aproximadamente cúbica y tiene una textura más rugosa  
 214 que la de la escoria enfriada por aire. La porosidad de los agregados de escoria expandida de alto horno es mayor  
 215 que la de los áridos de escorias de alto horno enfriadas por aire. La densidad relativa aparente de la escoria  
 216 expandida es difícil de determinar con precisión, pero es aproximadamente el 70 por ciento de la de la escoria  
 217 enfriada por aire. Los pesos unitarios compactados típicos para agregados de escoria expandida de alto horno  
 218 varían de 800 kg/m<sup>3</sup> a 1 040 kg/m<sup>3</sup>.

219  
 220 A diferencia de la escoria de alto horno expandida y enfriada por aire, la escoria de alto horno pelletizada tiene  
 221 una textura suave y una forma redondeada. En consecuencia, la porosidad y la absorción de agua son mucho  
 222 menores que las escorias enfriadas por aire o escoria expandida de alto horno. Los tamaños de los pellets varían  
 223 de 13 mm a 0,1 mm, con la mayor parte del producto entre menos 9,5 mm y más 1,0 mm. La escoria granulada  
 224 de alto horno tiene un peso unitario de aproximadamente 840 kg/m<sup>3</sup>.

225  
 226 La escoria de alto horno es ligeramente alcalina y exhibe un pH en solución en el rango de 8 a 10. Aunque la  
 227 escoria de alto horno contiene un pequeño componente de azufre elemental (1 a 2 por ciento), el lixiviado tiende  
 228 a ser ligeramente alcalino y no presenta un riesgo de corrosión del acero.

229  
 230 En determinadas situaciones, el lixiviado de la escoria de alto horno se puede decolorar (color amarillo/verde  
 231 característico) y tener un olor sulfuroso. Estas propiedades parecen estar asociadas con la presencia de agua  
 232 estancada o de movimiento lento que ha entrado en contacto con la escoria. El agua estancada generalmente  
 233 presenta altas concentraciones de calcio y sulfuro, con un pH de hasta 12,5. Cuando este lixiviado amarillo se  
 234 expone al oxígeno, los sulfuros presentes reaccionan con el oxígeno para precipitar azufre elemental  
 235 blanco/amarillo y producir tiosulfato de calcio, que es una solución transparente. El envejecimiento de la escoria  
 236 de alto horno puede retrasar la formación de lixiviado amarillo en malas condiciones de drenaje, pero no parece  
 237 ser una medida preventiva, ya que el lixiviado decolorado aún se puede formar si se deja agua estancada en  
 238 contacto con la escoria durante un período prolongado.

239  
 240 De todos los tipos de escoria generada, la escoria de alto horno enfriada por aire es el tipo que se posee  
 241 propiedades mecánicas favorables para el uso como árido, incluida una buena resistencia a la abrasión, buenas  
 242 características de solidez y una alta resistencia al soporte.

243  
 244 **4.2.2 Áridos artificiales en base a escorias siderúrgicas de horno de arco eléctrico (EAFS) o escorias**  
 245 **negras**

246  
 247 Las escorias de horno de arco eléctrico, también llamadas “escorias negras”, se obtienen durante la etapa de  
 248 fusión como un material espumante que flota sobre el acero fundido recogiendo las impurezas y los materiales  
 249 de menor densidad. Presentan características que las asemejan a las escorias ABS, pero con una tonalidad más  
 250 oscura.

251  
 252 En el subsiguiente proceso de afino, que tiene lugar en el horno de cuchara, se obtienen las denominadas  
 253 “escorias blancas”, de color mucho más claro y aspecto arenoso.

254  
 255 Las escorias negras están compuestas principalmente por hierro, calcio y silicio. Debido a la presencia de óxidos  
 256 de cal y magnesio libres en su composición, las escorias negras de acería tienen naturaleza expansiva, quizás en  
 257 menor medida que las escorias de horno de oxígeno básico, pero que en cualquier caso requieren de un proceso  
 258 de enfriamiento y tratamiento adecuado para garantizar su estabilidad.

259  
 260 **4.2.3 Áridos artificiales en base a escorias siderúrgicas de horno de oxígeno básico (BOFS)**

261  
 262 Las escorias BOFS (*Basic Oxygen Furnace Slag*, por sus siglas en inglés), se originan durante el proceso de  
 263 afino del arrabio obtenido en el alto horno en un horno de convertidor. Se obtienen en forma de partículas  
 264 grisáceas de aspecto pétreo, con dimensiones máximas que alcanzan los 300 mm y de mayor densidad que los

265 áridos naturales ( $> 3 \text{ T/m}^3$ ). Su absorción es moderada ( $< 3\%$ ), tienen muy buena angulosidad, elevada dureza  
266 (6-7 en la escala de Mohrs) y elevada resistencia al corte y a la abrasión.  
267

268 La presencia de cal libre y/o magnesia (1% - 15%), constituye un factor potencial de inestabilidad. Estos óxidos  
269 tienden a hidratarse produciendo un fenómeno de hinchamiento que tiende a disgregar al material y que puede  
270 producirse en el transcurso de unas pocas semanas o de varios meses. Por ello, es necesario llevar a cabo un  
271 proceso de estabilización, conocido como envejecimiento de la escoria, consistente en su machaqueo hasta  
272 estado final, para dividir las partículas del árido y dejar expuestos posibles nódulos internos expansivos, que se  
273 hidratan regando los acopios (con alturas máximas de 1,5 m – 2 m) con agua.  
274

275 NOTA: Se ha comprobado que el envejecimiento al aire sin riego de agua no ofrece garantías de que se haya completado este proceso.  
276

### 277 4.3 Clasificación por tamaño de áridos artificiales

278  
279 Los áridos artificiales se clasifican según su tamaño en árido fino y árido grueso. Los áridos gruesos se pueden  
280 clasificar en grava o gravilla. Los requisitos son los establecidos en Tabla 1.  
281

282 La determinación de tamaños se debe realizar conforme a lo indicado en NCh165.  
283  
284  
285

Tabla 1 – Clasificación por tamaño para áridos reciclados

| Tamiz |                    |                  | Clasificación de áridos según queda retenido en tamiz |              |
|-------|--------------------|------------------|---|--------------|
| ASTM  | Serie combinada mm | Serie nominal mm |   |              |
| 2"    | 50                 | 50               | Grava   | Árido grueso |
| 1 ½"  | 37,5               | 40               |   |              |
| 1"    | 25                 | 25               |   |              |
| ¾"    | 19                 | 20               |   |              |
| ½"    | 12,5               | 12,5             |   |              |
| 3/8"  | 9,5                | 10               | Gravilla  |              |
| Nº4   | 4,75               | 5                |   |              |
| Nº8   | 2,36               | 2,5              | Árido fino  |              |
| Nº16  | 1,18               | 1,25             |   |              |
| Nº30  | 0,600              | 0,630            |   |              |
| Nº50  | 0,300              | 0,315            |   |              |
| Nº100 | 0,150              | 0,160            |   |              |

286  
287  
288 **5 Caracterización**  
289  
290 **5.1 Generalidades**  
291  
292 El productor de áridos artificiales en base a escorias siderúrgicas debe realizar ensayos de caracterización para  
293 asegurar que el árido artificial que va a producir cumple con los requisitos establecidos en el uso específico que  
294 se le pretenda dar.  
295

296 Los ensayos de caracterización de áridos artificiales se deben ejecutar por un Laboratorio de ensayo autorizado  
297 por la Autoridad Competente y los informes de ensayo deben estar disponibles para consulta por parte de los  
298 usuarios.  
299

300 Los ensayos de caracterización indicados en Tabla 2 son aquellos ensayos físicos y químicos que se consideran  
301 transversales a los diferentes usos específicos. Cada norma técnica elaborada para la aplicación de áridos  
302 artificiales en usos específicos puede determinar la realización de ensayos adicionales según el desempeño  
303 esperado en el uso dado.

304  
305 **5.2 Ensayos de caracterización**

306  
307 Se deben realizar los ensayos que den cuenta de las características físicas y químicas de los áridos artificiales,  
308 según lo que se establece en Tabla 2.

309 **Tabla 2 - Ensayos de caracterización para áridos artificiales provenientes de procesos siderúrgicos**

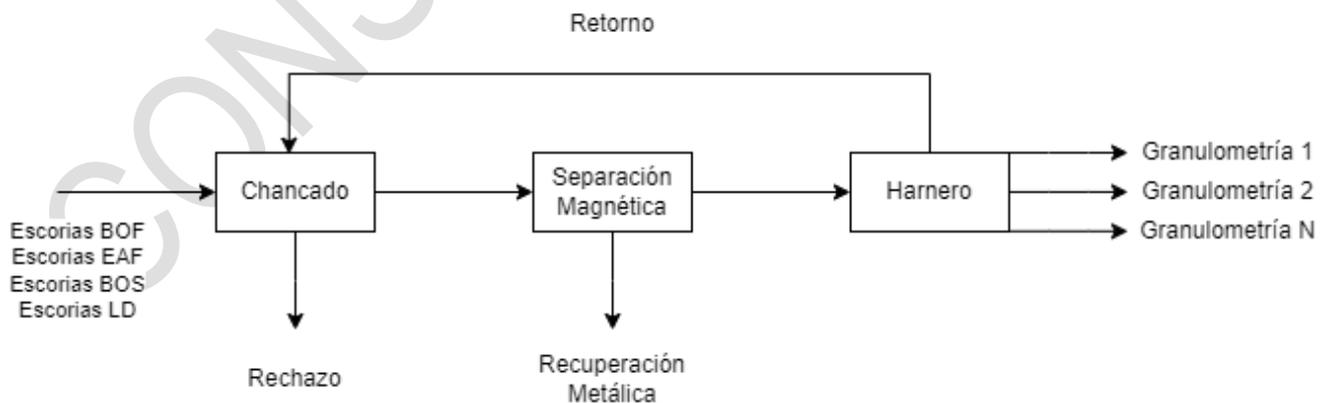
|          | Requisitos   | Norma de ensayo  |
|----------|--|------------------|
| Físicos  | 1 Denominación Granulométrica                      | NCh165           |
|          | 2 Material fino menor que 0,075 mm,                | NCh1223          |
|          | 3 Absorción de agua (porosidad)                    | NCh1117; NCh1239 |
|          | 4 Tamaño máximo nominal                            | NCh165           |
|          | 5 Resistencia al desgaste Máquina de Los Ángeles   |                  |
|          | 6 Densidad aparente                                | NCh1116          |
| Químicos | 7 Impurezas orgánicas                              | NCh166           |
|          | 8 Cloruros, como Cl <sup>-</sup>                   | NCh1444          |
|          | 9 Sulfatos solubles en agua referido al árido seco | NCh1444          |

312  
313 Los procedimientos de extracción y preparación de muestras se deben efectuar de acuerdo con NCh164.

314  
315 Los ensayos de caracterización se deben realizar una vez cada tres meses o cada 10 000 toneladas producidas,  
316 la que sea menor.

317  
318  
319 **6 Procesamiento de escorias del proceso siderúrgico para su valorización como árida artificial**

320  
321 La Figura 3 entrega un esquema referencial para la valorización de las escorias generadas en el proceso  
322 siderúrgico y su utilización como árido artificial.



324  
325  
326  
327 **Figura 3 - Esquema referencial de procesamiento de áridos artificiales a partir de escorias siderúrgicas**

328

329 Las operaciones unitarias involucradas son las siguientes:

- 330
- 331 - Chancado: consiste en la conminución y reducción del tamaño del material procesado a fin de obtener
- 332 nuevas granulometrías. Existen diversas tecnologías para lograr este fin, los más utilizados son los
- 333 chancadores de cono, mandíbula y martillos.
- 334
- 335 - Separación magnética: consiste en el retiro del metal ferroso liberado de la etapa anterior y que se
- 336 encontraba ocluido dentro de la escoria. Esto permite garantizar que el árido resultante no contenga
- 337 fierro. Por otro lado la corriente de salida, el metal recuperado, es posible reciclarlo en procesos de
- 338 fundición de fierro.
- 339
- 340 - Harneo: consiste en la separación por tamaños del árido resultante mediante mallas o tamices que
- 341 permiten obtener granulometrías determinadas.
- 342

343 Los flujos involucrados son los siguientes:

- 344
- 345 - Flujo de proceso: es aquel que considera la entrada de la materia prima hasta la obtención del producto
- 346 principal (árido) y sus subproductos (metálico).
- 347
- 348 - Flujo de Retorno: es aquel que considera la recirculación del material por sobre la malla definida en el
- 349 harnero y que vuelve a la línea de chancado debido al arrastre generado en el proceso.
- 350
- 351 - Flujo de Rechazo: es aquel que considera el retiro de material de descarte del flujo de proceso debido a
- 352 consideraciones operacionales, de calidad o de seguridad.
- 353

## 354 355 **7 Denominación**

### 356 357 **7.1 Denominación y descripción**

358 Los áridos artificiales se deben identificar con los elementos siguientes:

- 359
- 360 a) Origen y fabricante; si el material ha sido manipulado en un depósito, se debe indicar tanto el origen
- 361 como el depósito.
- 362
- 363 b) Mención a esta norma;
- 364
- 365 c) Denominación de “Árido Artificial”.
- 366
- 367 d) Categorización de los componentes de acuerdo a cláusula 4.
- 368
- 369 e) Tamaño del árido de acuerdo a cláusula 4.
- 370

### 371 372 **7.2 Información adicional para la descripción del árido**

373 La necesidad de otras informaciones depende de la situación y del uso final al que se destine el árido, por

374 ejemplo:

- 375
- 376 - Un código para relacionar la denominación con la descripción.
- 377
- 378 - Cualquier otra información necesaria para identificar el árido de que se trate.
- 379

380 **NOTA** El comprador debería informar al suministrador, en el momento del pedido, de los requisitos especiales asociados con el empleo

381 específico al que se destine el árido y de sus necesidades adicionales de información.

382

383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395

**Anexo A**  
(informativo)

Bibliografía

- [1] <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/bfs1.cfm>
- [2] [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732018000100083&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732018000100083&script=sci_arttext&tlng=en)
- [3] *Standardization of Iron and Steel Slag Products*, Nippon steel & sumitomo metal technical report N°. 109 July 2015.