

11.1. Plantas de áridos¹

En el conjunto de las técnicas y los procesos mineralúrgicos adquieren relevancia por su número y exigencias mineras así como por su importancia económica, las plantas de tratamiento de áridos que son las encargadas de producir las distintas fracciones granulométricas necesarias para la obra pública y la construcción de forma general, además de necesarias en otros procesos como la cerámica, el sector del vidrio o las fundiciones.

Los áridos son, en general, de naturaleza silíceas (cuarzo o cuarcita) o carbonatada (caliza o dolomía). En relación al tipo de roca original, en el caso de las canteras, pueden ser de tipo sedimentario (calizas) o ígneo (granitos) o metamórfico (pizarras, esquistos). Existen más de diez grupos que caracterizan petrológicamente a los áridos. Si se trata de graveras, los depósitos son de tipo aluvión con origen sedimentario (terrazas, lechos de río, etc.).

11.1.1. Caracterización de los áridos según tamaños

Se da a continuación la denominación general utilizada en los productos de cantera para obras y construcción, establecida por la norma DIN 4022, de uso generalizado, y se adjunta la denominación conforme al Código Técnico de la Edificación, marzo del 2006². Se incluye una clasificación de uso extendido en el sector³.

Denominación	Tamaño (mm) DIN 4022	Denominación	Tamaño (mm) CTE
Bolos y bloques	> 60	Roca	Tamaños grandes
Grava gruesa	60 - 20	Grava gruesa	> 20
Grava media	20 - 6	Grava media	20 - 6
Grava fina	6 - 2	Grava fina	6 - 2
Arena gruesa	2 - 0,6	Arena gruesa	2 - 0,6
Arena media	0,6 - 0,2	Arena media	0,6 - 0,2
Arena fina	0,2 - 0,06	Arena fina	0,2 - 0,06
Limo grueso	0,06 - 0,02	Limo	< 0,06
Limo medio	0,02 - 0,006	Limo	0,06 - 0,002
Limo fino	0,006 - 0,002	Limo	> 0,002
Arcilla	< 0,002 (2µm)	–	< 0,002 (2µm)

Tabla 11.1. Clasificación y denominación de los áridos.

¹ Este capítulo es un resumen adaptado al curso de: [Ángel Vázquez García, 1994]: *Plantas fijas para el tratamiento de áridos*. ÁRIDOS; E.T.S. Ing. de Minas Madrid, LOEMCO.

² Aprobado por Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Esta ley habilita a las titulaciones de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico para su aplicación.

³ [F. Orus]. Libro: Materiales de construcción.

La denominación de bolos en el sector se refiere, normalmente, a tamaños grandes en el entorno de 500 a 1.000 mm y la de bloques los comprendidos entre 6 cm y 50 cm.

Denominación	Tamaño (mm)
Zahorra	0 - 40
Morro	> 100
Grava gruesa	50 - 100
Grava media	40 - 60
Grava menuda	30 - 50
Gravilla gruesa	20 - 40
Gravilla media	15 - 30
Gravilla menuda	15 - 25
Garbancillo o almendrillo	7 - 15
Ripio	7 - 25
Arena gruesa	2 - 5
Arena media	0,5 - 2
Arena fina	0,1 - 0,5
Filler	0,005 - 0,08
Limo	0,002 - 0,02
Arcilla	< 0,002

Con relación a la procedencia para su puesta en el mercado se pueden clasificar en:

a) *Naturales* y que a su vez se subdividen en:

- Granulares, procedentes de graveras, ríos, etc.
- Machaqueo (siguiendo las etapas de arranque, trituración, molienda y clasificación).

b) *Artificiales*: procedentes de residuos industriales, estériles mineros (ganga procedente de la explotación de minerales metálicos y se pueden considerar submenas o menas secundarias según la importancia económica en el proceso industrial).

c) *Reciclados*: procedentes de derribos⁴, recuperación de estructuras antiguas (reciclado de edificios en desuso (cantería) para nuevas construcciones, p.e.: Circo de Roma).

Con relación al *modo de procesar* mineralúrgicamente estos minerales existen dos técnicas, por vía seca y por vía húmeda. Cuando se aumenta la finura y el grado de calidad (limpieza, regularidad, homogeneidad, etc.), del árido, se impone los procesos en vía húmeda, dejando los de vía seca para bloques gruesos o para aplicaciones de menor exigencia o menor calidad.

Se puede dar la referencia de necesidades en el entorno de:

- Un km de autopista consume 18.000 t de áridos.
- Del 10% al 20% del coste de una carretera corresponde al coste de los áridos.
- Una presa media exige 1×10^6 t.
- Con referencia ANEFA, el consumo de áridos para la construcción, año 2001, fue de 380×10^6 y para el sector industrial de 51×10^6 toneladas.
- Las empresas explotadoras de canteras⁵, año 2001, fueron 607 en España.

⁴ La legislación obliga a reciclar en el derribo de edificaciones y estructuras.

⁵ [José Antonio Espí, 2001]. La minería española durante el año 2001. E.T.S.I.Minas, Madrid.

11.1.2. Características de las instalaciones de procesamiento de áridos

- Sencillas y de bajo coste.
- Flexibles. Adaptarse a la demanda con rapidez.
- Medio ambiente. Medidas anti-contaminación (ruido, polvo, carenado de instalaciones, lavado de ruedas de camiones, rehabilitación de terrenos, voladuras limitadas por vibraciones, escamoteado de edificios, etc.).
- Proximidad al consumo. Los materiales de bajo coste, como es el caso de los áridos, no soportan altos costes de desplazamiento.

En relación al modo de procesamiento existen dos variantes, vía seca y vía húmeda. Las plantas por vía húmeda permiten, generalmente, aumentar la finura y el grado de calidad mientras que las plantas por vía seca, más económicas de funcionamiento, sirven para aplicaciones que no requieren excesiva calidad en cuanto a las materias primas.

Por comparación de ambos procesos se pueden dar referencias de ventajas e inconvenientes indicando:

1. Plantas por vía seca, ventajas:

- Sencillez y flexibilidad.
- Bajo coste de inversión y operación.
- Alta productividad, elevado ritmo.
- Fácil ubicación en cualquier terreno (no precisan alimentación de agua para proceso).
- Reducido espacio ocupado.

2. Plantas por vía húmeda, inconvenientes:

- Incapacidad para producir granulometrías finas bien clasificadas.
- Ineficiente grado de limpieza en los tamaños más finos.

Plantas de áridos por vía seca:

Tipo 1. Planta de clasificación.

Tipo 2. Trituración primaria y clasificación.

Tipo 3. Trituración primaria, secundaria y clasificación.

Plantas de áridos por vía húmeda:

Tipo 4. Lavado y clasificación.

Tipo 5. Lavado y clasificación con recuperación de arenas, poca proporción de arcilla.

Tipo 6. Lavado y clasificación con recuperación de arenas, alta proporción de arcilla.

Tipo 7. Lavado, trituración y clasificación con hidroclasificador.

Tipo 8. Lavado, trituración, remolienda, clasificación con hidroclasificador y tratamiento de aguas.

Casos especiales:

Plantas de áridos, casos especiales. Tipo 9. Gravimetría.

Plantas de áridos, casos especiales. Tipo 10. Flotación.

11.1.3. El agua en los procesos mineralúrgicos

El agua es un elemento fundamental en muchos de los procesos mineralúrgicos y se utiliza, principalmente, por los motivos siguientes:

- a) Permite eliminar las arcillas y los elementos ultrafinos en forma de lodos.
- b) Permite conseguir clasificaciones finas o muy finas que, necesariamente, se tienen que hacer por equivalencia (isodromía) empleando un fluido (aire o agua) como elemento necesario y fundamental del proceso o tecnología empleada.
- c) Porque el proceso de tratamiento posterior, generalmente concentración se realiza en húmedo (gravimétrica, flotación, mesas de rifles, etc.).
- d) Elemento básico en el desenlodado en el que se utiliza el agua en forma de chorros o como elemento componente del baño y la fricción (rozamiento). Según el tamaño de la partícula o del grano a desarcillar se emplean diferentes métodos:
 - Tamaños gruesos. Trómeles lavadores; mucha agua y poca fricción.
 - Tamaños medianos. Log-Washers; agua y fricción.
 - Tamaños finos. Atrición; poco agua y mucha fricción.

Plantas de áridos por vía seca

Tipo 1. Planta de clasificación

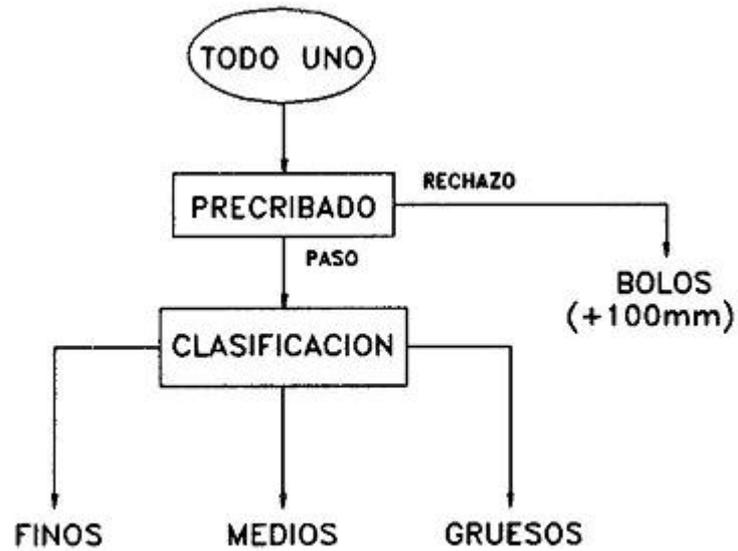


Figura 11.1. Esquema de bloques para una planta de clasificación.

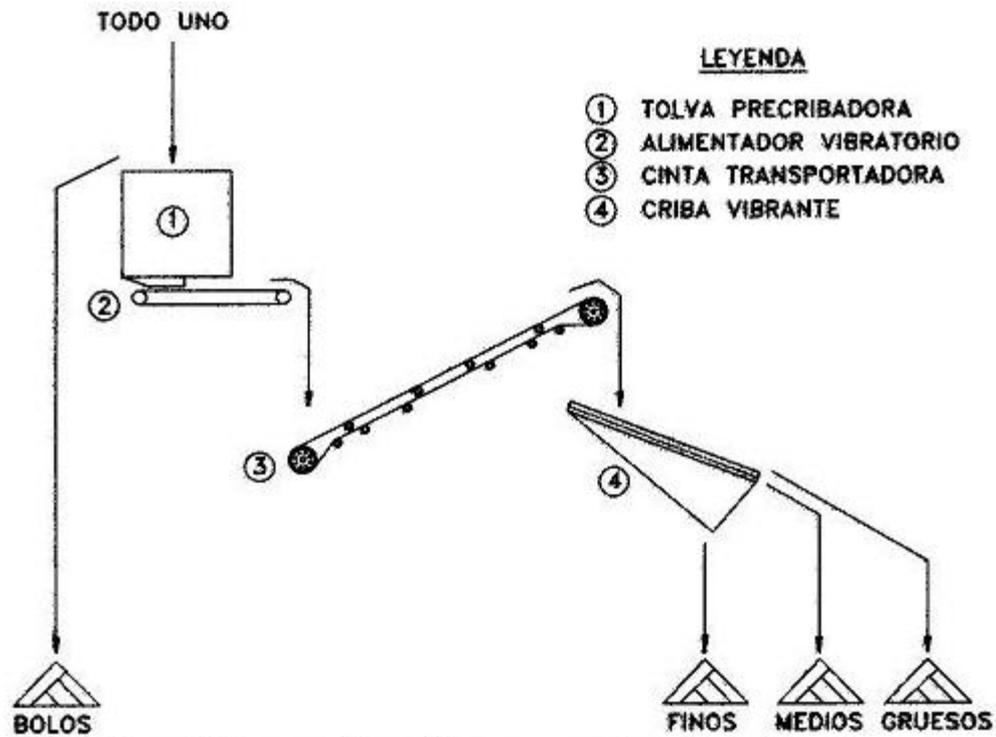


Figura 11.2. Esquema pictográfico para una planta de clasificación en seco.

Plantas de áridos por vía seca
Tipo 2. Trituración primaria y clasificación

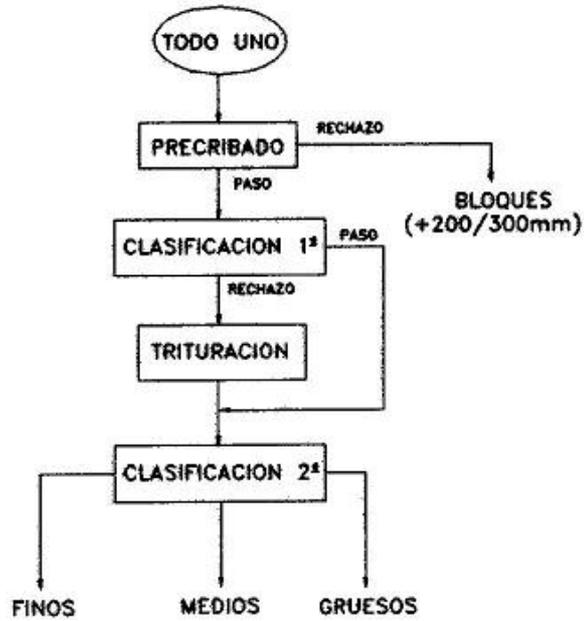


Figura 11.3. Esquema de bloques de una planta de trituración primaria y clasificación en seco (circuito abierto).

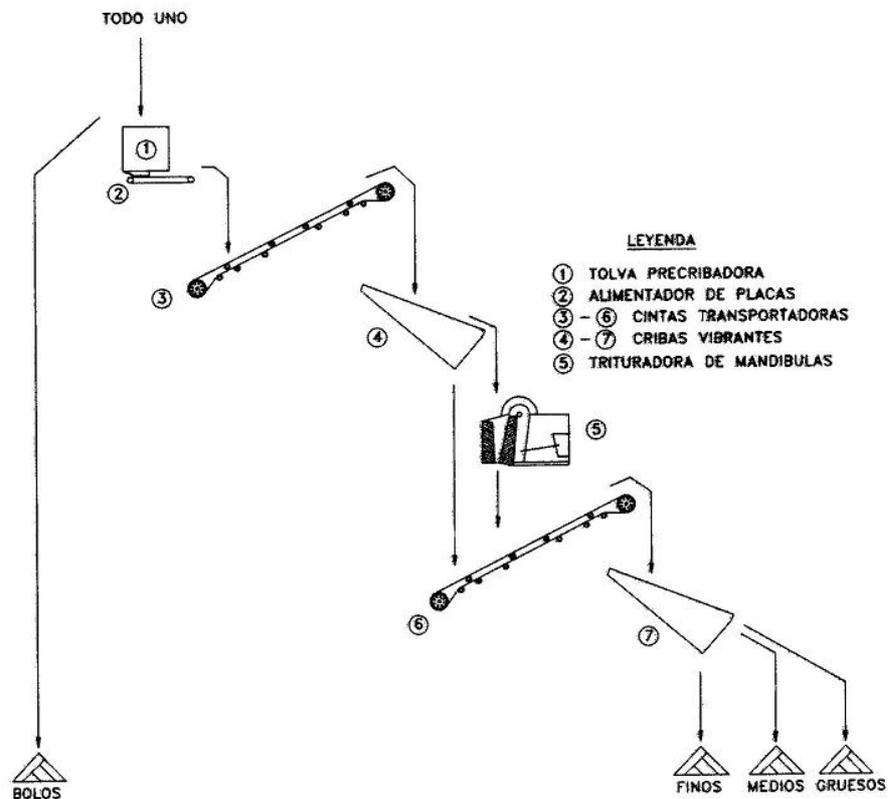


Figura 11.4. Esquema pictográfico de una planta de trituración primaria y clasificación (circuito abierto).

Plantas de áridos por vía seca

Tipo 3. Trituración primaria, secundaria y clasificación

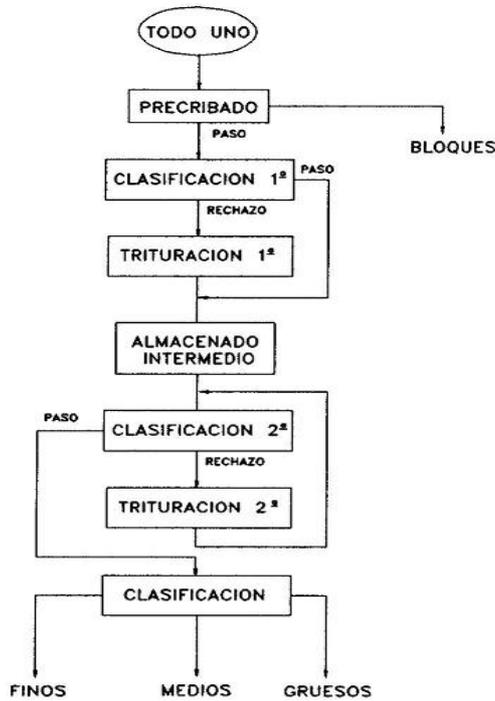


Figura 11.5. Esquema de bloques de una planta de trituración primaria y secundaria y clasificación en seco (circuito cerrado).

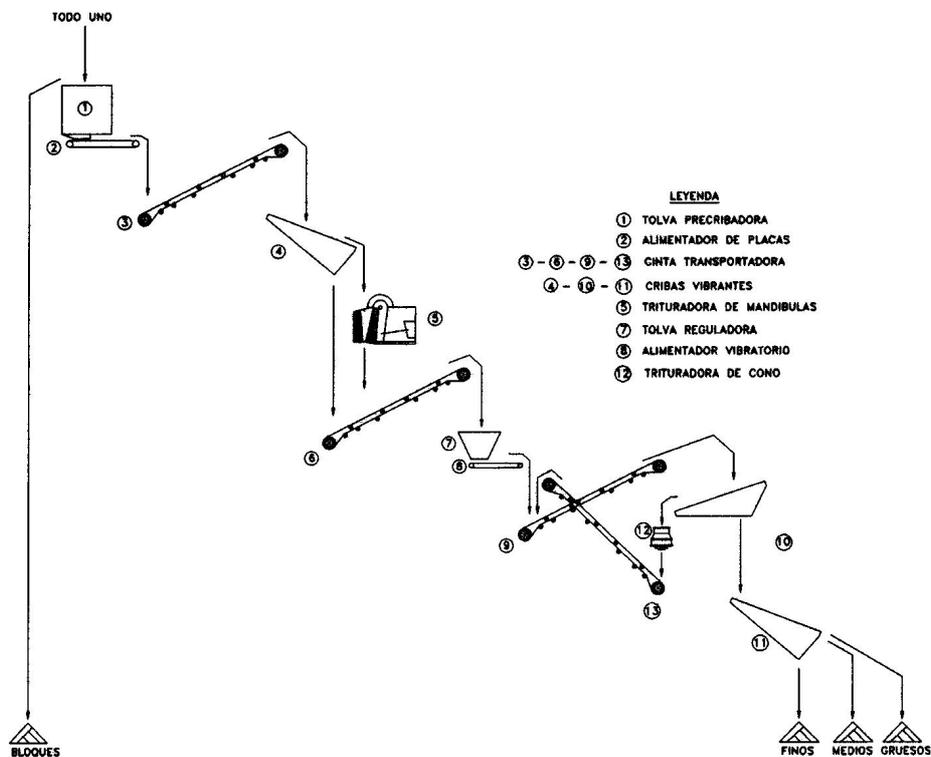


Figura 11.6. Esquema pictográfico de una planta de trituración primaria y secundaria y clasificación (circuito cerrado).

Plantas de áridos por vía húmeda

Tipo 4. Lavado y clasificación

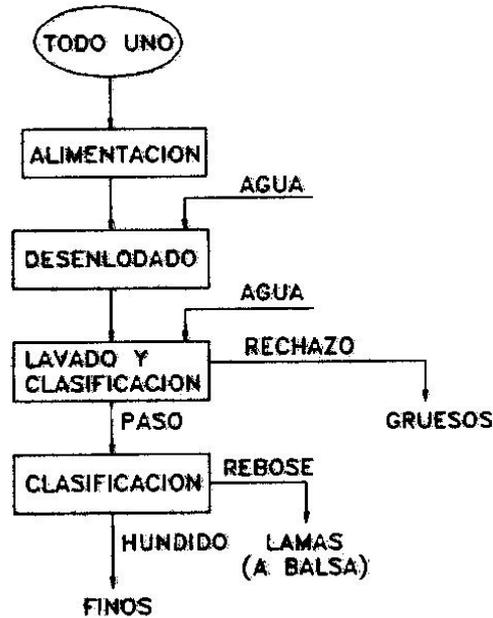


Figura 11.7. Esquema de bloques de una planta de lavado y clasificación de áridos gruesos y finos.

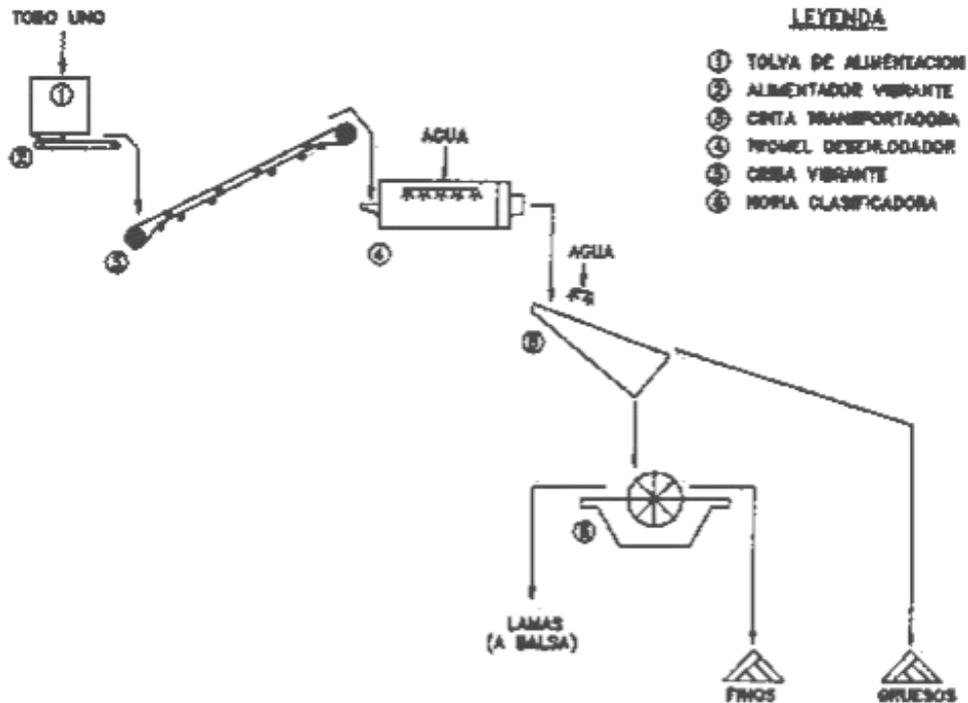


Figura 11.8. Esquema pictográfico de una planta de lavado y clasificación de áridos gruesos y finos.

Plantas de áridos por vía húmeda

Tipo 5. Lavado y clasificación con recuperación de arenas

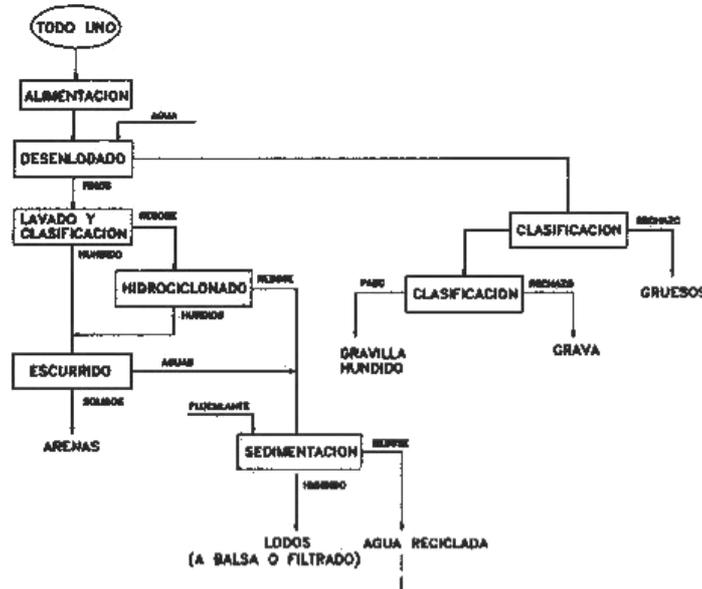


Figura 11.9. Esquema de bloques de una planta de lavado y clasificación de áridos con recuperación de arenas. Caso 1: poca proporción de arcilla y/o tamaños máximos de bloques superiores a 100 mm.

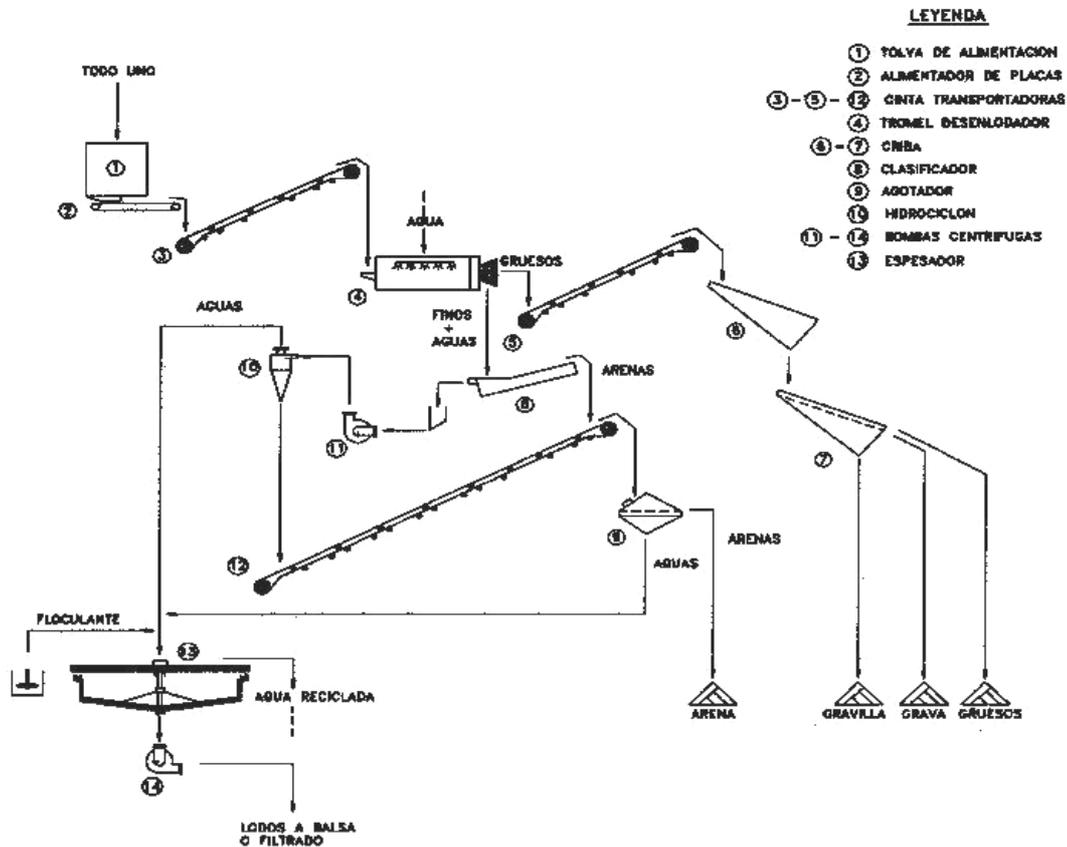


Figura 11.10. Esquema pictográfico de una planta de lavado y clasificación de áridos con recuperación de arenas. Caso 1.

Plantas de áridos por vía húmeda

Tipo 6. Lavado y clasificación con recuperación de arenas

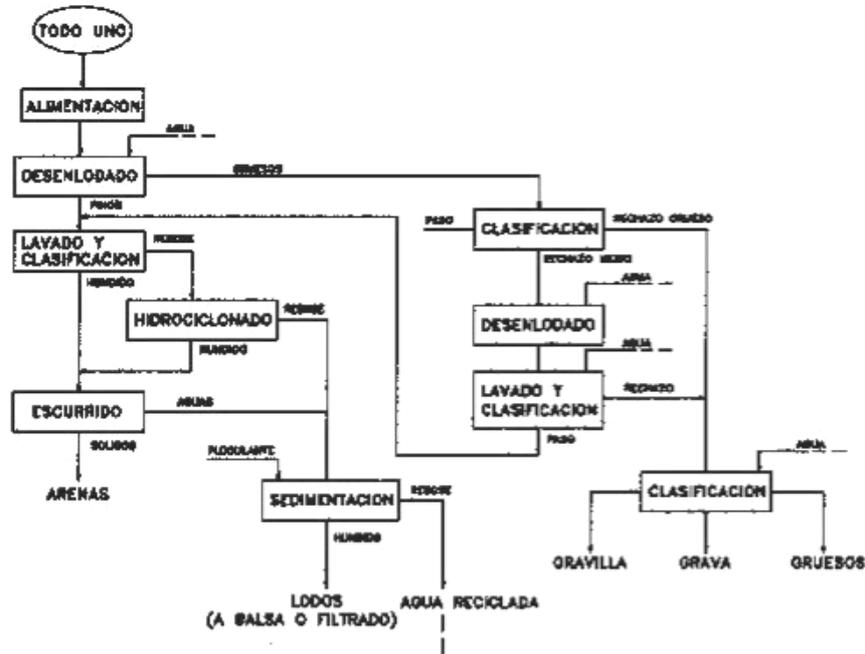


Figura 11.11. Esquema de bloques de una planta de lavado y clasificación de áridos con recuperación de arenas. Caso 2: alta proporción de arcilla y/o tamaños máximos de bloques inferiores a 100 mm.

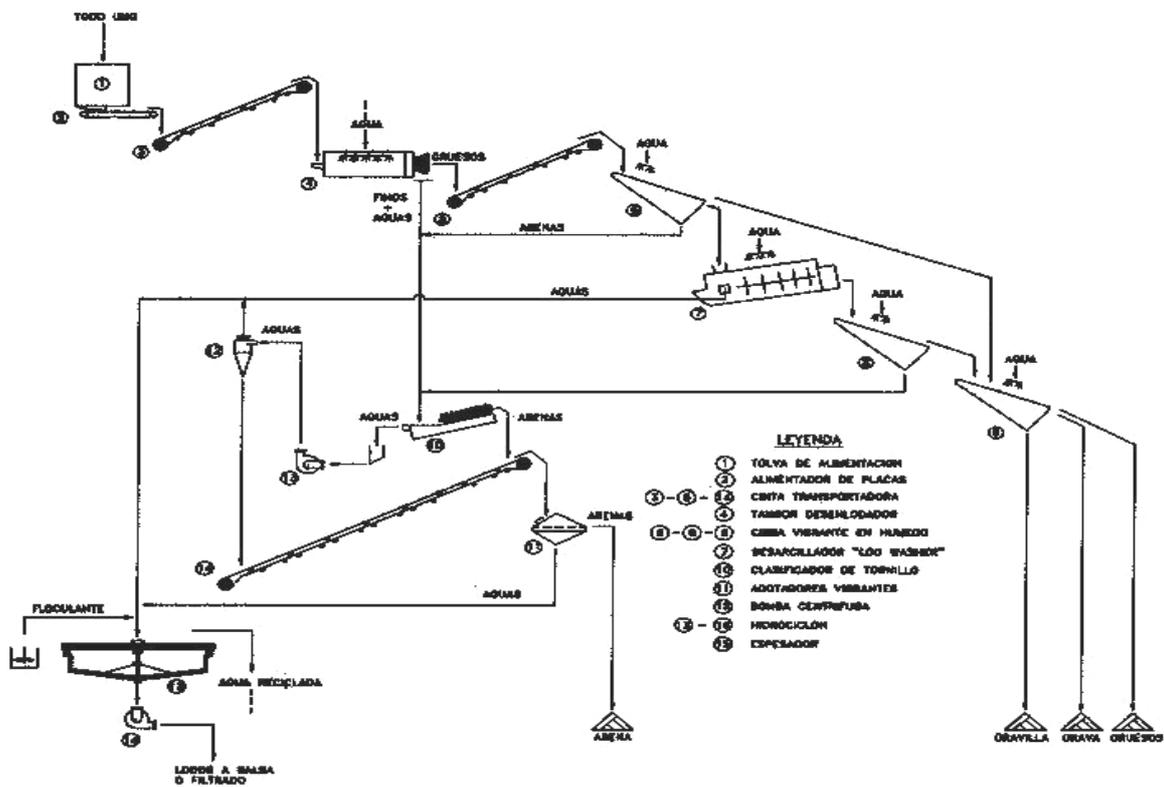


Figura 11.12. Esquema pictográfico de una planta de lavado y clasificación de áridos con recuperación de arenas. Caso 2.

Plantas de áridos por vía húmeda

Tipo 7. Lavado, trituración y clasificación con hidroclasificador

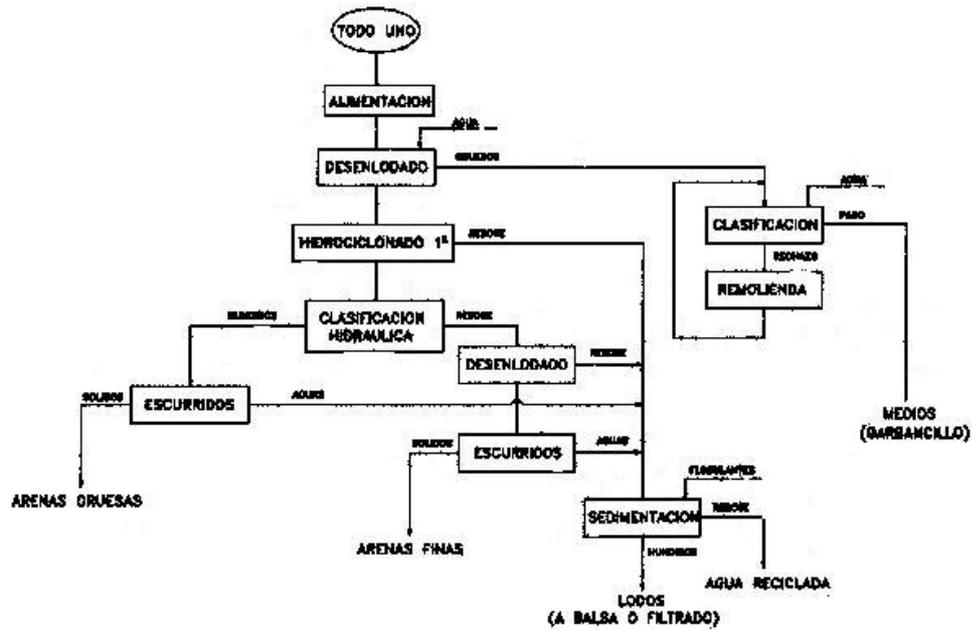


Figura 11.13. Esquema de bloques de una planta de lavado, trituración y clasificación de áridos con hidroclasificación de arenas.

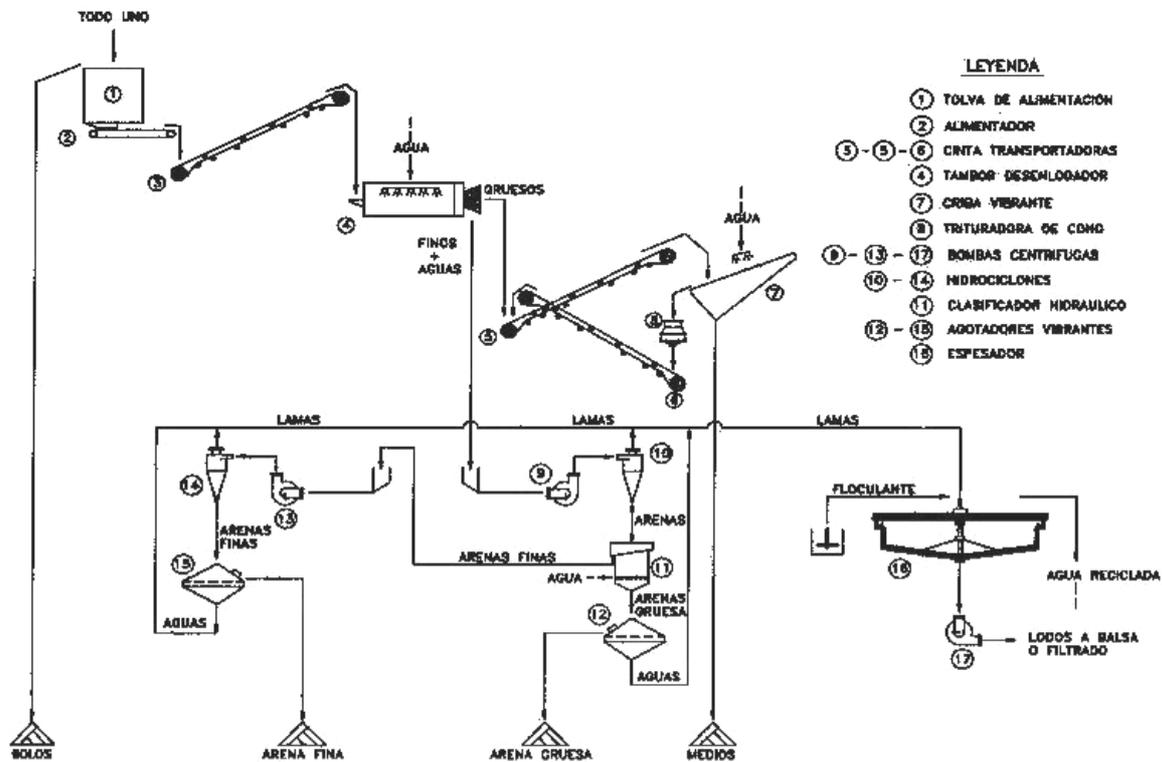


Figura 11.14. Esquema pictográfico de una planta de lavado, trituración y clasificación de áridos con hidroclasificación de arenas.

Plantas de áridos por vía húmeda

Tipo 8. Lavado, trituración, remolienda, clasificación con hidroclasificador y tratamiento de aguas

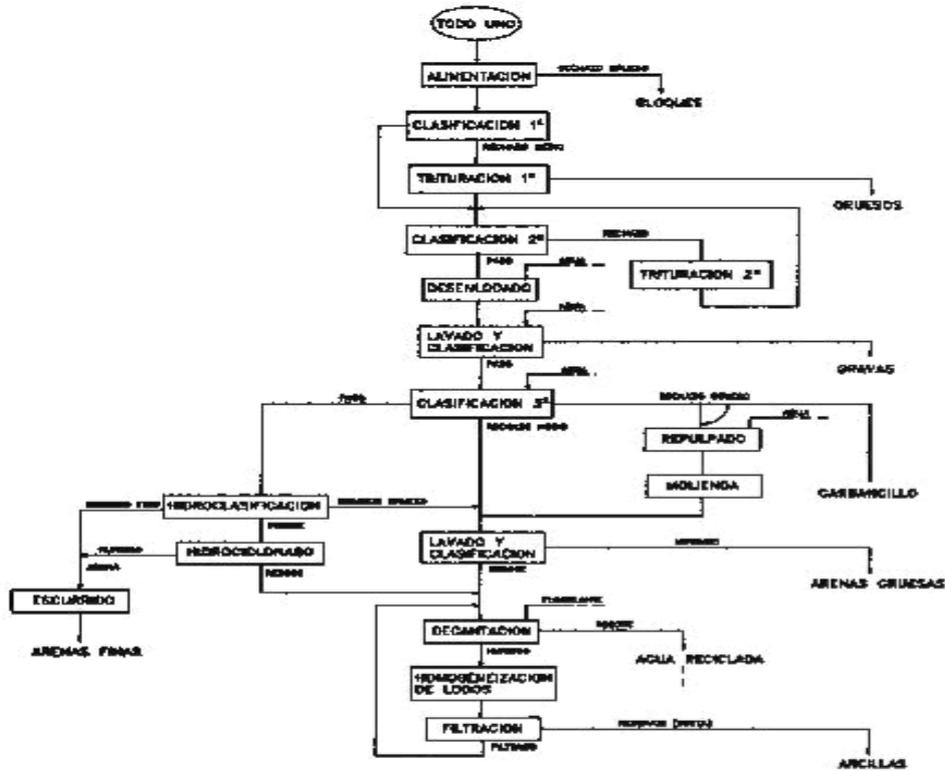


Figura 11.15. Esquema de bloques de una planta de lavado, trituración, molienda, clasificación, hidroclasificación de arenas y tratamientos de aguas.

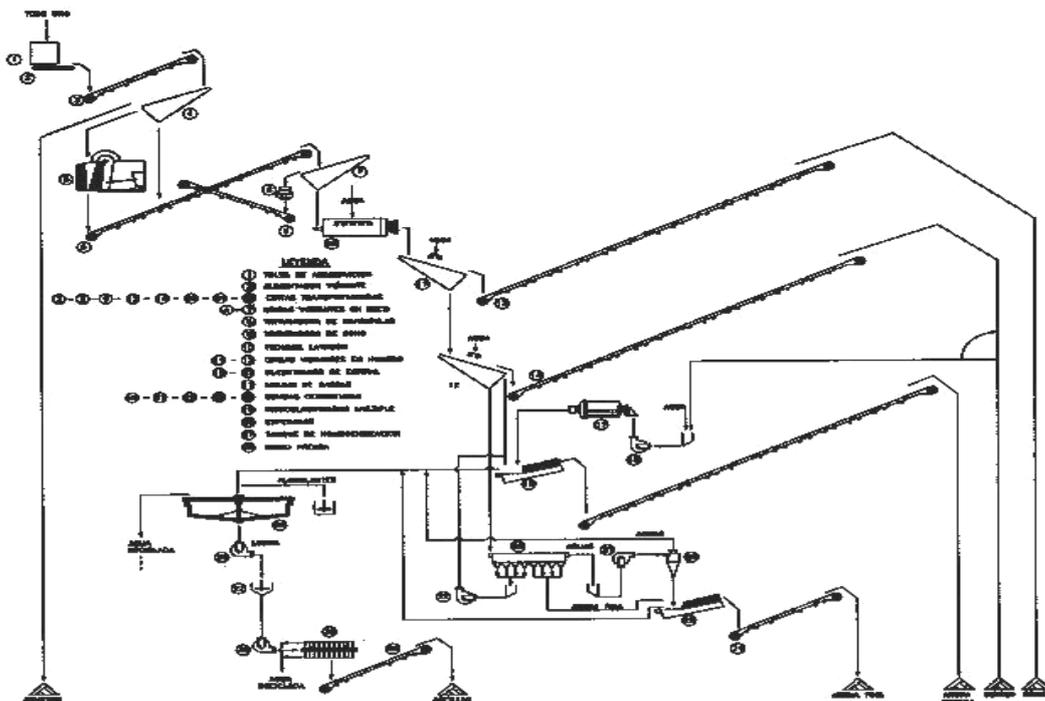


Figura 11.16. Esquema pictográfico de una planta de lavado, trituración, molienda, clasificación, hidroclasificación de arenas y tratamientos de aguas.

Plantas de áridos, casos especiales

Tipo 10. Flotación

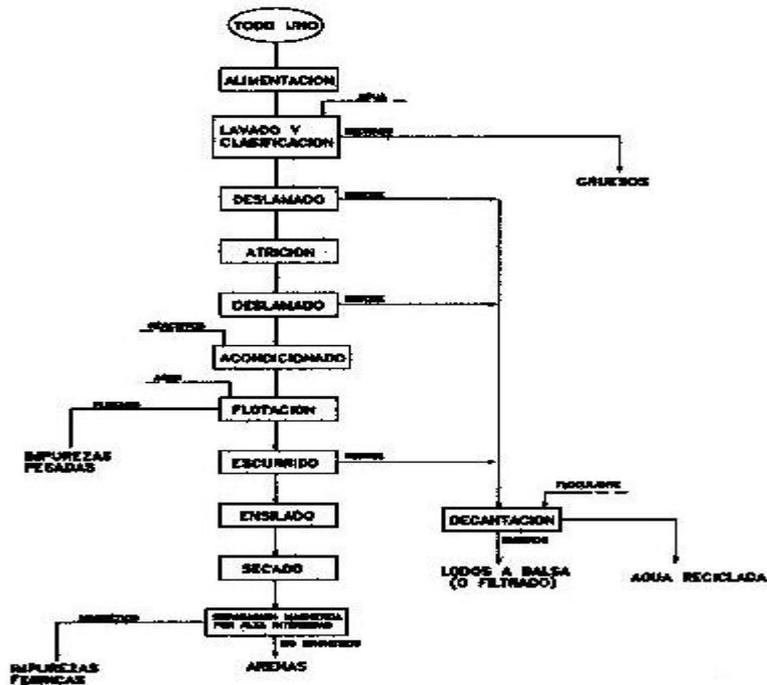


Figura 11.19. Esquema de bloques de una planta de depuración de arenas por flotación y separación magnética.

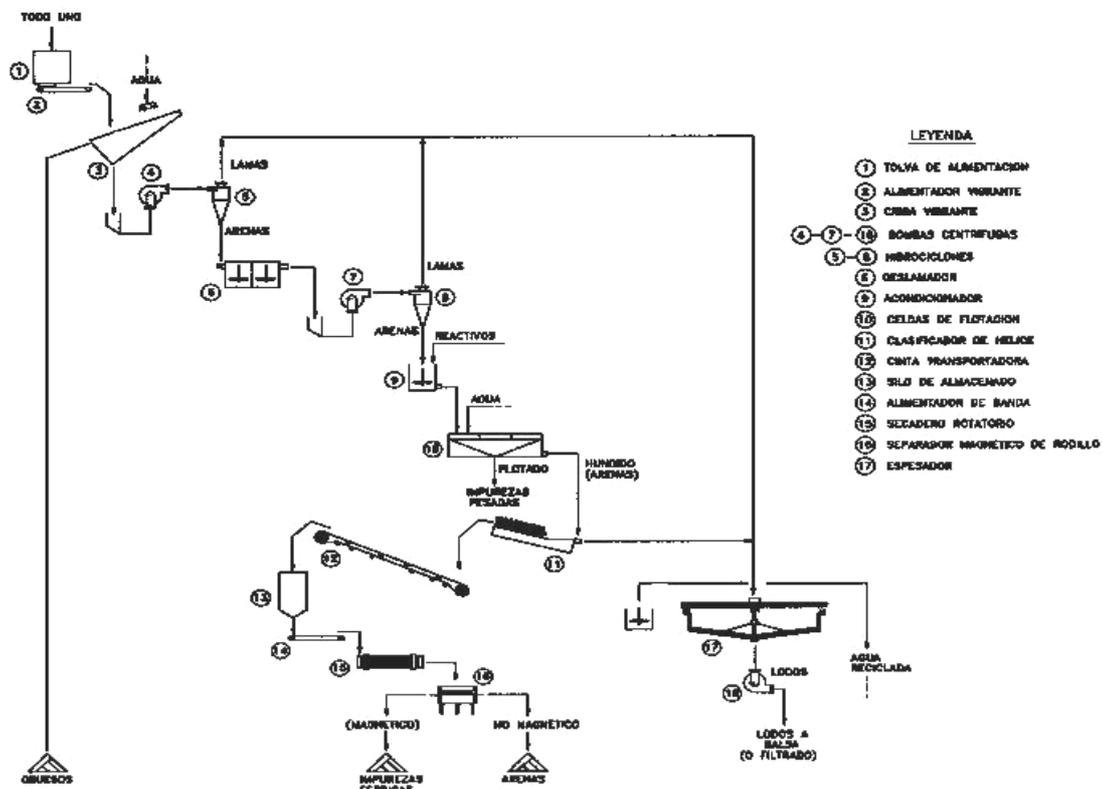


Figura 11.20. Esquema pictográfico de una planta de depuración de arenas por flotación y separación magnética.

11.2. Propiedades físicas: densidad y porosidad ⁶

11.2.1. Densidad

La densidad es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la porosidad existente entre ellos. La densidad (ρ) se define como la masa (M) por unidad de volumen (V), y se expresa en Kg/m^3 :

$$\rho = M / V$$

Determinada la masa y el volumen de una muestra rocosa se conoce de forma inmediata su densidad. En los materiales porosos tanto la masa como el volumen admiten ciertas matizaciones y, en consecuencia, se pueden establecer distintos tipos de densidad. Fundamentalmente se distingue dos: "densidad de los granos minerales" y "densidad de la roca seca". También pueden considerarse otros tipos como la "densidad de la roca húmeda" (para un determinado contenido en humedad) o la "densidad de la roca corregida" (cuando en el volumen de roca no se incluyen los poros abiertos), parámetros obtenidos en algunos ensayos.

La **densidad de los granos minerales** (ρ_s), conocida también como *densidad de la fracción sólida*, *densidad real* o *densidad verdadera* (IUPAC, 1994), se define como la masa de material seco (M_s) por unidad de volumen de la parte sólida de la roca (V_s), es decir, el volumen después de ser excluidos sus espacios vacíos:

$$\rho_s = M_s / V_s$$

Su valor puede calcularse de forma teórica a partir de la densidad de los minerales constituyentes, siempre que se conozca con precisión la composición cuantitativa de la roca y la densidad de cada componente. Experimentalmente puede obtenerse mediante el método clásico del picnómetro (UNE-EN 1936: 1999; Belikov et al., 1967); en este caso su correcta determinación requiere una buena pulverización y ausencia de humedad en la muestra, y que la temperatura se mantenga constante a lo largo del ensayo. Otra técnica utilizada es el picnómetro de helio, ya que dicho gas –inerte y de número atómico muy bajo– se difunde por todo el espacio vacío, permitiendo obtener el volumen del sólido; dicho volumen se determina a partir del descenso relativo de presión que experimenta el gas contenido en una célula, en la que eventualmente se introduce la muestra (Calvo et al. 1991).

Determinación teórica

Dado el porcentaje de cada uno de los minerales que forman la roca (c_i) y su correspondiente densidad (ρ_i), la densidad de los granos minerales (ρ_s) se obtiene como:

$$\rho_s = \sum (c_i \times \rho_i) / 100$$

Densidad de los principales minerales formadores de rocas (en g/cm^3):

- | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| - Cuarzo 2,65 | Feldespatos: ortosa 2,55 a 2,63, | Plagioclasa 2,63 a 2,74. |
| - Micas: moscovita 2,7 a 2,8 | Biotita 2,8 a 3,2. | |
| - Arcillas: illita 2,60 a 2,86 | Caolinita 2,61 a 2,68, | Montmorillonita 2,65 a 2,84. |
| - Carbonatos: calcita 2,72 | Dolomita 2,86; | Yeso 2,30 a 2,37. |

⁶ Fco. Javier Alonso Rodríguez. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo (abril, 2006).

Método del picnómetro

Dada la masa de una muestra de roca pulverizada y seca (M_o), la masa del picnómetro lleno de agua destilada (P_o) y la masa del picnómetro con la muestra dentro y lleno de agua destilada (P_m), así como la densidad del agua destilada (ρ_{agua}) a la temperatura del ensayo, la densidad de los granos minerales (ρ_s) se obtiene a partir de la expresión:

$$\rho_s = (M_o \times \rho_{agua}) / (P_o + M_o - P_m)$$

La **densidad de la roca seca** (ρ_d), conocida también como *densidad de la roca en bloque*, *densidad aparente* o *peso del volumen*, se define como la masa del material seco (M_s) por unidad de volumen total de roca (V_t), es decir, el volumen incluyendo su parte sólida (V_s) y todos sus espacios vacíos (V_v):

$$\rho_d = M_s / V_t$$

La obtención de la masa de la muestra no presenta problema –únicamente es necesario que esté seca–, por lo que los distintos métodos se diferencian en el procedimiento seguido para determinar el volumen. Un método relativamente sencillo –que puede aplicarse a materiales coherentes como las piedras de construcción– consiste en preparar muestras con formas geométricas (prismas, cilindros), y a partir de la medida precisa de sus dimensiones (con un calibre) se calcula el volumen.

También es muy adecuado para este tipo de materiales el método de la pesada hidrostática, basado en el principio de Arquímedes (Belikov et al. 1967; ISRM, 1979; RILEM, 1980; ASTM, 1988); Para que el resultado del ensayo sea correcto debe garantizarse una buena saturación de las muestras. Otro método que puede aplicarse a rocas sin grandes poros, es por desplazamiento de mercurio, en este caso se introduce la muestra en una probeta con mercurio y su ascenso de nivel mide el volumen; como el mercurio es un líquido que no moja, no penetra en los poros y el volumen determinado es el total; se trata de un método más rápido y menos preciso.

Método de la pesada hidrostática

Permite obtener diferentes propiedades físicas a partir de la masa de una muestra de roca obtenida en diferentes condiciones: seca (M_o), saturada en agua (M_s) y sumergida en agua o hidrostática (M_h); entonces se tiene:

- Densidad de la roca seca: $\rho_d = [M_o / (M_s - M_h)] \times \rho_{agua}$.
- Porosidad abierta (al agua): $n_o = [(M_s - M_o) / (M_s - M_h)] \times 100$.
- Contenido en agua en saturación: $w_s = [(M_s - M_o) / M_o] \times 100$.

Normalmente los distintos minerales que forman las rocas –en particular las rocas industriales– muestran diferencias de densidad pequeñas, en consecuencia la “densidad de los granos minerales” es parecida entre ellas, y la “densidad de la roca seca” depende fundamentalmente de la porosidad que posean (Tabla 1). Los valores de las otras densidades previamente indicadas están comprendidos entre esos dos, siendo el valor máximo la “densidad de los granos minerales” y el mínimo la “densidad de la roca seca”. Esta última densidad es el que presenta mayor interés en el campo de los materiales de construcción.

11.2.2. Porosidad

En este caso se considera únicamente la porosidad (n) como una propiedad física, es decir como un parámetro numérico, denominado también *volumen poroso* (IUPAC, 1994). Se define como el volumen ocupando los espacios vacíos (V_v) por unidad de volumen de roca (V), y se expresa en porcentaje:

$$n = (V_v / V) \times 100$$

Igual que la densidad, la porosidad admite ciertas matizaciones y se establecen distintos tipos, siendo los principales: la "porosidad total" y la "porosidad abierta". De acuerdo con las características de los espacios vacíos contemplados, pueden considerarse otros tipos de porosidad: "cerrada", "accesible" a un determinado fluido, "comunicada", "efectiva" para un determinado comportamiento, etc.

La porosidad **total** (n) se define como el volumen total de vacíos por unidad de volumen total de roca. En este caso deben contabilizarse todos los espacios vacíos presentes: abiertos y cerrados, accesibles y no accesibles. Su valor no puede obtenerse de forma experimental, ya que incluye entre los espacios vacíos los no comunicados con el exterior (poros no accesibles). Su determinación se realiza de forma indirecta a partir del valor de ambas densidades.

Determinación teórica

Conocida la densidad de los granos minerales (ρ_s) y la densidad de la roca seca (ρ_d), la porosidad total (n) se calcula a partir de la expresión:

$$n = ((\rho_s - \rho_d) / \rho_s) \times 100$$

La **porosidad abierta** (n_o) se conoce también como *porosidad accesible o comunicada*, y se define de la misma forma como el volumen de poros abiertos (V_a) o comunicados entre sí y con el exterior (accesibles al agua normalmente) por unidad de volumen total de roca (V):

$$n_o = (V_a / V_t) \times 100$$

Esta porosidad se determina normalmente mediante técnicas experimentales, basadas en introducir un fluido en los poros y cuantificar su volumen. El procedimiento más común es el método de la pesada hidrostática ya mencionado, en dicho ensayo se saturan los poros con agua –normalmente al vacío– de acuerdo con las especificaciones de la norma seguida y se obtiene la porosidad abierta "accesible al agua". Otro método utilizado es por inyección de mercurio, en este caso se introduce mercurio a presión en los poros y a partir del volumen inyectado se determina la porosidad abierta "accesible al mercurio". En la mayoría de las rocas los valores obtenidos en ambos ensayos son parecidos, siendo ligeramente mayor la porosidad accesible al agua, ya que el mercurio no llega a introducirse en los poros muy pequeños ($< 0,003 \mu\text{m}$), y dicho ensayo tampoco considera los poros con accesos muy grandes ($> 100 \mu\text{m}$).

La porosidad total es, por definición, el máximo valor de porosidad que presenta un material. En el caso ideal de que todos sus poros estén conectados con el exterior de la muestra, la porosidad total y la porosidad abierta coinciden. En las rocas industriales la diferencia entre ambos valores es normalmente pequeña, dicha diferencia mide el nivel de comunicación del sistema poroso. Esta porosidad presenta gran interés en la caracterización de las rocas como materiales de construcción, ya que está relacionada con su capacidad de absorber de agua y su comportamiento frente al deterioro.

La porosidad abierta es el parámetro más significativo de los materiales, y en particular de las rocas industriales, ya que condiciona su capacidad para almacenar fluidos, influyendo en sus restantes propiedades físicas, así como en su actividad química y, en última instancia, en su durabilidad y calidad. Las diferencias de porosidad entre las distintas rocas es muy notable, así las cristalinas se caracterizan por sus bajos valores (alrededor el 1%), mientras que las detríticas presentan valores mucho más altos (alrededor del 20%).

En la Tabla 11.2 se recogen los valores de densidad y porosidad de distintos tipos de rocas empleadas como materiales en edificación.

	Densidad de los granos minerales (Kg/m ³)	Densidad de la roca seca (Kg/m ³)	Porosidad Total (%)	Porosidad Abierta (%)
Arenisca de Folgueroles	–	2.460	–	7
Arenisca de Villamayor	> 2.600	1.790 - 1.680	–	33 - 36
Arnisca de Villaviciosa	> 2.640	2.140 - 2.070	–	18 - 22
Arenisca de Monjuit gris / gr. grueso roja / gr. fino	> 2.610 > 2.540	2.250 - 2.240 1.950 - 1.900	–	14 - 15 26 - 28
Arenisca de Salas	–	2.180 - 2.170	–	17 - 18
Arenisca de Quintanar	–	2.130	–	19
Arenisca de Santillana	> 2650	2.050 - 2.060	–	20 - 21
Arenisca de Igueldo	–	2.110	–	21
Caliza de Hontoria	> 2.700	2.160 - 2.000	–	21 - 26
Caliza Piedramuelle amarilla / gr. grueso roja / gr. fino	> 2.710 > 2.700	2.240 - 2.140 1.990	–	17 - 20 26
Caliza de Briviesca	> 2.670	2.120 - 2.000	–	23 - 25
Caliza del Páramo	> 2.712	2.450 - 2.360	10 - 13	9 - 12,5
Caliza de Santanyi	> 2.510	1.900 - 1.760	–	24 - 30
Caliza arenosa de Uncastillo	–	2.250	–	17
Dolomía de Laspra	> 2.680	2.050 - 1.870	–	30 - 34
Dolomía de Boñar	> 2.810	2.500 - 2.450	–	8 - 10
Dolomía de Silos	–	1.910	–	31
Dolomía de Vinaixa	–	2.370	–	13
Caliza de San Vicenç	–	2.680	–	0,5
Caliza de Gerona	–	2.640	–	2
Mármol de Macael	–	2.720 - 2.710	–	0,2 - 0,5
Granito Rosa Porrino	> 2.620	2.620	–	1
Granito de Axeitos	> 2.600	2.590	–	2
Granito Rosavel	–	2.630	–	2
Granito de Vilanova	> 2.630	2.610	–	1
Granito de Fraguas	–	2.510	–	5

Tabla 11.2. Densidad y porosidad de rocas de edificación.

11.2.1.1. Factor de esponjamiento

Una característica de los suelos y de los materiales mineros extraídos de la corteza terrestre es que cambian de volumen cuando son sacados de su lugar en el subsuelo. Se denomina “coeficiente o factor de esponjamiento”, a la relación entre el volumen minado o volumen ocupado por el mineral una vez extraído “ V_m ” en relación con el volumen “in situ” o volumen cubicado topográficamente “ V_t ”. En la tabla siguiente se indican factores de esponjamiento para minerales de canteras.

$$f_a = V_m / V_t ; \quad f_a > 1$$

Este factor es importante para la determinación de los volúmenes manejados y de manera especial para la determinación de los volúmenes de transporte, almacenamiento y manipulación de menas.

Tipo de suelo	Coefficiente de esponjamiento
Roca dura (volada)	1,50 - 2,00
Roca mediana (volada)	1,40 - 1,80
Roca blanda (volada)	1,25 - 1,40
Grava, compacta	1,35
Grava, suelta	1,10
Arena, compacta	1,25 - 1,35
Arena, mediana a dura	1,15 - 1,25
Arena, blanda	1,05 - 1,15
Limos, recién depositados	1,00 - 1,10
Limos, consolidados	1,10 - 1,40
Arcillas, muy duras	1,15 - 1,25
Arcillas, medianas a duras	1,10 - 1,15
Arcillas, blandas	1,00 - 1,10
Mezclas de arenas/gravas/arcillas	1,15 - 1,35

Esta coeficiente se utiliza para obtener la densidad⁷ del material a granel o densidad aparente a partir de la densidad real de la mena.

$$\rho_a = \rho_m / f_a$$

Para una caliza (CaCO_3) de densidad media 2,71 y un coeficiente de esponjamiento de 1,6 se obtiene una densidad a granel de 1,7 t/m³.

⁷ La densidad de la roca “in situ” también se conoce como “bulk density”.

Minerales: Clasificación alfabética				(*) Manual de Mineralogía de DANA			
Nombre	Peso	Nombre	Peso	Nombre	Peso	Nombre	Peso
Acanthita	7,3	Clorita	2,6 - 2,9	Garnietita	2,2 - 2,8	Pirofilita	2,8 - 2,9
Alanita	3,5 - 4,2	Cobaltina	6,33	Goetita	4,37	Pirolusita	4,75
Alanita	3,5 4,2	Cobre	8,9	Grafito	2,23	Piromorfita	6,5 - 7,1
Albita	2,62	Colemanita	2,42	Granate	3,35 - 4,3	Pirrotina	4,58 - 4,65
Alunita	2,6 - 2,8	Colofana	2,6 - 2,74	Granate	3,5 - 4,3	Plagioclasa	2,62 - 2,76
Ambligonita	3,0 - 3,1	Colofana	2,6 - 2,9	Granate	3,5 - 4,3	Plata	10,5
Analcima	2,27	Columbita	5,3 - 7,3	Halita	2,16	Platino	14 - 19
Andalucita	3,16 - 3,2	Columbita	5,3 - 7,3	Hematites	4,8 - 5,3	Polibasita	6,0 - 6,2
Andesina	2,69	Condroidita	3,1 - 3,2	Hemimorfita	3,34 - 3,5	Prehenita	2,8 - 2,95
Anglesita	6,2 - 6,4	Cordierita	2,60 - 2,66	Heulandita	2,18 - 2,20	Proustita	5,55
Anhidrita	2,89 - 2,98	Corindon	4,02	Hierro	7,3 - 7,9	Psilomelano	3,7 - 4,7
Anortita	2,76	Covelina	4,6 - 4,76	Hornblenda	3,2	Psilomelano	3,7 - 4,7
Antinita	3,1 - 3,2	Criolita	2,95 - 3,0	Idocrasa	3,35 - 3,45	Psilomelano	3,7 - 4,7
Antlerita	3,9	Crisoberilo	3,65 - 3,8	Ilmenita	4,7	Querargirita	5,5
Antofilita	2,85 - 3,2	Crisocola	2,0 - 2,4	Jadeita	3,3 - 3,5	Rejaljar	3,48
Apatito	3,15 - 3,2	Crisocola	2,0 - 2,4	Jamesonita	5,5 - 6,0	Rodocrosita	3,45 - 3,60
Apofilita	2,3 - 2,4	Crisocola	2,0 - 2,4	Kernita	1,95	Rodonita	3,58 - 3,70
Aragonito	2,95	Cristobalita	2,3	Labradorita	2,71	Rutilo	4,18 - 4,25
Arfvedsonita	3,45	Crocoita	5,9 - 6,1	Lauzurita	2,4 - 2,45	Scheelita	5,9 - 6,1
Arsénico	5,7	Cromita	4,6	Lawsonita	3,09	Serpentina	2,2 - 2,65
Arsenopirita	6,07	Cuarzo	2,65	Lazulita	3,0 - 3,1	Serpentina	2,2 - 2,65
Atacamita	3,75 - 3,77	Cuprita	6	Lepidolita	2,8 - 3,0	Serpentina	2,2 - 2,65
Augita	3,2 - 3,4	Chabacita	2,05 - 2,15	Leucita	2,4 - 2,45	Siderita	3,83 - 3,88
Axinita	3,27 - 3,35	Danburita	2,97 - 3,02	Limonita	3,6 - 4,0	Silimanita	3,23
Azufre	2,05 - 2,09	Datolita	2,8 - 3,0	Magnesita	3,0 - 3,2	Silvanita	8,0 - 8,2
Azurita	3,77	Diamante	3,5	Magnetita	5,18	Silvina	1,99
Baritina	4,5	Diáspora	3,35 - 3,45	Malaquita	3,9 - 4,03	Smithsonita	4,35 - 4,40
Bauxita	2,0 - 2,55	Diópsido	3,2 - 3,3	Manganita	4,3	Sodalita	2,3
Bauxita	2,0 - 2,55	Dolomita	2,85	Marcasita	4,89	Talco	2,76
Berilo	2,65 - 2,8	Dumortierita	3,25 - 3,35	Margarita	3,0 - 3,1	Tenandita	4,6 - 5,1
Biotita	2,8 - 3,2	Egirina	3,40 - 2,55	Microclina	2,45 - 2,57	Tetraedrita-	4,6 - 5,1
Bismutina	6,78	Enargita	4,43 - 4,45	Millerita	5,5	Topacio	3,2 - 3,6
Bismuto	9,8	Enstatita	3,2 - 3,5	Molibdenita	4,62 - 4,73	Tremolita	3,0 . 3,3
Bitownita	2,74	Epidota	3,35 - 3,45	Monacita	5,0 - 5,3	Tridimita	2,26
Boracita	2,9 - 2,98	Eritrina	2,95	Moscovita	2,76 - 3,1	Trifilina	3,42 - 3,56
Bórax	1,7	Escapolita	2,65 - 2,74	Natrolita	2,25	Turquesa	2,6 - 2,8
Bornita	5,06 - 5,08	Escorodita	3,1 - 3,3	Nefelina	2,55 - 2,65	Turmalina	3,0 - 3,25
Bournonita	5,8 - 5,9	Escuterudita	6,5	Niquelina	7,78	Ulexita	1,96
Brucita	2,39	Esfalerita	3,9 - 4,1	Nitratina	2,29	Uraninita	9,0 - 9,7
Calaverita	9,35	Esfena	3,4 - 3,55	Nitro	2,09 - 2,14	Vanadinita	6,7 - 7,1
Calcita	2,72	Espinela	3,6 - 4,0	Oligoclasa	2,65	Wavelita	2,33
Calcopirita	4,1 - 4,3	Espinela	3,6 - 4,0	Olivino	3,27 - 4 37	Willemita	3,9 - 4,2
Calcosina	5,5 - 5,8	Espodúmeno	3,15 - 3,2	Olivino	3,27 - 4,27	Witherita	4,3
Caolinita	2,6 - 2,63	Estausolita	3,65 - 3,75	Olivino	3,27 - 4,37	Wolframita	7,0 - 7,5
Carnalita	1,6	Estibina	4,52 - 4,62	Ópalo	1,9 - 2,2	Wollastonita	2,8 - 2,9
Casiterita	6,8 - 7,1	Estibita	2,1 - 2,2	Oro	15,0 - 19,3	Wulfenita	6,8
Celestina	3,95 - 3,97	Estroncionita	3,7	Oropimente	3,49	Yeso	2,32
Cerusita	6,55	Fenacita	2,97 - 3,0	Ortoclasa	2,57		
Cianita	3,56 - 3 66	Flogopita	2,86	Pectolita	2,7 - 2,8		
Cinabrio	8,1	Fluorita	3,18	Pentlandita	4,6 - 5,0		
Cineíta	5,68	Franklinita	5,15	Petalita	2,42		
Circón	4,68	Gahnita	4,55	Pirargirita	5,85		
Clinozoizita	3,25 - 3,37	Galena	7,4 - 7,6	Pirita	5,02		

Minerales: Clasificación por densidad				(*) Manual de Mineralogía de DANA			
Nombre	Peso	Nombre	Peso	Nombre	Peso	Nombre	Peso
1 a 1,99				Andesina	2,69	Epidota	3,35 - 3,45
Carnalita	1,6	Pectolita	2,7 - 2,8	Idocrasa	3,35 - 3,45	Ilmenita	4,7
Bórax	1,7	Labradorita	2,71	Granate	3,35 - 4,3	Pirolusita	4,75
Ópalo	1,9 - 2,2	Calcita	2,72	Esfena	3,4 - 3,55	Hematites	4,8 - 5,3
Kernita	1,95	Bitownita	2,74	Egirina	3,40 - 2,55	Marcasita	4,89
Ulexita	1,96	Talco	2,76	Trifilina	3,42 - 3,56	5 a 5,99	
Silvina	1,99	Anortiita	2,76	Arfvedsonita	3,45	Monacita	5,0 - 5,3
2 a 2,99				Rodocrosita	3,45 - 3,60	Pirita	5,02
Crisocola	2,0 - 2,4	Moscovita	2,76 - 3,1	Rejaljar	3,48	Bornita	5,06 - 5,08
Crisocola	2,0 - 2,4	Pirofilita	2,8 - 2,9	Oropimente	3,49	Franklinita	5,15
Crisocola	2,0 - 2,4	Wollastonita	2,8 - 2,9	Diamante	3,5	Magnetita	5,18
Bauxita	2,0 - 2,55	Prehenita	2,8 - 2,95	Alanita	3,5 - 4,2	Columbita	5,3 - 7,3
Bauxita	2,0 - 2,55	Datolita	2,8 - 3,0	Granate	3,5 - 4,3	Columbita	5,3 - 7,3
Azufre	2,05 - 2,09	Lepidolita	2,8 - 3,0	Granate	3,5 - 4,3	Millerita	5,5
Chabacita	2,05 - 2,15	Biotita	2,8 - 3,2	Granate	3,5 - 4,3	Querargirita	5,5
Nitro	2,09 - 2,14	Dolomita	2,85	Alanita	3,5 4,2	Calcosina	5,5 - 5,8
Estibita	2,1 - 2,2	Antofilita	2,85 - 3,2	Cianita	3,56 - 3 66	Jamesonita	5,5 - 6,0
Halita	2,16	Flogopita	2,86	Rodonita	3,58 - 3,70	Proustita	5,55
Heulandita	2,18 - 2,20	Anhidrita	2,89 - 2,98	Espinela	3,6 - 4,0	Cineíta	5,68
Serpentina	2,2 - 2,65	Boracita	2,9 - 2,98	Espinela	3,6 - 4,0	Arsénico	5,7
Serpentina	2,2 - 2,65	Aragonito	2,95	Limonita	3,6 - 4,0	Bournonita	5,8 - 5,9
Serpentina	2,2 - 2,65	Eritrina	2,95	Estausolita	3,65 - 3,75	Pirargirita	5,85
Garnietita	2,2 - 2,8	Criolita	2,95 - 3,0	Crisoberilo	3,65 - 3,8	Crocoita	5,9 - 6,1
Grafito	2,23	Fenacita	2,97 - 3,0	Estroncionita	3,7	Scheelita	5,9 - 6,1
Natrolita	2,25	Danburita	2,97 - 3,02	Psilomelano	3,7 - 4,7	6 a 8,99	
Tridimita	2,26	3 a 3,99		Psilomelano	3,7 - 4,7	Cuprita	6
Analcima	2,27	Amblygonita	3,0 - 3,1	Psilomelano	3,7 - 4,7	Polibasita	6,0 - 6,2
Nitratina	2,29	Lazulita	3,0 - 3,1	Atacamita	3,75 - 3,77	Arsenopirita	6,07
Cristobalita	2,3	Margarita	3,0 - 3,1	Azurita	3,77	Anglesita	6,2 - 6,4
Sodalita	2,3	Magnesita	3,0 - 3,2	Siderita	3,83 - 3,88	Cobaltina	6,33
Apofilita	2,3 - 2,4	Turmalina	3,0 - 3,25	Antlerita	3,9	Escuterudita	6,5
Yeso	2,32	Tremolita	3,0 - 3,3	Malaquita	3,9 - 4,03	Piromorfita	6,5 - 7,1
Wavelita	2,33	Lawsonita	3,09	Esfalerita	3,9 - 4,1	Cerusita	6,55
Brucita	2,39	Antinita	3,1 - 3,2	Willemita	3,9 - 4,2	Vanadinita	6,7 - 7,1
Lauzurita	2,4 - 2,45	Condrodita	3,1 - 3,2	Celestina	3,95 - 3,97	Bismutina	6,78
Leucita	2,4 - 2,45	Escorodita	3,1 - 3,3	4 a 4,99		Wulfenita	6,8
Colemanita	2,42	Apatito	3,15 - 3,2	Corindon	4,02	Casiterita	6,8 - 7,1
Petalita	2,42	Espodúmeno	3,15 - 3,2	Calcopirita	4,1 - 4,3	Wolframita	7,0 - 7,5
Microclina	2,45 - 2,57	Andalucita	3,16 - 3,2	Rutilo	4,18 - 4,25	Acantita	7,3
Nefelina	2,55 - 2,65	Fluorita	3,18	Manganita	4,3	Hierro	7,3 - 7,9
Ortoclasa	2,57	Hornblenda	3,2	Witherita	4,3	Galena	7,4 - 7,6
Caolinita	2,6 - 2,63	Diópsido	3,2 - 3,3	Smithsonita	4,35 - 4,40	Niquelina	7,78
Colofana	2,6 - 2,74	Augita	3,2 - 3,4	Goetita	4,37	Silvanita	8,0 - 8,2
Alunita	2,6 - 2,8	Enstatita	3,2 - 3,5	Enargita	4,43 - 4,45	Cinabrio	8,1
Turquesa	2,6 - 2,8	Topacio	3,2 - 3,6	Baritina	4,5	Cobre	8,9
Clorita	2,6 - 2,9	Silimanita	3,23	Estibina	4,52 - 4,62	9 a 19	
Colofana	2,6 - 2,9	Dumortierita	3,25 - 3,35	Gahnita	4,55	Uraninita	9,0 - 9,7
Cordierita	2,60 - 2,66	Clinozoizita	3,25 - 3,37	Pirrotina	4,58 - 4,65	Calaverita	9,35
Albita	2,62	Axinita	3,27 - 3,35	Cromita	4,6	Bismuto	9,8
Plagioclasa	2,62 - 2,76	Olivino	3,27 - 4 37	Covelina	4,6 - 4,76	Plata	10,5
Oligoclasa	2,65	Olivino	3,27 - 4,27	Pentlandita	4,6 - 5,0	Platino	14 - 19
Cuarzo	2,65	Olivino	3,27 - 4,37	Tetraedrita	4,6 - 5,1	Oro	15,0 - 19,3
Escapolita	2,65 - 2,74	Jadeita	3,3 - 3,5	Tenandita	4,6 - 5,1		
Berilo	2,65 - 2,8	Hemimorfita	3,34 - 3,5	Molibdenita	4,62 - 4,73		
		Diáspora	3,35 - 3,45	Circón	4,68		