

## Tema 2: Rocas ornamentales (Piedra Natural)

### 2.1. Reconocimiento de minerales

*Definición de mineral: Sólido inorgánico homogéneo de origen natural con una composición química definida (pero no fija)*

En la naturaleza existe una gran variedad de minerales: minerales monoelementales (azufre, oro), sulfuros (pirita  $\text{FeS}_2$ , galena  $\text{SPb}$ ), halogenuros (fluorita  $\text{CaF}_2$ , halita  $\text{NaCl}$ ), óxidos (cuarzo  $\text{SiO}_2$ , rubí  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), hidróxidos (limonita  $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ ), nitratos (nitronatrita  $\text{NaNO}_3$ ), carbonatos (calcita  $\text{CaCO}_3$  y dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), boratos (borax:  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , boracita  $\alpha\text{-(Mg,Fe)}_3[\text{Cl/B}_7\text{O}_{13}]$ ), sulfatos (yeso  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), fosfatos (apatito  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$ ), silicatos (Feldespatos son un grupo de silicatos con buena exfoliación planar de fórmula general  $\text{XZ}_4\text{O}_8$  con **X**: Ba, Ca, K, Na,  $\text{NH}_4$ , Sr y **Z**: Al, B, Si como por ejemplo el feldespato potásico  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  y la Albita  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (fórmula química escrita en forma de óxidos:  $6\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ ). Las micas son toda una familia de filosilicatos con fórmula general  $\text{XY}_2\text{-}_3\text{Z}_4\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$  o  $\text{XY}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$  donde **X** = Ba, Ca, Cs,  $(\text{H}_3\text{O})$ , K, Na,  $(\text{NH}_4)$ , **Y** = Al,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , Li, Mg,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ , Zn, **Z** = Al, Be,  $\text{Fe}^{3+}$ , Si. Son micas la Biotita  $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  y la Moscovita  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  o la Lepidolita  $\text{KLi}_{1.5}\text{Al}_{1.5}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$ . Los silicatos son el grupo más abundante de minerales en la corteza terrestre (90%).

Los minerales son con constituyentes de las rocas en la naturaleza y también son las materias primas para la fabricación de muchos materiales cerámicos. Hay muchas clasificaciones diferentes de los minerales. Algunas diferencian 9 clases *Poner minerales Andalucía*, y otras 11 atendiendo motivos químicos y estructurales (simetrías). Los que más nos van a interesar son los minerales industriales que se describen mejor en el Tema 3 *Poner tabla minerales Tema 3*

El estudio de las materias estas primas de origen natural pasa por la identificación de los minerales que las componen. Identificar (o reconocer) las especies minerales presentes en una roca no es tarea fácil, se requiere el uso de técnicas que nos den información de la composición química exacta (análisis de trazas) y de la estructura cristalina (difracción de rayos X, de electrones o de neutrones) con la dificultad añadida de que el tamaño del grano que queremos analizar puede ser muy muy pequeño y difícil de separar. Sin embargo, los mineralogistas tradicionales han estudiado y clasificado la gran mayoría de los minerales utilizando sus propiedades ópticas, las propiedades mecánicas que se pueden probar con las manos, y recurriendo en el mejor de los casos a un microscopio óptico denominado microscopio petrográfico. Hoy día se disponen de muchas técnicas de análisis que permiten determinar el tipo de mineral (composición química y estructura) de forma muy fiable.

Algunos parámetros que utiliza el mineralogista para reconocer un mineral son:

La **forma** de crecimiento (**hábito**): la forma del grano viene dada por la velocidad de crecimiento de cada una de las caras del cristal y por el hueco que tenga el mineral para crecer dentro de la roca, y esto depende a su vez de todos los factores físico-químicos del medio donde crece el mineral (temperatura, presión radiactividad, concentraciones de especies, viscosidad del fundido, etc.) Para describir la forma, o más bien el aspecto que presenta un mineral se habla de **hábito**: *Poner dibujo* hábito hojoso (prismas de pequeño

espesor), tabular (prismas más gruesos), fibroso, prismático, laminar, foliado (se separa fácilmente en forma de hojas), granular (granos pequeños sin direcciones preferentes), masivo (granos más voluminosos).

La **cohesión** que presenta el mineral: es la resistencia a la rotura y la forma de los trozos en los que se rompe. Es consecuencia de la organización interna del mineral, de la existencia de planos de debilidad. Poner dibujo Estos planos se denominan **clivaje**, y un mineral puede tener más de un plano de clivaje separándose en láminas (un plano de clivaje), en hilos (dos planos de clivaje) o en granos (tres planos de clivaje). Si no se rompen fácilmente, se habla del tipo de **fractura**: fractura irregular, concoidea (con superficies curvas) o astillosa (con salientes puntiagudos).

La **tenacidad** es un parámetro que reúne propiedades como fragilidad, ductilidad, flexibilidad y dureza. El diamante es el mineral más duro que se conoce, pero muy frágil (se rompe fácilmente por efecto de un golpe). La flexibilidad es la capacidad de deformarse sin romperse, volviendo al estado inicial cuando desaparece el esfuerzo (las hojas de mica son muy flexibles). La ductilidad (capacidad de moldearse en forma de láminas) es una propiedad característica de los metales. La dureza puede ser cuantificada utilizando distintas escalas, la más conocida es la escala de Mohs Poner escala que toma como referencia diez especies minerales a las que le asigna números enteros y clasifica la dureza de los demás minerales según quién raye a quién. En la práctica, se utilizan materiales que se tienen a mano para estimar la dureza de los minerales: una uña (dureza 2.5-3), un objeto de bronce (dureza 3.5-4), de acero (5.5) y de vidrio (5.5-6).

El **brillo** y el **color** son dos propiedades ópticas que puede detectar el ojo humano sin necesidad de más instrumentos. El **brillo** describe la manera como la luz se refleja en la superficie del objeto, y puede ser brillo metálico (se da en los metales, sustancias opacas), brillo adamantino (típico del diamante), brillo vítreo (el de la mayoría de los minerales como el cuarzo), brillo nacarado (como la que muestra el nácar), brillo mate o terroso (si dispersan la luz en todas direcciones como la arcilla). El **color** es una propiedad fácil de describir, pero que en ocasiones no es identificativa, ya que muchos minerales presentan una coloración muy variada dependiendo de las impurezas que contengan. Por ejemplo, el cuarzo puede ser incoloro, gris, rojo, blanco, celeste, violeta, amarillo, verde o incluso negro. El cuarzo es un mineral alocromático, y aquellos que presentan siempre un color parecido se denominan idiocromáticos (la biotita es normalmente negra, la azurita azul, etc.). Si son transparentes sin color se denominan incoloros. La **raya** es el color característico que presenta el mineral pulverizado, se suele rayar el mineral con una navaja y ver el color del polvo extraído. El color de la parte más interna del mineral (que la raya deja al descubierto) se denomina la **huella**, y puede ser diferente del color que presente en la parte externa ya que la superficie puede estar oxidada y presentar un color distinto.

La **densidad** es una magnitud que hay que medir, pero que es característica de cada mineral. Está relacionada con el tipo de átomos que lo forman y el tipo de red. Densidad es masa por unidad de volumen, por lo que habrá que averiguar de forma muy precisa la masa (mediante pesada) y el volumen que ocupa, bien sea macroscópico de todo el cristal o averiguando el

volumen de la celdilla unidad de la red cristalina mediante difracción de rayos X. Hay otros métodos indirectos de determinar la densidad (por flotación o pesada en distintos líquidos) que veremos más detenidamente en prácticas.

Con el **microscopio petrográfico** se pueden observar los granos de mineral de pequeño tamaño que componen las rocas (estudiar la microestructura de las rocas) pero también se identifican minerales por sus propiedades ópticas. El microscopio petrográfico es un microscopio de luz polarizada que permite examinar preparaciones en forma de láminas delgadas de las rocas y de minerales en forma de granos pequeños. Se puede determinar el índice de refracción de los granos, si el mineral es isótropo o anisótropo a la propagación de la luz, si posee un eje óptico (son uniaxiales los cristales hexagonales y tetragonales) o dos ejes ópticos (cristales biaxiales como son los rómbicos, monoclinicos y triclinicos). Por lo tanto, el microscopio también da algo de información sobre la estructura cristalina.

En las prácticas utilizaremos un microscopio de luz polarizada para estudiar láminas delgadas de rocas.

## 2.2. Las rocas de la corteza terrestre

La corteza terrestre está formada por rocas, y **las rocas son agrupaciones de minerales** que se encuentran en la naturaleza. Las rocas son el objeto de estudio de la geología, y desde el punto de vista geológico existen tres tipos de rocas: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. *Poner ciclo rocas*

Las **rocas ígneas** son las solidificadas a partir de un estado fundido que se denomina **magma**, que alcanza la superficie terrestre a través de los volcanes. Las **rocas sedimentarias** son las formadas a partir de materia mineral derivada de la descomposición química y la fragmentación física de cualquier variedad de roca preexistente, los **sedimentos**. Los sedimentos, materia mineral finamente dividida o disuelta, son normalmente arrastrados por los ríos, olas y corrientes o viento y depositados en las partes más bajas de la corteza (fondo de mares y lagos). Los sedimentos son arenas y arcillas, dependiendo del tamaño de grano (del orden de mm para la arena y del orden de las micras para la arcilla). Cuando se va acumulando el sedimento (hasta miles de metros) las capas de abajo están comprimidas hasta tal punto que se producen ciertos cambios químicos que endurece el material y lo convierte en una roca compacta que son las rocas sedimentarias. Cuando los sedimentos son arrastrados hacia profundidades mayores se forman las **rocas metamórficas**, que son las rocas formadas por cambios físicos o químicos de tipos preexistentes de rocas (ya sean ígneas o sedimentarias). Los cambios se producen en estado sólido, pero el aumento de la presión y la temperatura provoca alteraciones profundas de la composición y estructura de la roca inicial. En la corteza terrestre, las rocas están transformándose continuamente unas en otras: cualquier roca puede convertirse en magma al aumentar la temperatura y volver a solidificarse formando una nueva roca ígnea, la erosión crea continuamente sedimentos a partir de cualquier tipo de roca (sedimentaria, metamórfica o ígnea) que esté en superficie y al depositarse estos sedimentos en las partes más bajas de la corteza se contribuye a la formación de nueva roca sedimentaria,

y por último, todas las rocas (sedimentarias, metamórficas o ígneas) que son arrastradas hasta cierta profundidad sufren procesos metamórficos para dar lugar a nuevas rocas metamórficas.

*Esto es lo mismo que hace el hombre al hacer materiales cerámicos: temperatura y presión para provocar reacciones químicas y transformaciones de fase en estado sólido o pasando por una masa fundida.*

**2.2.1. Rocas ígneas** El tamaño de grano, o equivalentemente el grado de cristalinidad, de cualquier material sólido formado por solidificación de un fundido depende de la velocidad de enfriamiento: si el enfriamiento es muy rápido da lugar a materiales amorfos (formación de un vidrio natural), si es rápido se formarán cristales pequeños y si es lento dará lugar a cristales grandes e incluso monocristales. También en la naturaleza el tratamiento térmico es crucial (análogo a cerámicos)

Existen dos tipos de rocas ígneas: Las rocas **intrusivas** que se forman en el interior de la corteza, y las **extrusivas** que se forman en la superficie. En el interior de la corteza (intrusivas) el enfriamiento es lento (normalmente) y da lugar a rocas con granos entre medios y gruesos que se denominan rocas plutónicas como el granito. *Poner fotos ígneas*

En superficie (lava de volcanes) el enfriamiento es rápido dando lugar a rocas amorfas o de grano muy pequeño cuyo principal representante es el basalto de textura vítrea. Además de su baja cristalinidad, suelen ser rocas muy porosas, con muchas cavidades debido a los gases de los volátiles que se producen al reducir rápidamente la presión. Estas rocas se denominan escoria volcánica, y un ejemplo es la pumita o piedra pómez, que es un material abrasivo de textura escoriácea.

*Poner el cuadro de la composición mineral de las rocas ígneas*

En cuanto a la composición, las rocas ígneas solidifican a partir de un fundido donde están los componentes básicos para hacer minerales como cuarzo, mica, feldespatos, etc. Según se produzcan las variaciones de presión y temperatura unos cristales crecerán antes o después que otros y la composición mineral de las rocas ígneas será diferente. Es como un diagrama de fases de muchos componentes, si se modifica la presión o la temperatura unos componentes cristalizan y el fundido que queda se empobrece en ese componente condicionando su respuesta ante otro cambio de presión y temperatura. Aunque la situación es bastante compleja (cada magma va a tener una composición diferente y va a sufrir variaciones de presión y temperatura imposibles de predecir) la mayoría de las rocas ígneas de la corteza terrestre pertenecen en composición a la serie granito-gabro, que han seguido la serie de reacción de Bowen. El **granito** es una roca félsica en cuya composición dominan los feldespatos y el cuarzo. El feldespato potásico es la variedad más importante. También pueden tener plagioclasas alcalinas. El cuarzo alcanza hasta una cuarta parte de la roca en el granito. La biotita y la hornblenda también suelen estar presentes, así como la magnetita (Granito: cuarzo, feldespato y mica). La **diorita** es otra roca intrusiva importante donde predomina el feldespato plagioclasa y el cuarzo es un componente minoritario. El **grabo** es el equivalente intrusivo del **basalto**, que es mucho más conocido, el basalto se forma al enfriarse la lava y es la roca ígnea predominante bajo los fondos de las cuencas oceánicas. El grabo y el basalto están compuestos por piroxeno y feldespato plagioclasa con o sin algo de olivino. Si aumenta

el contenido en olivino aparecen el grabo olivínico y el basalto olivínico. La peridotita contiene hierro y es oscura o negra

**2.2.2. Rocas sedimentarias:** Las rocas sedimentarias se dividen en clásticas (las formadas a partir de sedimentos donde se pueden identificar granos de minerales) y no clásticas (las formadas por precipitación de sustancias disueltas).

*Poner tabla de clasificación*

**2.2.2.1. Rocas sedimentarias clásticas:** Son las formadas por la acumulación de sedimentos. Los sedimentos son minerales finamente fragmentados y materia orgánica derivada de rocas preexistentes y de procesos vitales. Los procesos, que pueden ser tanto químicos como físicos, que conducen a la formación de sedimentos a partir de las rocas se denominan meteorización. Por tanto, no sólo la composición química de los sedimentos, sino el tamaño de grano y la estructura es muy variada, dando lugar a rocas con una gran variedad de microestructuras.

Los sedimentos se clasifican según el tamaño de partícula según la escala de Wentworth:

*Poner escala de tamaños y comentarla*

Cuando se van depositando los sedimentos, las capas superiores son barros, arcillas, limos o arenas saturadas de agua. Al irse incrementando el espesor de sedimentos, el agua se expulsa de las capas inferiores por el aumento de presión y el sedimento se vuelve más duro, llegando a experimentar incluso cambios químicos que dan lugar a la formación de rocas duras. Como se forman a partir de materiales granulares, las rocas sedimentarias se caracterizan por la presencia de capas diferenciadas o estratos dependiendo del tamaño o de la composición de las partículas que llegaron en un determinado periodo. Las partículas más abundantes en las rocas sedimentarias son de cuarzo, feldespato y mica, y minerales arcillosos (caolinita, montmorillonita e illita).

El tamaño de las partículas del sedimento va a determinar el tamaño de los granos de la roca sedimentaria. Se pueden distinguir:

- **conglomerados** (granos observables a simple vista y de cantos redondeados, formados a partir de grava)
- las **areniscas** (compuestas por granos de arena) que se clasifican en gruesas, medias o finas, y además se clasifican en cuatro tipos dependiendo de su composición, la más abundante es la *arenisca cuarcífera* formada predominantemente por cuarzo. En las areniscas más duras, se han introducido minerales muy finos como sílice, carbonato cálcico o minerales de óxidos de hierro en los intersticios de los granos y se ha producido "cementación". Si tiene más de un 30% de granos de feldespatos se denomina *arenisca feldespática*. Si tiene más del 15% de partículas de grano muy fino se denomina arenisca lítica, que suelen ser rocas oscuras, densas y duras.
- Cuando el tamaño de grano es más pequeño aparece la roca sedimentaria **lutita** (mezcla de limo o arcillas), la **argilita** cuando es todo arcilla. Muchas de estas rocas son exfoliables, es decir, son rocas laminadas que se rompen fácilmente en lajas. Las rocas exfoliables tienen una estructura cristalina característica formada por planos aplicados. Los minerales más abundantes en las argilitas son la caolinita y la illita (silicatos). En los limos suele haber grandes

proporciones de cuarzo y feldespato. Las rocas sedimentarias más abundantes son las argilitas foliáceas (argilita exfoliables), que se clasifican según su color: rojo (presencia de óxido de hierro, son rocas que se han formado en un ambiente rico en oxígeno) gris, negro o verde (son rocas formadas en aguas profundas deficientes en oxígeno y con gran cantidad de productos orgánicos diseminados). Un caso particular de roca de este tipo es la bentonita es una roca de textura fina formada por la alteración de las cenizas volcánicas que se transforman preferentemente en montmorillonita.

**2.2.2.2. Rocas sedimentarias no clásticas:** Son las que se forman por precipitado a partir de sustancias disueltas en agua (sedimentos hidrogénicos) o a partir de la actividad vegetal o animal (sedimentos biógenos). *Poner tabla minerales hidrogénicos*

La clase más importante de los sedimentos hidrogénicos son los **minerales carbonatos** que dan lugar a las llamadas **rocas carbonatadas**. La **calcita** (carbonato cálcico  $\text{CaCO}_3$ ) tiene varias formas de cristalización, es un mineral blando (se raya con una navaja) y se rompe fácilmente en las tres direcciones del espacio formando romboedros. La forma de identificar la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) en una roca sedimentaria es aplicándole una gota de ácido clorhídrico diluido, lo que produce gran efervescencia. Las **calizas** son rocas en las que la calcita es el mineral dominante, aunque también pueden contener minerales arcillosos y sílice. Las calizas muestran una amplia variedad de propiedades físicas y químicas: presentan colores desde el blanco al gris oscuro y negro, tienen texturas granulosas de grano muy fino y densidades desde porosas a muy densas. Las calizas más abundantes en la corteza terrestre son de origen marino, se forman por precipitación orgánica a partir de algas verdes que se descomponen o como subproductos de la respiración y la fotosíntesis. Son rocas densas y de grano fino con colores entre el gris y el negro. Muestran estratificación y suelen contener abundantes fósiles. El color oscuro suele ser debido a carbón finamente dividido. Si tiene incrustaciones de sílex se denominan calizas silíceas. Cuando los estratos calcáreos se entierran bajo grandes cargas de sedimento, la calcita (sistema hexagonal) y el aragonito (sistema ortorrómbico, polimorfo de la calcita) recristalizan en granos bien encajados dando lugar a las calizas cristalinas como el mármol, que ya es una roca metamórfica.

La **dolomita** es un carbonato de calcio y magnesio más denso y duro que la calcita, también con exfoliación romboédrica. Sólo hace efervescencia con ácido clorhídrico diluido cuando está pulverizada. La dolomita es el mineral más abundante en la **dolomía** o roca dolomítica, que se forma por sustitución de iones calcio de la calcita por iones magnesio que se encuentran disueltos en el agua del mar. En los yacimientos es difícil distinguir una caliza de una dolomía, pero la dolomía es más densa y más dura y no es efervescente al ácido clorhídrico diluido.

Otro grupo de minerales hidrogénicos son los evaporitas: anhidrita, yeso y halita. La **anhidrita** (sulfato cálcico  $\text{CaSO}_4$ ) es un mineral blando que se suele encontrar en forma granular. El **yeso** es un sulfato cálcico hidratado que es muy blando (se raya con la uña). La **halita** o sal de gema (refinada es la sal común  $\text{NaCl}$ ) se puede depositar a partir de agua del océano, pero también se encuentra en estado rocoso formando depósitos muy puros o mezclados con otros minerales (se acumulan grandes cantidades donde ha existido un mar en otra época geológica, o donde ha habido volcanes submarinos que han evaporado agua salada rápidamente).

Otros minerales hidrogénicos son las **hematites** (sesquióxido de hierro u óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), se encuentran con frecuencia en estratos sedimentarios (la **magnetita** es una mezcla de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y ferroso ( $\text{FeO}$ ) que es el que tiene propiedades magnéticas)). Los minerales de óxidos de hierro se comercializan con el nombre de **ocres**.

Los minerales hidrogénicos silíceos: la **calcedonia** es una forma de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) de estructura microcristalina donde no pueden identificarse a simple vista los cristales individuales; la **ágata** es una variedad de la calcedonia que cuando está muy pulida se usa en decoración; el **chert** es otra variedad del cuarzo de color blanquecino formado en aguas cargadas de sílice. El **sílex** o pedernal se forma por la sustitución de sedimento carbonatado por sílice en agua marina aprisionada por el sedimento; la sílice proviene en este caso de restos de organismos vivos (esqueletos y conchas).

**2.2.3. Rocas metamórficas:** Las rocas metamórficas han sufrido cambios físicos o químicos debido al estar sometidas a alta temperatura, presión o grandes esfuerzos de cizallamiento, pero sin que se produzca fusión. Una característica de las rocas metamórficas es que se han formado bajo una alta presión de confinamiento (2 kilobares por lo menos), ya que se excluyen los cambios químicos que se producen en las rocas debido a la penetración de disoluciones hidrotermales.

*Poner esquema* Las rocas metamórficas se clasifican en rocas **cataclásticas** cuando han sufrido perturbaciones mecánicas fuertes pero sin cambio químico (**metamorfismo mecánico**), y rocas **recristalizadas** cuando los minerales originales se han modificado químicamente con pérdida de volátiles como agua y dióxido de carbono y cambiando o no de estructura cristalina. Este proceso se denomina metasomatismo, y da lugar a una serie de minerales característicos que se denominan **minerales metamórficos**. Entre las rocas recristalizadas se distinguen las **metamórficas de contacto** que se forman por recristalización a alta temperatura cuando un magma entra en contacto con la roca encajante adyacente, y las rocas **metamórficas regionales** donde la recristalización se produce durante procesos de deformación y cizallamiento que afecta a una zona amplia de la corteza terrestre (los plegamientos). La pizarra es una roca metamórfica regional.

Dependiendo del tipo de esfuerzo soportado (intensidad y tiempo que dura el esfuerzo) y el tipo de roca original, las rocas metamórficas presentan texturas (microestructuras) características. Se pueden agrupar en microestructuras foliadas (en forma de láminas u hojas) y no foliadas (granos muy compactos) *Poner dibujos* La textura **pizarrosa** (foliada) con capas o láminas y granos muy pequeños que no se observan a simple vista, la textura **esquistosa** (foliada) con granos alargados formando láminas, la **gneissica** (foliada) con granos alargados y unos granos más grandes como formando ojos; la textura **granoblástica** (no foliada) donde los granos no presentan una longitud preferente (no son alargados) y están muy encajados unos en otros, sin otra fase que rellene los huecos. Si aparecen pliegues en una textura foliada, se denomina **plegada**.

Los procesos metamórficos pueden tener distinta intensidad, por lo que se puede hablar de "grado de metamorfismo" bajo, medio y alto. *Poner tabla grado metamorfismo en Pelita*

En una lutita o pelita (*rocas sedimentarias de grano muy muy fino (< 20 μm) de minerales arcillosos y cuarzo y un poco de feldespatos, mica, basalto y caliza*) la roca de grado de metamorfismo bajo los cristales siguen siendo muy pequeños (no son identificables a simple vista, como en una pizarra), en las de grado medio los cristales han crecido y se pueden observar a simple vista (un esquistos) y en las de grado alto hay granos que tienen un tamaño notable (un gneis). El tamaño de grano de los minerales metamórficos indica el grado de metamorfismo.

*Poner cuadro composición-temperatura* El tipo de roca metamórfica que se obtenga depende de la composición mineral de la roca original y de las condiciones de presión y temperatura a que se vea sometida y el tiempo que estén actuando estas condiciones extremas.

### 2.2.3.1. Minerales metamórficos

Algunos minerales de las rocas ígneas persisten o no desaparecen durante la recristalización, como el cuarzo, la mica, los piroxenos, anfíboles y feldespatos. De las sedimentarias también permanecen la calcita y la dolomita. Los minerales completamente nuevos que se forman son:

*Poner tabla*

La **distena**, **andalucita** y **sillimanita** tienen la misma composición pero diferente estructura o hábito de crecimiento. Se forman por recristalización de rocas con abundante cuarzo y feldespatos, y el que aparezca uno u otro va a depender de la presión y temperatura *Poner el diagrama de fases* La andalucita se forma a temperatura y presiones relativamente bajas, la sillimanita a temperatura elevada y presión moderada y la distena a presión elevada y temperatura moderada. Si se eleva mucho la presión y la temperatura se produce la fusión.

El **almandino** es un mineral del grupo del granate (que son aluminosilicatos de magnesio, hierro, calcio o manganeso) que alcanza tamaños de grano de varios centímetros en rocas metamórficas y se considera piedra semipreciosa (es un granate férrico).

La **wollastonita** es un silicato de calcio que se forma al someter a temperaturas elevadas las rocas calizas:  $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$  (desprendiéndose  $\text{CO}_2$ )

La **estaurolita** es un aluminosilicato de hierro hidratado que se forma en condiciones de presión y temperatura intermedias. Es un mineral que se caracteriza por cristalizar en forma de cruz, son cristales alargados que se atraviesan unos a otros.

La **clorita** es un silicato de hierro y magnesio hidratado que se parece a las micas con estructura laminar que forma hojas de exfoliación. Se forma a temperaturas relativamente bajas.

La **epidota**, es un aluminosilicato de calcio e hierro hidratado de color verde y que presenta prismas alargados. Se forma a partir de rocas ricas en minerales máficos como piroxenos y anfíboles a una gama intermedia de temperaturas.

El **talco** es un silicato de magnesio hidratado muy blando y escamoso, que se considera un mineral arcilloso. Se forma en rocas metamórficas derivadas de minerales máficos como olivino, piroxenos y anfíboles. Cuando se encuentra en una gran masa rocosa, el talco se denomina esteatita y es inmune a la acción de los ácidos, por lo que una aplicación de esta

roca fue para encimeras de poyatas de laboratorios químicos. Pulverizado tiene muchas aplicaciones industriales, y sin duda la más conocida es los polvos de talco.

El grupo de la **serpentinita** lo forman dos minerales que son silicatos de magnesio hidratados: la antigorita y el crisotilo. Derivan de minerales máficos como olivino, piroxenos y anfíboles. El crisolito se conoce como asbesto y está formado por diminutos cristales flexibles que se usaban en productos industriales resistentes al fuego y como aislante (hoy día ha dejado de utilizarse porque las pequeñas fibras de asbesto provocan enfermedades pulmonares irreversibles).

El **grafito** no es muy abundante pero también aparece en las rocas metamórficas. Las capas de carbón se convierten en grafito durante el metamorfismo.

### 2.2.3.2. Rocas cataclásticas y recrystalizadas

La roca cataclástica (sin cambio químico) más conocida es la **milonita**, que es una roca densa de grano fino (por debajo de 0.1 mm) y aspecto fajeado o listado producido por los grandes esfuerzos que ha sufrido.

Las rocas metamórficas de contacto (el metamorfismo se da porque la roca entra en contacto con magma muy caliente que hace un recocido de la roca) son las **cornubianitas**, rocas de grano muy fino y forma de cuerno rodeando la inclusión de magma en la roca madre.

Las rocas metamórficas regionales son las más abundantes y variadas, ya que se han formado en procesos termodinámicos a gran escala acompañados de esfuerzos de cizallamiento (los grandes plegamientos o movimientos de la corteza). Son rocas **exfoliables** como consecuencia de la estratificación inicial de la roca sedimentaria: *Poner dibujo* partiendo de una roca sedimentaria de grano muy fino (con estratificación dependiendo del tamaño de grano o las sucesivas avalanchas de sedimentos que han llegado a la cuenca sedimentaria), cuando se producen las tensiones se desarrolla un plegamiento de los estratos y la dirección a lo largo de la cual la roca se ha alargado (perpendicular a los estratos) son ahora planos de debilidad de la roca. Una roca derivada de una argilita de grano fino es la **pizarra**, de donde toma el nombre la exfoliación pizarrosa. Si los esfuerzos continúan, los minerales adoptan una fase completamente laminar y las rocas se denominan **esquistos**, como el **talco**, **moscovita**, **clorita** o **biotita**. Los esquistos recién rotos presentan superficies brillantes y sedosas debido a la perfecta reflexión de la luz en los planos de exfoliación ocupados perfectamente por los minerales. Aunque no presenten buena exfoliación, las rocas metamórficas regionales se caracterizan por la alineación de los granos en planos paralelos a la dirección de máximo estiramiento de la roca) y por el bandeado de minerales de tonalidades diferentes que han resultado segregados en capas alternas (normalmente paralelo a la orientación de los granos). Los **gneis** son rocas de estas características; el gneis granítico difiere muy poco del granito corriente, únicamente que los granos están alineados. La textura no foliada (granoblástica) aparece cuando la los esfuerzos han actuado en todas direcciones por igual (esfuerzos isostáticos, no hay una dirección preferente), y las rocas principales son el **mármol** formado a partir de calizas (calcita) y la **cuarcita** formado a partir de cualquier variedad mineralógica de la sílice (cuarzo).

Todas estas rocas y minerales se han formado a lo largo del tiempo geológico de la tierra en la corteza terrestre, y los mismos movimientos de la corteza que los han originado han hecho que rocas de todos los tipos, generadas a todas las profundidades, se encuentren en la superficie de la corteza y sean accesibles al hombre. Donde aflora un determinado tipo de roca o mineral de interés industrial, se dice que hay un yacimiento de roca o mineral. Y es allí donde se desarrolla la actividad minera.

***Poner tabla resumen de minerales o ver la presentación en ppt de los minerales***

### **2.3. Rocas ornamentales**

Las rocas ornamentales o “piedra natural” son las rocas que se explotan industrialmente para la obtención de bloques, losas o placas para recubrimientos usados en construcción.

En principio la gran mayoría de las rocas tanto ígneas, metamórficas como sedimentarias pueden tener aplicación como rocas ornamentales. Sin embargo, sólo se usan aquellas que se consideran estéticamente bellas y que son suficientemente duras y resistentes para ser utilizadas en elementos estructurales (construcción, elementos decorativos o artísticos). Los criterios de selección suelen ser el color, la textura (esto es la apariencia (estética) de la roca), la facilidad de pulimiento, la durabilidad, la resistencia (aspectos relacionados con la calidad de la roca como elemento estructural), e incluso aspectos históricos (por conservación de un determinado entorno arquitectónico).

Desde un punto de vista comercial, las rocas ornamentales se agrupan en tres tipos: **granitos**, **mármoles** y **pizarras**. Sin embargo, cada uno de estos tipos abarca a varios tipos de rocas. En el mercado, las rocas ornamentales tienen nombres basados en el color de la roca, la localidad de donde se extrae, o la marca de la empresa que la explota. Algunos ejemplos: granito blanco levantina, blanco cristal, amarillo veneciano, azul bahía, Mármoles blanco Macael, amarillo Macael triana, verde Filabres Macael, crema Parador.

#### **2.3.1. Los granitos**

Los granitos desde el punto de vista comercial incluyen a una gran variedad de rocas ígneas e incluso metamórficas. Bajo la denominación de granito se comercializan todas las rocas cristalinas, feldespáticas con textura secuencial y tamaño de grano distinguible a simple vista que se explota en bloques para luego ser elaborado (por aserrado, pulido, tallado, etc).

Una textura secuencial significa una microestructura con patrones que se repiten secuencialmente, y además el tamaño de grano debe ser grande (observable a simple vista).

Una forma de **clasificación de los granitos** es *por su textura*: como los cristales se distinguen a simple vista, se dice que tienen textura fanerítica, en contraposición de las texturas afaníticas donde necesitamos un microscopio para distinguir los granos que deben ser menores de 0.05 mm. Dependiendo del tamaño de grano se distinguen granitos de grano fino (de 0.05 a 1 mm) de grano medio (1-5 mm) de grano grueso (5-10 mm) y textura de pegmatita (más de 10 mm). Dependiendo de la distribución de tamaños de los granos se habla de granito equigranular si todos los granos son de igual tamaño, de granito porfídico (textura porfídica) si hay granos grandes (denominados fenocristales) englobados en una matriz de granos mucho más pequeños o incluso amorfa, granito alotriomorfo (la textura alotriomorfa o xenomorfa es una

textura con cristales de caras mal desarrolladas). En un granito bandeado los minerales han crecido formando bandas en su textura. También se identifican por su composición mineralógica: granito biotítico el que tiene la biotita como mica; granito adamellítico el que más del 35% de sus feldespatos son plagioclasa de los cuales entre un 5 y el 100% son anortita (mineral del grupo de los feldespatos plagioclasa,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  sistema triclinico)); granito cordierítico el que tiene cordierita (mineral ciclo-silicato que cristaliza en el sistema ortorrómbico  $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); etc.

En la denominación comercial de granito entran anortosita, gneis, granito, granodiorita, monzonita, sienita y todas las rocas ígneas intermedias. Además también entran los denominados "granitos negros" que son diabasas, gabros y similares. Esto significa, la mayoría de las rocas ígneas (tanto intrusivas (plutónicas) como extrusivas (lavas)) y algunas rocas metamórficas se comercializan bajo el nombre de granitos. De cualquier forma, el granito y la granodiorita (rocas ígneas intrusivas formadas a partir de minerales félsicos) son las rocas más abundantes. Tras ellas se comercializan la cuarzodiorita, tonalita (ambas ígneas intrusivas pero con mayor abundancia de minerales máficos) y monzonita (un tipo de basalto, roca ígnea extrusiva). Le siguen la diorita y el gabro, también de la serie granito-gabro, y el resto serían otras rocas basálticas, filonianas y metamórficas. (las rocas filonianas son rocas ígneas muy similares a las rocas plutónicas o intrusivas, pero que se presentan en filones atravesando otras rocas porque se han solidificado al introducirse en grietas de otras rocas).

Algunos ejemplos: Granito gris alba

*Poner las fichas técnicas*

Granito fascinación

Granito multicolor bolivar

Granito verde imperial

La ficha técnica recoge los distintos parámetros que hay que averiguar para cada nuevo tipo de roca o cada nuevo yacimiento. El tipo de roca se identifica realizando un análisis petrográfico, y se realizan toda una serie de pruebas de resistencia. También es muy importante indicar el tipo de acabado en el que se comercializa la roca ornamental.

Los aspectos que controlan la salida o no al mercado de un granito van desde los puramente geológicos (composición mineralógica, textura, tamaño de grano, microfisuras, enclaves, alteraciones, etc) hasta el color o las tendencias decorativas en arquitectura y urbanismo (la belleza). Se emplean en la fabricación de losas, baldosas y plaquetas, bloques para sillería, adoquinado y otros usos ornamentales y decorativos.

### **2.3.1.1. Características técnicas**

Los requerimientos técnicos que acompañan a las rocas ornamentales denominadas granitos dependen del destino final, de donde se vayan a utilizar (normativa de materiales de construcción). Las características técnicas se especifican en las fichas técnicas, que se publican en cada zona de explotación de granitos (a cada nuevo material hay que hacerle una ficha técnica para poder lanzarlo al mercado). También hay publicaciones del instituto geológico y minero, y en revistas de arquitectura y construcción. Menhir edita anualmente un catálogo de piedra natural llamado ARQUINDEX.

En cuanto a las características técnicas de las rocas consideradas comercialmente como granitos, existe una amplia variedad, pero excepto los basaltos, suelen ser rocas muy duras y resistentes al desgaste. Como ejemplos casi extremos, podemos comparar las características de un granito (de los de verdad) y un basalto. *Poner tabla*

### **2.3.1.2. Explotaciones y principales tipos de granitos en España**

Las explotaciones de granito en España se concentran en Galicia (principalmente), Extremadura y el Centro peninsular, aunque también hay algunas afloraciones puntuales dispersas por todo el territorio.

Entre los granitos más conocidos hay que destacar el Rosa Porriño (Pontevedra) un granito adamellítico con feldespato rosado y tamaño de grano entre medio y grueso que admite todo tipo de acabado superficial y se comercializa a los cinco continentes. En Lugo destaca el Perla Kaxigal, un granito biotítico de color gris y tamaño de grano grueso. En la provincia de Orense se extrae el Silvestre Claro y Silvestre Moreno, éste último con tonos amarillentos, granitos de dos micas de grano fino a medio.

En Extremadura se explota una amplia variedad de piedras: la variedad Azul Platino de Trujillo (Cáceres), granito de dos micas con textura porfídica (cristales grandes en una matriz de cristales con tamaño de grano mucho más pequeño); el Gran Beige (*poner foto*) y Gran Gris, que también son porfídicos, el Blanco Extremadura de la provincia de Cáceres, el granito cordierítico Dorado Perla y el Rosa Villar en la provincia de Badajoz. También en Badajoz se extraen principalmente el Negro Nevado (granodiorita con hornblenda), el Negro Ochoavo (una diorita), y los Azul Guadajira y Rojo Guadajira que son gneis anfibólico con porfidoblastos ocelares de feldespatos en matriz micacea (anfíboles: grupo de silicatos, ocelares: con forma de ojo).

En la zona centro (Madrid, Segovia y Ávila) se extraen granodioritas como Blanco Castilla o Crema Cabrera. En Avila destaca el Gris noche, un monzogranito (granito con mayor contenido en sílice y elementos alcalinos) de color gris azulado con fenocristales de feldespato y grano grueso.

Otras variedades destacables por su belleza son el Azul Aran (pegmatita con feldespatos de tonos azules que se extrae en la provincia de Lérida, el Ocre Sevilla (un granito procedente de El Pedroso, Sevilla), el Negro Santa Olalla o el Tezal (tonalita de grano medio extraída en Santa Olalla de Cala, Huelva), el Verde Joya (basalto espilítico que se encuentra en la zona sur de Portugal y se explota en El Cerro de Andévalo, Huelva).

### **2.3.2. Los mármoles y calizas marmóreas**

Desde el punto de vista comercial, como mármol se entiende toda roca constituida mayoritariamente por carbonatos (calcita y/o dolomita) capaz de adquirir un buen pulido final. El tamaño de grano debe ser pequeño, por debajo de 0.05 mm, y muchas veces no es observable a simple vista (texturas afaníticas). Aunque el mármol en petrología es únicamente una roca metamórfica recristalizada procedente de calizas con un grado medio o alto de metamorfismo, se comercializan bajo la denominación de mármoles gran cantidad de calizas (recristalizadas o no) y más o menos dolomitizadas (de dolomita, sustitución parcial del calcio por Mg).

Las calizas son rocas formadas por carbonatos hasta en un 99%, acompañados por silicatos como los anfíboles, piroxenos, olivino y otros minerales como óxidos de hierro y manganeso, sulfuros de hierro y materia orgánica, que son los que le dan las distintas tonalidades o se concentran en las antiguas superficies de estratificación y le dan una apariencia vetada. En otras ocasiones son las sustituciones del calcio en los carbonatos por otros metales lo que le da el color al material.

Los travertinos (calizas formadas en aguas dulces y termales de precipitación química-orgánica) también se comercializan como mármoles famosos por sus tonalidades rojas y doradas, pero tienen propiedades mecánicas muy bajas para algunos usos.

Por semejanza decorativa, también se comercializan como mármoles las serpentinitas, rocas ígneas intrusivas metamorfizadas, cuyos minerales máficos han sido transformados en silicatos del grupo de la serpentinita. Son rocas de color verde, no carbonatadas y provistas de bandeados por variaciones de la composición mineralógica. Las areniscas de grano muy fino (sedimentarias) y las cuarcitas (metamórficas granoblásticas) también suelen entrar en la calificación de mármoles comerciales.

Algunos ejemplos de mármoles comerciales:

*Poner las fichas técnicas*

Mármol blanco carrara

Bronceado costasol

Cenia

Gris Cehegin

Rojo coralito (calizas marmóreas hay negras, marrónes, rojas, rosas)

Ejemplos de travertinos: travertino clásico, travertino oro viejo

Ejemplos de otras rocas de aspecto parecido al mármol: Amarillo Fósil, Cuarcita de Muras, Cuarcita Roja Ayllon. Areniscas: Arenisca de Regumiel, Arenisca del Duero, Arenisca Ojo de Perdiz.

#### **2.3.2.1. Características técnicas**

El 75% del mármol comercial se usa para revestimientos y pavimentos (externos o internos), y el resto se usa en obras civiles, decorativas y artísticas. Las normativas exigen un grado mínimo de dureza Mohs entre 3 y 4 en probetas de 12 x 5 x 1 cm. Para catalogarlo hay que diferenciar los contenidos de calcita y dolomita, y medir el tamaño de grano (mayor o menor de 0.0156mm) para separar las calizas y dolomías marmóreas de los verdaderos mármoles.

Como siempre, los requerimientos técnicos varían para cada aplicación. Por ejemplo, para pavimento exterior hay que medir la resistencia al desgaste, al choque y la microdureza Knoop. Otras características importantes son la absorción de agua, porosidad aparente, coeficiente de dilatación térmica, resistencia a la compresión, flexión, heladicidad y resistencias mecánicas posterior a la misma.

Todos estos ensayos son necesarios para determinar la durabilidad de los mármoles. La durabilidad de los mármoles dependen de su composición mineralógica y de su microestructura (textura o fábrica para los geólogos). A esto hay que añadir los factores externos y la función que va a desempeñar el material en la obra. La durabilidad depende de las proporciones

relativas de calcita y dolomita, de la presencia de minerales fácilmente alterables o solubles. También depende de la microestructura: tamaño y forma de los granos, que van a determinar el contacto entre granos, el tamaño y la cantidad de los poros y la microfisuración, además de la alternancia de minerales y la presencia de distintos tamaños de granos en el bandeado. Los factores ambientales que pueden afectarle son las condiciones térmicas y la humedad. No hay que olvidar que la calcita reacciona con el ácido clorhídrico diluido (lejía) a la hora de buscarle aplicaciones, aunque hoy día se aplican recubrimientos protectores al mármol, algunos de ellos duran toda la vida y otros han de ser reaplicados cada cierto tiempo, para minimizar la agresión de factores externos.

Para tener una idea de la magnitud de las propiedades fisicomecánicas de los mármoles ornamentales, podemos comparar las de un mármol auténtico y las de una caliza:

*Poner tabla características técnicas*

### **2.3.2.2. Explotaciones y principales tipos de mármoles en España**

Los mármoles auténticos se encuentran en la península Ibérica en las zonas de las Cordilleras Béticas y en algunos puntos de Sierra Morena y de los Pirineos. En el conjunto Sierra Nevada - Filabres de las Cordilleras Béticas se encuentran los depósitos más productivos. Estos mármoles son calizas dolomíticas metamórfizadas que contienen distintos niveles de cuarzo, moscovita, cloritas, albita, epidota, anfíboles y otros silicatos que dan lugar a las diferentes variedades comercializadas. Las canteras se sitúan en Macael, Chercos, Líjar y otros lugares de Almería. Los veremos con detalle más adelante.

Entre las calizas que no son verdaderos mármoles pero que se comercializan como tales, se explotan las calizas jurásicas que se encuentran en las zonas externas de las cordilleras béticas, en Granada, Sevilla, Murcia y Alicante. Cabe destacar la Crema Marfil (bioesparita (roca carbonatada formada por restos fósiles unidos por cemento cristalino de esparita) muy apreciada para pavimentos y revestimientos interiores) y el Rojo Alicante, ambas procedentes de Alicante. Las calizas cretácicas se explotan en la provincia de Tarragona y en la Cordillera Cantábrica, donde se encuentra el tipo Negro Marquina de color negro por su contenido en materia orgánica. Las tobas y travertinos se explotan principalmente en Albox, Lucainena y Alhama en la provincia de Almería. Las areniscas se explotan también en la zona sureste (Alicante, Murcia, Almería, Granada y Málaga) y en el norte en Burgos y Soria.

### **2.3.3. Las pizarras**

Desde el punto de vista geológico, recordemos que la pizarra es una roca metamórfica regional (procesos térmicos y esfuerzos de cizallamiento) procedente de sedimentos o rocas arcillosas (principalmente lutitas), con tamaño de grano muy fino y planos de foliación resultantes de la deformación tectónica. Las pizarras han soportado temperaturas del orden de 400°C y presiones de 3 kbar. En estas condiciones, los minerales originales de la lutita (esmectitas y kanditas) dieron lugar a filosilicatos que crecieron en planos perpendiculares a la dirección de los esfuerzos principales. La composición mineralógica incluye los filosilicatos como cloritas y micas, cuarzo y feldespatos, como accesorios se pueden encontrar cloritoide, calcita, siderita,

porifilita, óxidos de hierro, titanio y manganeso, así como materia carbonosa. La textura de las pizarras se denomina lepidoblástica con los silicatos laminares orientados y los granos de cuarzo alargados según los planos de foliación.

Las pizarras tienen fisibilidad suficiente para conseguir capas muy finas que son ligeras, estables e impermeables, por lo que es un material ideal para techar. Ya desde la edad media este material adquiere mucha importancia en Europa central para hacer cubiertas de edificaciones religiosas, militares y civiles de gran relevancia. En España son tradicionalmente empleadas en las zonas rurales del noreste (Pirineos) y el centro. El Monasterio del Escorial (siglo XVI) es el monumento más importante que tiene el techo de pizarra. Se conocen explotaciones de pizarras en suelo español desde finales del siglo XIX, aunque desde el principio es un sector explotado por compañías extranjeras y para exportar a los países europeos. Sólo en los últimos treinta años se han hecho fuertes inversiones de investigación, explotación y comercialización que han colocado a España como primer productor mundial de pizarra con 800.000 toneladas anuales, gran parte de las cuales se elaboran completamente en nuestro país.

El término comercial de pizarra como roca ornamental incluye una mayor variedad de materiales, normalmente con un mayor grado de metamorfismo, tamaño de grano más heterogéneo y composición mineralógica menos abundante en minerales de la arcilla. Diferentes tipos de esquistos que se utilizan para solado y recubrimiento de fachadas y ornamentación son comercializados como pizarras. Sin embargo, la cualidad más valiosa de la pizarra es la aptitud para elaborar placas de techar, y para ello es necesario que sea una pizarra auténtica, de fácil exfoliación, con abundante clorita, finura y homogeneidad del tamaño de grano y ausencia de minerales de rápida alteración como carbonatos y sulfuros.

Algunos ejemplos de pizarras: Valdeorras-Los Molinos *Poner fotos*

#### **2.3.3.1. Características técnicas**

La pizarra se vende como una roca impermeable, inalterable, versátil, de gran belleza y económica, ideal para cubiertas y también para solados y recubrimientos con aspecto rústico. Como acabamos de decir, la principal aplicación de las pizarras es la realización de cubiertas y techos, pero también se utilizan en pavimentos (para empedrar patios y espacios abiertos). En cada caso habrá que aplicar la normativa existente al respecto.

Como placas de techar, se requieren una serie de parámetros fisicomecánicos como el peso específico aparente, capacidad de absorción de agua, resistencia a la flexión, heladicidad, contenido en carbonatos o resistencia a los ácidos. Unos parámetros óptimos para una pizarra de techar son los de la tabla: *Poner tabla*

Para pavimentos, serán importantes otros valores como la elasticidad, la resistencia al desgaste o la resistencia a la compresión.

*Poner tabla comparativa de los tres tipos comerciales de rocas ornamentales*

¡¡¡Ojo!!! Para comparar las características técnicas entre distintas fichas, los parámetros tienen que haberse medido siguiendo los mismos protocolos (normas de ensayos) y los valores tienen que estar dados en las mismas unidades.

#### **2.3.3.2. Explotaciones y principales tipos de pizarras en España**

En el noroeste (Zamora, Leon, Galicia, Asturias) es donde se localizan los principales depósitos de pizarra de la península Ibérica. La formación más destacable de pizarras de esta época geológica es la denominada Pizarras de Luarca, donde se encuentran un buen número de canteras en Valdeorras (Orense), Alto Sil-Anllares (León), Los Oscos (Lugo y Asturias), Quiroga (Lugo), Alcañices (Zamora).

Otras explotaciones se encuentran en Castroverde (Lugo) y Bernardos (Segovia) que son materiales del cámbrico y en Villar del Rey (Badajoz) en materiales devónicos. En la zona sur portuguesa (en la franja pirítica) también se explotan plaquetas de techar y losetas gruesas para pavimento.

#### **2.4. Tecnologías de extracción y elaboración de rocas ornamentales**

En el último siglo se han producido grandes avances en la extracción y elaboración de rocas ornamentales o piedra natural, y esta ha sido posible gracias al desarrollo de materiales cerámicos avanzados. La estrella hoy día es el hilo diamantado, que permite cortar las piedras más duras (granitos) a una buena velocidad sin que se dañe el bloque de piedra y desperdiciando poco material en el corte (el diámetro del hilo es de 5mm). Los hilos diamantados en el mercado son de dos tipos: *Poner fotos* electrodepositados, donde los granos de diamante se electrodepositan en unos anillos de acero, y los hilos impregnados o de concreción donde todo el anillo o perlina es de diamante policristalino sinterizado, resultando de igual calidad que los recubrimientos (capas delgadas) de diamante de los discos de corte. Las perlinas están fijadas en un cable de acero, de caucho o plástico de unos 5 mm de diámetro, dando lugar a un hilo diamantado de un grosor total igual o inferior a 11mm. El *hilo electrodepositado* se utiliza para las rocas más blandas o para cortes pequeños, resultando adecuado para el mármol (se vende como **hilo para mármol**), mientras que el *hilo de concreción* puede cortar todo tipo de piedras y se comercializa como **hilo para granito**. La duración del hilo de concreción suele ser el doble que la del electrodepositado y su precio es menos del doble que el electrodepositado, manteniéndose la velocidad de corte constante durante toda la vida del hilo. Sin embargo, para su utilización requiere aplicar potencias de 40 CV y de 20 a 50 l/min de agua de refrigeración frente a los 25 CV y de 10 a 20 litros de agua de refrigeración. La velocidad de corte que se puede alcanzar también es mayor con el hilo electrodepositado.

*Poner tabla de velocidad de corte con los dos hilos*

##### **2.4.1. La extracción de mármoles y granitos**

El mármol y granito se extrae (siempre que sea posible) en bloques regulares de **3x2x2** metros, que son las medidas que se pueden manejar luego en los telares y máquinas que transformarán estos bloques en piezas u objetos de piedra natural. El peso de estos bloques suele rondar las 30 toneladas.

Para extraer estos bloques, primero hay que crear un *frente de cantera* normalmente realizando grandes voladuras y utilizando máquinas habituales en las actividades extractivas, como las excavadoras con martillo perforador acoplado, retroexcavadoras, perforadoras

múltiples para barrenar, palas cargadoras de ruedas, dumpers para transportar el material, etc. En julio de 2004 Tino Mármoles abrió su último frente de cantera para extraer Blanco Macael, y fue noticia recogida en la prensa. *Poner la noticia de la voladura de Tino Stone Group*

Una vez abierto el frente de dimensiones adecuadas, el corte de los bloques se puede realizar con distintas técnicas. La más utilizada hoy día es el corte con hilo diamantado utilizando una **cortadora de hilo diamantado**. *Poner esquema extracción* Para ello es necesario hacer primero con una perforadora (un martillo perforador hidráulico o neumático donde la herramienta de corte es una corona de carburo de wolframio) una perforación vertical y otra horizontal que se comuniquen. Para conseguir la intersección entre la perforación vertical y la horizontal, se utiliza un "busca-agujeros" que es una sonda que se introduce en la perforación e indica si es suficientemente larga o no y la posición relativa respecto a la sonda que se ha introducido por la otra perforación. Cuando ya están hechas las perforaciones correctamente, hay que introducir el hilo diamantado con la ayuda de poleas como se indica en la figura, y cuanto todo está colocado, se arranca la maquina para hacer que el hilo se mueva y se produzca el corte por el rozamiento de las perlas de diamante con la roca de menor dureza. Es necesaria la refrigeración por agua, el consumo de agua en litros por minuto dependerá del tipo de roca, velocidad de corte y el tipo de hilo. La velocidad de corte es de 2 a 5 m<sup>2</sup>/h para granitos y de 8 a 15 m<sup>2</sup> para mármoles cristalinos. Con esto se realizan los dos cortes verticales de los lados. El corte de la parte posterior se realiza con una **perforadora múltiple**. Este método consiste en hacer perforaciones en línea recta cada 10 cm con un diámetro adecuado para introducir los explosivos que van a romper la roca. La principal desventaja de este método se estropea una capa de material al producirse microfisuras.

Otro método de corte que está en desuso frente al hilo diamantado es la **lanza térmica**: es un soplete de 6 a 8 metros de largo. Son dos tubos concéntricos, por uno circula gasoil y por el otro aire comprimido que quema el gasoil. Al final del tubo hay una tobera por donde salen las ondas de choque y las llamas producidas por la combustión. La roca se va rompiendo por dilatación térmica diferencial de los cristales que la componen. La velocidad de corte en granito es de 1m<sup>2</sup>/h. Los principales inconvenientes de este método son el elevado nivel de ruido que produce y el deterioro del material a ambos lados del corte.

Para rocas con bajo contenido en sílice y una compresión no superior a los 150MPa (1,5 kilobares) (rocas blandas) también se pueden utilizar las **rozadoras de cadena**. El corte se realiza con una correa o cinta que lleva instaladas unas piezas diamantadas o de carburo de wolframio que cortan la roca por rozamiento (mismo principio que el hilo de diamante). La correa está instalada en un brazo móvil montado en un bastidor que puede moverse tanto vertical como horizontalmente para realizar cortes en diferentes direcciones. La profundidad máxima del corte es de 3,4 m y la velocidad de corte depende mucho del tipo de roca, pudiendo llegar hasta 10 m<sup>2</sup>/h. La anchura del corte es de 4 cm y el consumo de agua de 20 l/min.

Otro método que se están ensayando en la actualidad en canteras de granitos muy duros es el **corte por chorro de agua a alta presión**. Se pueden hacer cortes de hasta 6m de profundidad y 30 m de largo. Las velocidades de corte son de 6 m<sup>2</sup>/h en granitos y entre 5 y 8 m<sup>2</sup>/h en

areniscas. El coste de este método es similar al de otros métodos tradicionales, pero se reducen los costes de operación y permite una mayor automatización de las labores con un nivel de ruido mucho menor, mejorándose la seguridad y la salud de los trabajadores.

Otra técnica de corte es el **cemento expansivo**, donde, al igual que para utilizar explosivos, se hacen perforaciones alineadas en el plano de corte y luego se introduce en los agujeros el cemento expansivo, que es una cal que mezclada con agua a 10 o 12 °C provoca una reacción química que crea una gran tensión expansiva (superior a 7000 toneladas) capaz de demoler todo tipo de roca. La ventaja con respecto al uso de explosivos es que las perforaciones pueden estar tres veces más separadas (cada 30 o 40 cm) y que el material no sufre microfisuras. Las desventajas es el elevado coste del cemento expansivo y tiempos de aplicación largos, de unas 24 horas para que se produzca el corte

Una vez cortado, hay que abatir el bloque para poder elevarlo y transportarlo. Este proceso se realiza con un aparato denominado **desbancador**. Es una máquina con dos gatos hidráulicos que se colocan en la pared posterior del bloque y el nuevo frente de la cantera, y se ejerce presión con un motor eléctrico, neumático o diesel. *Poner esquema transparencia anterior*

Para la carga en los dumpers que los transportan hasta la planta de transformación se utilizan palas cargadoras o grúas derrick fijas con brazos de hasta 80 metros de largo.

Otra forma de trabajar es el denominado Método Finlandés, que consiste en separar bloques de gran tamaño (80x8x6 m) mediante voladuras de contorno, y luego subdividirlo por medio de perforadoras y cuñas manuales o hidráulicas en bloques del tamaño deseado.

Otros útiles y herramientas habituales en las canteras son:

- Aspiradores de polvo para recoger la gran cantidad de polvo que se genera y mejorar las condiciones de trabajo
- Detectores de fisuras y grietas por ultrasonidos.
- Bancos de trabajo para montar los hilos diamantados
- Afiladoras para las coronas de perforación

#### **2.4.2. La extracción de pizarras y piedras de cantería**

La pizarra, al ser una roca fácilmente exfoliable requiere unos métodos de extracción algo diferentes. Las explotaciones de pizarra pueden ser a cielo abierto y también subterráneas. El inconveniente de hacer una explotación a cielo abierto son los importantes desmontes que hay que hacer, pero éste es el tipo de cantera de pizarra más generalizado en España: canteras a cielo abierto por bancos descendentes. *Poner fotos canteras*

Para hacer una cantera de este tipo, primero hay que quitar con excavadoras de orugas toda la parte estéril que se pueda. Luego hay que eliminar mediante perforaciones y voladuras el resto de material no aprovechable hasta alcanzar la pizarra explotable. En ese punto, se abren varias trincheras para situar la maquinaria de arranque, que hoy día suelen ser máquinas cortadoras de hilo diamantado y rozadoras de brazo. Los cortes se realizan a favor de los planos de exfoliación y los bloques obtenidos se denominan "rachón", que pueden llegar a pesar varias toneladas. *Poner fotos* Una vez despegado el bloque de pizarra del frente de la

cantera, se utilizan cargan en camiones con una pala cargadora para trasladarlo a la nave de elaboración.

Si lo que se pretende es obtener lajas para piedras de cantería, se suelen utilizar palas excavadoras para arrancarlas a favor de los planos de exfoliación y el barrenado con explosivos. Luego se separan masas más pequeñas con cuñas manuales y se clasifican las piezas según tamaños, grosores y calidades.

### **2.4.3. Tecnologías para la elaboración y el diseño**

La transformación y elaboración de la piedra natural también ha alcanzado un grado de desarrollo tecnológico sorprendente en los últimos tiempos, como consecuencia de la mejora de las herramientas de corte y de un mayor conocimiento del material que se está trabajando, que ha permitido desarrollar nuevas técnicas de acabados. También se han automatizado los procesos, lo que ha permitido reducir los costes de elaboración. El objetivo es conseguir principalmente materiales laminados para recubrimientos, pero también piezas de diseño, esculturas, mobiliario urbano, lámparas, mesas, sillas, chimeneas, etc.

Los materiales procedentes de las canteras hay que elaborarlos, someterlos a distintos procesos de transformación, para obtener los productos de rocas ornamentales que salen al mercado. Los productos que llegan de las canteras pueden dividirse en tres grupos: *Bloques escuadrados, bloques informes y material sobrante.* *Poner fotos bloques* De los bloques escuadrados, con forma de paralelepípedo regular, se extraen principalmente paneles laminados de unos cuantos centímetros de espesor y una gran diversidad de tamaños. Los bloques con geometría irregular pueden utilizarse para obtener objetos decorativos o cuerpos voluminosos donde es necesario desperdiciar parte del material. Los sobrantes, son los productos derivados de la actividad extractiva, materiales granulares de distintos tamaños de grano que también se producen durante los procesos de elaboración de la piedra y que también pueden comercializarse.

Vamos a ver las principales tecnologías que se emplean en la elaboración de los materiales procedentes de las canteras.

#### **2.2.5.1. Elaboración de bloques escuadrados**

Las etapas del ciclo de elaboración son: Escuadrado, Aserrado con telar, Corte con cortabloques, Tratamiento superficial, Corte a medida y Acabado.

##### **1) Escuadrado:**

Este proceso consiste en hacer los bloques procedentes de las canteras más regulares, y a veces se realiza al pie de la cantera para evitar el transporte de partes inútiles hasta la fábrica. Para ello se utilizan fundamentalmente dos máquinas:

- la monolama (telar de un solo hilo o fleje): se utiliza normalmente para mármol y travertino. La monolama es un armazón de sustentación de acero formado por cuatro columnas y un marco donde se colocan y tensan los flejes y una biela que proporciona movimientos de avance y retroceso al marco portaflejes. Los flejes son cintas planas de acero de alta resistencia a la tracción.

- Cortadoras de hilo diamantado: consiste en un armazón de acero y dos poleas o volantes de gran diámetro para guiar y tensar el hilo diamantado.

## **2) Aserrado con telar:**

Los bloques escuadrados, cuyas dimensiones óptimas son 3,20x2x1,8 m, se introducen en los telares de donde salen **tableros** principalmente de 2 y 3 cm de espesor. *Poner fotos* En un telar se pueden colocar normalmente entre 70 y 100 flejes o hilos de corte. Hay dos tipos de telares: los **telares de flejes diamantados y movimiento rectilíneo horizontal vertical**, donde los flejes son chapas de acero de longitud y anchura variable sobre las que se han soldado perlinas de diamante, los flejes están colocados en posición vertical y el movimiento es rectilíneo horizontal. La velocidad de avance de los flejes sobre el bloque es de unos 40 cm/h, aunque depende del tipo de roca. Estos telares se utilizan para el aserrado de mármoles, travertinos y otras calizas marmóreas. Con el granito no se obtienen resultados satisfactorios. El segundo tipo son los **telares con flejes de acero de movimiento oscilante**, en este caso, los flejes no son diamantados, el aserrado se consigue mediante un desplazamiento de forma oscilante añadiendo una masa abrasiva formada por granalla de acero (bolitas de apenas un milímetro de diámetro) o algún otro aditivo abrasivo. La granalla se utiliza normalmente para el corte de granitos, mientras que para el corte de mármol se utiliza arena silíceas, que minimiza las fracturas. La velocidad de avance está en 4cm/h, diez veces menor que los telares de flejes diamantados, pero aquí el número de flejes por telar es mayor y se acaban cortando más tableros. Hace pocos años, la velocidad de corte de estos telares de movimiento oscilante era de 4mm/h.

También existen telares con hilos diamantados utilizados sobre todo para granitos. Las velocidades de corte varían entre 1 m<sup>2</sup>/h para granitos y 4m<sup>2</sup>/h para mármoles. Este sistema de corte permite realizar cortes verticales, horizontales y con formas curvilíneas incorporándole un dispositivo de control numérico computerizado, y se prevé que máquinas de este tipo con hasta 70 hilos de corte sustituyan pronto a los telares.

## **3) Tratamientos superficiales (o acabados superficiales):**

Una vez obtenidos los tableros, se le aplican los denominados tratamientos o acabados superficiales, que son todas las operaciones realizadas sobre el tablero para darle distintas propiedades estéticas (apariencia, propiedades ópticas: brillo, opacidad, apariencia envejecida, antideslizamiento, etc.). Estos tratamientos influyen enormemente en el aspecto visual del producto, y por eso suelen aplicarse principalmente por la cara vista, pero también modifican las propiedades físicas (características técnicas) de la piedra, ya que puede darle propiedades antideslizantes (requeridas para un pavimento de exterior), y pueden modificar la acción de los agentes medioambientales al modificar la rugosidad o la composición de la superficie de la piedra.

Los principales tratamientos superficiales son: apomazado, pulido, abujardado, flameado, arenado, estucado y resinado. En la aplicación de estos tratamientos, la piedra va a sufrir tensiones mecánicas y/o térmicas importantes, por lo que no todas las piedras soportan todos los tipos de acabados. *Poner tabla* Por lo general, todas las piedras comercializadas como granitos soportan todos los tratamientos, los mármoles auténticos no soportan bien el

choque térmico del flameado. Hay piedras que no soportan el pulido. El resinado y estucado sólo es necesario para piedras poco resistentes con porosidades muy altas.

El **apomazado** es el primer tratamiento que se aplica a todos los tableros procedentes de los telares y sirve para alisar la superficie eliminando los defectos o rugosidades que han quedado tras el corte. La apariencia es de un pulido sin brillo. Para ello se utilizan pulidoras, las mismas máquinas que para pulir. *Poner fotos pulidoras* Las pulidoras son máquinas con cabezales que al moverse frotran enérgicamente la sustancia abrasiva contra el material para desgastarlo. En la elaboración de rocas ornamentales se utilizan principalmente pulidoras puente, de cinta y manuales. Las pulidoras puente la viga pulidora recorre la superficie del tablero, mientras que en las de cinta es el tablero es que pasa debajo de los cabezales pulidores arrastrado por una cinta transportadora. La diferencia entre apomazado y pulido es que el tamaño de grano del abrasivo es mayor para el apomazado. El abrasivo que se está imponiendo para este tratamiento superficial es el diamante sintético (material cerámico avanzado). Los tableros con este acabado ya se utilizan en revestimientos verticales y pavimentaciones interiores que no estén expuestas al agua.

El **pulido** consiste en obtener una superficie lisa y reflectante. El nivel máximo de pulido se denomina “pulido a espejo”, ya que en estas condiciones se alcanza la reflexión de la luz en una superficie completamente lisa. (Las superficies rugosas adsorben la luz, son opacas, mientras que las lisas, esto es, sin rugosidad incluso a nivel nanométrico la reflejan presentando un aspecto brillante). Para alcanzar este nivel de pulido hay que pulir el tablero varias veces cada vez con un abrasivo de tamaño de grano más pequeño. Las rugosidades que va a eliminar y al mismo tiempo puede crear el abrasivo depende del tamaño de grano de las partículas que están desgastando la piedra. El pulido es el tratamiento que más realza la belleza de la piedra natural y por ello el más utilizado tradicionalmente, aunque en la actualidad existe una tendencia a recuperar el concepto histórico de piedra como algo natural, creciendo la demanda de piedras sin pulir. Esto ha hecho que piedras que no admiten pulido como las areniscas, calizas y cuarcitas estén ahora mejor valoradas en detrimento del granito.

El **abujardado** es un tratamiento superficial donde se consigue una superficie rugosa mediante golpeo con una bujarda, que es un martillo que tiene relieves piramidales en la cara de golpeo. Se pueden utilizar distintos tamaños de pirámides para obtener distintos grados de abujardado. Para este acabado se utilizan abujardadoras, que son martillos neumáticos con la bujarda en el extremo y el tablero se pasa mediante un carro motorizado por debajo del brazo del martillo.

El **flameado** es un tratamiento con lanza térmica que produce una superficie muy basta e irregular. Es un tratamiento adecuado sobre todo para granitos y similares. El choque térmico provoca la expulsión de micas y hace que la superficie se vuelva rugosa con la retícula cristalina más visible. Las máquinas se denominan flameadoras, *Poner foto* y su componente principal es un soplete móvil de oxipropano que lanza una llama a elevada temperatura, entre 900 y 1000 °C. Para piedras que no admiten flameado, se están desarrollando métodos alternativos para obtener resultados similares, como el *chorro de agua a alta presión* con presiones adecuadas para no cortar la piedra, o el *plasma térmico*, donde deben alcanzarse temperaturas de hasta 20.000 °C pero el tiempo de aplicación debe ser muy

pequeño para no derretir todo, lo que se consigue es una textura parecida al flameado y con una ligera vitrificación de la superficie que sirve de capa impermeabilizante. El plasma térmico puede cambiar los colores de la piedra y en algunos casos aumenta su valor estético.

El **arenado** consiste en tratar la superficie con un chorro de arena a alta presión, con lo que se consigue una superficie áspera (no muy rugosa).

El **estucado** se aplica en piedras con poros o defectos superficiales, y consiste en rellenar estos defectos para que la cara vista de la piedra aparezca lisa y sin discontinuidades. Para ello se emplean estucadoras, que son parecidas a las pulidoras de cinta, pero en vez de un abrasivo se coloca una pasta cerámica adecuada para rellenar. Una vez aplicado, hay que esperar tres días o más para conseguir un secado adecuado y poder pasar a tratamientos posteriores como el pulido y corte del producto final.

En vez de utilizar una pasta cerámica, hoy día también se utilizan resinas (materiales poliméricos orgánicos)

El **resinado** (aplicar resinas, materiales poliméricos orgánicos) se aplica por la cara posterior del tablero en calizas marmóreas poco compactas para aumentar la rigidez del producto. Normalmente se añade una red de plástico como refuerzo, lo que mejora las características mecánicas del tablero. Por la cara vista también se aplican resinas, para rellenar defectos superficiales por la cara vista (análogo al estucado) en travertinos y similares, o se aplica una capa delgada de resina a toda la cara vista para modificar las propiedades estéticas de la piedra. Este tratamiento también reduce la absorción de agua (la resina penetra por las microgrietas de la piedra no quedando lugar para el agua), por lo que a veces se aplica en granitos para evitar que la piedra se rompa como consecuencia de la congelación del agua alojada en las microfisuras naturales del granito. Las resinas se aplican con una plana o llana, con pistola, con rodillos, brochas, etc. dependiendo de la viscosidad de la resina y el tratamiento de curado que necesite.

Otros acabados que se realizan de forma manual en determinadas clases de piedras son: escafilado, raspado, lajado, exfoliado, partido y apiconado. Las empresas que elaboran productos de piedra natural están constantemente desarrollando nuevas tecnologías y máquinas que proporcionen nuevos acabados para sacar nuevos productos al mercado (la misma piedra pero con caras distintas).

#### **4) Corte a medida:**

Una vez se tiene el tablero con el acabado deseado, hay que cortarlo en piezas del tamaño y forma requeridos. Normalmente el corte se realiza con discos diamantados en distintos tipos de máquinas: cortadoras de puente (disco sujeto a una viga de acero que lo desplaza por el tablero) cortadora multidisco continua (se utilizan varios discos a la vez que también pueden producir cortes a escuadra), cortadora multidisco con banco giratorio (puente multidisco móvil y banco giratorio que permite hacer cortes ortogonales), cortadora de brazo o columna (el disco está fijo en un grupo motor y el banco es móvil, es la máquina más tradicional). También se pueden realizar cortes de gran precisión con agua a alta presión mezclada con sustancias abrasivas.

#### **5) Acabado:**

Para obtener el producto final, todavía hay que realizar el tratamiento superficial de los cantos, los taladros para alojar los anclajes, etc. el acabado del producto. Para ello se utilizan máquinas pulicantos y máquinas taladradoras o ranuradoras. Las máquinas pulicantos disponen de una serie de cabezas con productos abrasivos para producir el mismo efecto que el acabado superficial que se le ha dado al tablero (apomazado, pulido, flameado, abujardado, etc.) y también achaflanar los bordes o biselan la zona cercana al borde, o le dan una forma especial, como a los bordes redondeados de escaleras o de encimeras de cocina. La ranuradoras tienen utillaje diverso para realizar en los cantos las ranuras y huecos necesarios para alojar a los anclajes con los que se va a colocar la piedra en fachadas.

*Poner esquema de ranuras*

#### **2.4.3.2. Elaboración de bloques informes**

Los bloques pequeños o informes reciben un tratamiento diferente porque para este tipo de bloques no es rentable la utilización del telar. Se utilizan entonces “cortabloques” para alturas de hasta 60 cm. Un cortabloques es una máquina que tiene varios discos verticales separados a la distancia apropiada para el espesor deseado para el tablero y un disco horizontal que es el que finalmente saca las piezas aplanadas. *Poner foto* Existen dos tipos de máquinas cortabloques: las de 2 columnas donde es el carro que porta el bloque el que avanza, y las de 4 columnas donde se mueve el carro donde están situados los cabezales. La altura del corte está limitada por el radio del disco diamantado en 60 cm, por lo que las piezas extraídas se llaman bandas o tiras al tener un espesor de unos cuantos centímetros, 60 cm de anchas y la largura del bloque original. Del mármol también se sacan barras, que luego se hacen tiras con una maquina desdobladora con discos diamantados situados verticalmente.

A las bandas o tiras se les aplican tratamientos para obtener escalones, alfeizares, umbrales y otros productos de este tipo. Los tratamientos que se aplican son: *encabezado* (cortar las cabezas para obtener una forma regular e idéntica para todas las tiras), *tratamiento superficial* como los descritos para los bloques regulares (apomazado, pulido, abujardado, flameado, arenado, estucado, ...) y *acabado* (pulicantos, biselado, tratamientos de la superficie posterior para mejorar la colocación en obra, y la realización de trabajos especiales como cortes especiales para rodapiés, decoraciones elaboradas de revestimientos y pavimentos para lo que se utilizan contorneadoras y perfiladoras, o cortadoras de chorro de agua donde se puede programar la dirección del corte y hacer los diseños más complicados que se puedan imaginar, y luego puede que haya que realizar el encastrado de los elementos recortados para tener el producto final acabado. *Poner fotos de encastrados*

#### **2.4.3.3. Elaboración de los sobrantes**

Los materiales procedentes de sobrantes de las canteras hay que clasificarlos por tamaños y los trozos mayores pueden ser utilizados para la fabricación de fragmentos para distintos tipos de pavimentaciones utilizando máquinas como las descritas anteriormente pero que suelen ser manuales. También se utilizan máquinas machacadoras y distintos tipos de molinos industriales para disminuir el tamaño de grano hasta el tamaño adecuado para la comercialización de los subproductos (gravas, arenas, carbonato cálcico en polvo

(micronizado), etc.). Estos productos granulares también se utilizan para recubrir suelos y paredes. *Poner fotos*

#### 2.4.3.4. Elaboración de pizarras

*Poner dibujos* El proceso de transformación de la pizarra comienza dividiendo los bloques procedentes de las canteras (rachones, de forma y tamaño bastante irregular) en otros bloques de espesor entre 30 y 35 cm. Para esta operación de **exfoliación primaria** se utilizan martillos neumáticos con pica plana. El segundo paso es el **aserrado**, donde con sierras de disco se cortan los bloques en tamaños mucho más pequeños, apropiados para sacar los distintos formatos comerciales. Estos bloques pequeños se almacenan sumergidos en agua hasta que pasan al siguiente paso, el labrado. El **labrado** consiste en conseguir placas de entre 3 y 6 mm, según la aplicación a la que van destinadas. Para el labrado se realiza sobre un banco apropiado utilizando una uñeta y un martillo (es un proceso manual), primero se divide el bloque (de unos 30 cm de espesor) en lajas de unos 3 cm y luego ya se sacan las placas del espesor comercial (por lo general entre 3 y 6 mm). Por último, se realiza el **cortado**, donde se le da a la placa la forma final, se biselan los bordes para evitar la penetración de agua de lluvia con viento y se perforan las placas para su colocación. Para esto se utilizan tijeras y troqueles manuales y otras herramientas de corte automáticas. Tras el cortado se realiza una selección y clasificación de las piezas de distintos tamaños utilizando plantillas estandarizadas. La pizarra se comercializa en diversos formatos. *Poner formatos comerciales* Aunque todos estos procesos están experimentando una progresiva mecanización, hoy día siguen siendo en su mayoría manuales.

#### 2.4.4. Ensayos de alterabilidad de las piedras naturales

La **durabilidad** de las rocas ornamentales en sus aplicaciones está determinada por su **alterabilidad en el ambiente en el que se encuentre colocada**, y la alterabilidad de las rocas ornamentales depende básicamente de *la composición química* y la *microestructura* (tamaño de grano y distribución de esos granos en el volumen de la roca, contacto entre granos, fases vítreas entre los granos, etc.). Los agentes ambientales más agresivos son los cambios cíclicos de temperatura (día y noche, invierno y verano), los cuales normalmente van asociados a cambios de humedad. El agua combinada con temperaturas por debajo de 0 °C es muy perjudicial.

Las características de las rocas son similares entre todas las rocas de una misma variedad. En la norma europea EN 12670 "Terminología de Piedra Natural", se recogen las distintas variedades de rocas con características y propiedades similares: ígneas, areniscas, calizas, serpentinas, mármoles y pizarras. Para cada uno de estos tipos de roca se recomienda hacer cierto tipo de ensayos, como se puede ver en el *cuadro resumen*.

Los ensayos de alterabilidad son: Choque térmico, Cristalización de sales, Absorción de agua (a presión atmosférica o por capilaridad), eflorescencia, descohesión granular, ensayo de SO<sub>2</sub> en presencia de H<sub>2</sub>O, Inmersión en ácido sulfúrico y heladicidad.

Vamos a ver cuales son estos ensayos de alterabilidad para las distintas variedades de rocas. (*cuadro resumen*) Los ensayos de absorción de agua se realizan en todo tipo de rocas. El

ensayo de heladicidad se hace en todo tipo de rocas siempre que se vayan a colocar en lugares donde se produzcan heladas.

### ***Rocas ígneas:***

Recordamos las características: Rocas graníticas, sienita, diorita, gabro, etc. son rocas con granos monocristalinos que pueden ser de gran tamaño y gran dureza. El punto débil está en las zonas entre granos y en las propiedades físicas diferenciales de los distintos tipos de granos, y en los minerales metálicos que se pueden oxidar.

Se recomienda: - el ensayo de choque térmico descrito en el proyecto de norma europea Pr EN 14066 (el choque térmico es entre 105°C en un horno con circulación de aire y enfriar bruscamente con agua destilada a 20°C, 20 ciclos). De este modo se averigua si los minerales metálicos (pirita, calcopirita, marcasita, pirrotina, etc.) van a producir manchas de oxidación o no. - Ensayo de SO<sub>2</sub> de acuerdo con la norma UNE-EN13919 para evaluar el comportamiento del material en atmósferas muy contaminadas. El ensayo consiste en poner las probetas bien húmedas (tras estar 24 h en agua) sobre una atmósfera de ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) a 20 °C y dejarlas allí 21 días. Suelen aparecer cambios de color, exfoliaciones, descascarillados o erosión en las aristas.

### ***Areniscas:***

Son rocas sedimentarias formadas por sedimentos detríticos cuya composición mayoritaria es cuarzo, feldespato y fragmentos de otras rocas, con algún aglutinante como elemento de cementación. Ataque entre granos, al cemento que suele ser calizo.

Se recomienda realizar: - Ensayos de inmersión en ácido sulfúrico. Este es un ensayo no normalizado (hasta el 2001), pero está descrito en K. S. Ross y R.N. Burlin, Durability test for building stone (BRE) 1989. Consiste en introducir la piedra en una disolución de ácido sulfúrico durante 10 días. - Ensayo de cristalización de sales: según el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 12370. En este ensayo se mide la pérdida de peso que se produce después de realizar una serie de ciclos de inmersión en una solución saturada de sulfato sódico y posterior secado en estufa. Este ensayo se requiere siempre que se vaya a utilizar la arenisca en condiciones muy agresivas, como zonas costeras con fuerte contaminación. -Ensayo de absorción de agua (UNE-EN 13755 y por capilaridad UNE-EN 1925)

### ***Calizas:***

Calizas son rocas sedimentarias, a veces con cierto grado de metamorfismo (calizas marmóreas). Tamaño de grano más pequeño, compuestas principalmente por carbonato cálcico o magnesico (calcita y dolomita). Al ser sedimentarias tienen abundantes restos fósiles, sales, óxidos metálicos y sulfuros.

Se recomienda hacer - ensayos de cristalización de sales según el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 12370. Los resultados de este ensayo también permiten determinar el comportamiento de la roca ante las heladas. Dependiendo de la pérdida de peso que se obtenga se podrá utilizar la roca o no en determinados lugares y aplicaciones. *Poner tabla de*

*pérdidas de peso admitidas* . - Ensayo de absorción de agua, (UNE-En 13755) lo que junto con el ensayo de heladicidad (UNE-EN 12371) va a indicarnos la durabilidad de la roca.

### **Serpentinas:**

Son rocas metamórficas que pueden contener sales de muy alta solubilidad, por lo que en estas rocas suelen aparecer eflorescencias superficiales, que son manchas generalmente blanquecinas producidas por la cristalización de sales solubles arrastradas por el agua hacia el exterior en los ciclos de humectación y secado. Son manchas estéticamente muy feas y muy difíciles de eliminar. Por tanto, es aconsejable realizar un ensayo de eflorescencia para averiguar si las sales van a salir a la superficie con facilidad (para cerámicas: UNE 67029). También es importante hacer los ensayos de absorción de agua.

### **Mármoles:**

Los mármoles auténticos son rocas metamórficas (calizas recristalizadas) con granos de calcita muy compactados. En piezas grandes (más de 1 m de longitud) de mármoles, los granos de calcita pueden perder su cohesión y sufrir importantes deformaciones. Esto es debido al efecto de los cambios de temperatura en los cristales de calcita. Por tanto, se recomienda: - Ensayo de descohesión granular según procedimiento descrito en normas europeas (no he localizado la norma), - ensayo de choque térmico para evaluar los eventuales cambios de coloración, - ensayos de absorción de agua

### **Pizarras:**

Son rocas metamórficas procedentes de rocas sedimentarias de tamaño de grano muy fino (arcillas y limos). Se aconsejan realizar ensayos de SO<sub>2</sub>, choque térmico y absorción de agua según el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 12326-2. También se puede hacer el ensayo de SO<sub>2</sub> en presencia de agua (UNE-EN 13919) para ver las posibles alteraciones en zonas cercanas a los polos o a polígonos industriales.

En todas las rocas que se vayan a situar en lugares donde hiele con frecuencia, es aconsejable el ensayo de heladicidad normalizado para piedra natural en la norma UNE EN 12371. Para determinar si este ensayo es necesario o no, hay que calcular el **índice de hielo** del lugar donde se va a colocar la piedra. El índice de hielo es proporcional al daño que van a producir las heladas en la roca durante un año. El índice de hielo es un promedio de las temperaturas mínimas por debajo de -5°C que se han alcanzado en un periodo característico de 30 años.

$$I_g = (\sum_0^i T_{\min} (<-5^\circ\text{C}))/30 \quad \text{índice de hielo característico}$$

$T_{\min} (<-5^\circ\text{C})$  es la temperatura mínima alcanzada en el lugar, que se sumará sólo si ha sido menor de -5°C.  $i$  sería el número de días de los 30 años (10950 días como máximo) que ha bajado la temperatura por debajo de -5°C, y se divide por 30 porque queremos estimar el daño que sufre la roca por heladas en un año (si se meten datos de 30 años se divide por 30). Si no se tienen datos de los 30 años, el índice de hielo (que ya no va a ser característico) se calcula haciendo el promedio para el número de años que se tengan datos y se dividiría por ese número de años. El **índice de hielo** es siempre el **promedio de todas las temperaturas por**

**debajo de -5°C que ha habido en un año.** Los valores numéricos del índice de hielo dependen mucho de las temperaturas mínimas del lugar y cambiarán ligeramente dependiendo del número de años que promediamos (mientras más mejor). *Señalar valores en la tabla*

El número de ciclos que hay que realizar en el ensayo de heladicidad se calcula multiplicando el índice de hielo por el número de años que se quiere que dure la obra, así se estima el daño que las heladas pueden causar en ese período. Como los ensayos de heladicidad se realizan a -15°C, el número de ciclos del ensayo de heladicidad será:  $N = ((lg * n) / 15) K$  donde n es el número de años que va a durar la obra, y K es un factor para tener en cuenta la función que el material va a desempeñar en la obra. ( $K \leq 1$ ) *Poner tabla valores K* Cuando se incluyen los resultados de un ensayo de heladicidad en una ficha técnica (como propiedad característica de una piedra natural), se pone  $K = 1$ , que es el caso más desfavorable. La norma también indica que el número de ciclos máximo será de 240, y cuando  $N < 10$  no será necesario realizar el ensayo de heladicidad.

Tras realizar los ensayos de heladicidad, puede que aparezcan deformaciones, manchas o defectos observables a simple vista, aún cuando no se aprecien defectos a simple vista, será necesario realizar de nuevo los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de la piedra (pérdida de volumen, pérdida de masa, pérdida de resistencia a la flexión o compresión, frecuencia de resonancia, etc.).

*En las prácticas profundizaremos más en los tipos de ensayos que se realizan en las rocas ornamentales, tanto de alterabilidad como para determinar las características técnicas. Para completar esta parte es conveniente echarle un vistazo a un catálogo de rocas ornamentales con sus fichas técnicas. Algunas se pueden ver en la presentación RocasOrnamentales.ppt.*

## **2.5. Mármoles de Macael**

Dado que la extracción y elaboración de piedra natural aquí en Almería es un sector muy importante, destacando sobre todo la explotación del mármol, vamos a ver más detenidamente los productos que se están extrayendo, elaborando y comercializando en la comarca de Macael. La Fundación Macael editó un libro en el año 2000 donde se describen todas las variedades de piedra natural explotadas en Macael, y se dan recomendaciones sobre el diseño y la colocación de productos de piedra natural: "Mármoles de Macael: diseño y colocación" por D. Fernando López Mesones. Siguiendo este libro, vamos a profundizar un poco en las rocas ornamentales que se explotan al norte de la provincia de Almería.

### **2.5.1. Origen e historia de los mármoles de Macael**

La extracción de piedra natural con fines ornamentales ha existido en la Comarca del Mármol de Macael desde hace milenios. Los mármoles de Macael ya tenían fama en el siglo I a.C.: han aparecido losas, lápidas y elementos decorativos de mármol blanco de Macael en yacimientos arqueológicos romanos de Tarragona, Sagunto e Itálica. *Poner fotos* Con los árabes se inician explotaciones continuadas en los yacimientos, y el mármol de Macael adquiere un gran prestigio por su alto valor estético y excelentes propiedades tecnológicas, se comercializa con el nombre "Al-maluki" (el Real). En los siglos XII y XIII, los mármoles de Macael se

utilizaron para la construcción de palacios como el Alcázar de Medina-Azahara (Cordoba) y la Alhambra de Granada. Ya en el siglo XVI arquitectos italianos construyen castillos como el de Calahorra (Granada) y Vélez Blanco (Almería), dándole una proyección internacional a los mármoles de Macael. En esa época también se construye el palacio de Carlos V en Granada y la catedral de Sevilla y la de Jaén. Los mármoles de Macael adquieren tal fama que viajan por toda la península para la realización de numerosos monumentos. Los reyes los requieren para realizar la Iglesia principal del Monasterio de San Lorenzo el Real (siglo XVI) o para el Palacio Real de Madrid (siglo XVIII). Ya en el siglo XIX se realiza la capilla de San Miguel de la catedral de Granada, y en el siglo XX las obras arquitectónicas con mármoles de Macael son innumerables. Cabe destacar por su simbolismo, el monumento a la Constitución Española de Madrid erigido en 1982.

El buen estado de conservación de los mármoles de Macael a través de los siglos es una prueba irrefutable de la gran calidad tecnológica que tienen estos materiales, y la belleza arquitectónica de los monumentos históricos resaltan el valor estético de los materiales utilizados. Cada día que pasa estos monumentos están haciendo que aumente el reconocimiento y la fama de los mármoles de Macael, cuyas características más valoradas son: belleza y durabilidad.

### **2.5.2. Marco geográfico y geológico**

La comarca de Macael se encuentra en la provincia de Almería, en la parte nororiental de la sierra de los Filabres y está atravesada por el río Almanzora. Las ciudades más cercanas a la Comarca son Almería, Granada y Murcia, con las que se encuentra bien comunicada por carretera. *Poner mapa*

La sierra de los Filabres se sitúa en la parte centro-oriental de las cordilleras Béticas, en la denominada zona Bética. Esta zona de la península ibérica es el resultado de diversos cabalgamientos que han dado lugar a cuatro complejos montañosos, uno de los cuales se denomina complejo Nevado-Filábride, donde se sitúa la comarca. En el complejo Nevado-Filábride se encuentran diferentes formaciones rocosas. En una de ellas, denominada “Las Casas”, se sitúan las canteras de Macael, que explotan toda una serie de rocas carbonatadas.

La estructura de los yacimientos es bastante compleja (vetas de distintos materiales mezclados), pero en la actualidad se conoce muy bien ya que se ha realizado un gran esfuerzo para estudiar y localizar las masas canterables. En estos últimos años se han realizado más de 4500 metros de sondeo que han permitido asegurar los suministros de mármol calidad Macael por muchos años, cosa que no todas las canteras pueden ofrecer al consumidor. Las investigaciones han permitido localizar dos unidades tectónicas: la inferior y la superior. La unidad tectónica inferior está constituida por una capa de mármoles blancos y dolomíticos cuya potencia varía entre los 20 y los 40 m, está situada en las zonas Río-Macael, Espejo y Australia. Esta unidad está muy abajo, por lo que se está estudiando la viabilidad de desarrollar explotaciones subterráneas para minimizar el impacto ambiental. En la unidad tectónica superior la potencia media es de 10 a 25 m, pero la estructura es mucho más compleja, pudiéndose distinguir varias zonas, como las denominadas Puntillas o Gran Parada, donde se

sitúan hoy día la mayoría de las canteras de los mármoles de Macael. De la zona de extracción reciben el nombre comercial muchos de los mármoles de Macael, como Blanco Macael Río, Amarillo Macael Río, Verde Macael Filabres, etc.

Los empresarios de Macael también explotan otras canteras de la provincia, como las de travertinos de la zona de Alhama de Almería y Albox. Últimamente también se están explotando materiales esquistosos, abundantes en la comarca, bajo la denominación genérica de Piedra Rústica. Este material presenta una superficie en basto de gran belleza y excelentes propiedades tecnológicas.

### **2.5.3. Los productos de Mármol de Macael**

La experiencia en la extracción y elaboración de la piedra natural acumulada con el tiempo en la Comarca de Macael y el reciente impulso tecnológico que se le ha dado al sector ha permitido que los mármoles de Macael se encuentren en primera línea en los mercados mundiales. En concreto hay dos empresas con clara proyección internacional: Cosentino, líder en el sector de los laminados (Silestone, encimeras de cocina, baños, etc.), y Tino Stone (Tino Mármoles) más especializados en decoración en piedra natural. Hoy día, el desarrollo de la industria de extracción y elaboración de rocas ornamentales en la Comarca del Mármol de Macael es tal que se importan muchas variedades de piedras de diferentes partes del mundo (China, Turquía, Brasil, Argentina, etc.) para ser elaboradas aquí, lo que le da calidad y garantía a estos productos.

Macael hoy día es un sello de calidad, y por eso la marca “Macael” se encuentra inscrita en el registro oficial de Patentes y Marcas del ministerio de Industria y Energía. *Poner logotipo*

El concepto de Mármol de Macael abarca a un amplio abanico de distintas variedades de piedra cuya elaboración se realiza dentro de la comarca de Macael.

Las rocas ornamentales elaboradas en Macael se clasifican en 8 grupos: Mármoles blancos, Mármoles grises, Mármoles amarillos, Mármoles verdes, Mármoles cremas o marrones, Travertinos, Piedras rústicas y Variedades tradicionales. *Poner tabla y fichas*

Se elaboran toda clase de placas para revestimientos de fachadas y pavimentos, exteriores e interiores, y también otra serie de productos con gran valor añadido, como son:

- Elementos de decoración: chimeneas, encimeras de cocina, fregaderos, baños, columnas, balustradas de escaleras o balcones, fuentes, mesas, cenefas y otras piezas especiales.

*Poner fotos* Los productos se someten a controles de calidad durante el proceso de fabricación, lo que garantiza las prestaciones funcionales que se requieren en la obra.

- Piedra envejecida: aplicando procesos industriales que se investigan y patentan en Macael se consiguen elevar el valor estético y tecnológico del producto. Existen numerosos diseños, en tamaños y textura superficial y dibujos en bajorelieve inspirados en pavimentos antiguos de nuestro patrimonio cultural. *Poner fotos*

- Grupos escultóricos: en Macael hay una escuela de formación profesional para el labrado y tallado de la piedra que realiza numerosos grupos escultóricos de gran belleza que se comercializan por todo el mundo. Además de las esculturas propiamente dichas, también se

elaboran piezas de ornamentación especiales bajo pedido con cualquier diseño que se solicite, e incluso se realizan diseños particulares si así se demandan. *Poner fotos*

- Planta de triturados: la Asociación de Empresarios ha creado una planta de triturado para aprovechar los residuos procedentes de la extracción y elaboración del mármol. Los triturados se venden clasificados por tamaños con las siguientes denominaciones: *Poner tabla*

Algunas aplicaciones industriales de estos triturados son: adhesivos, piensos compuestos, bankers de campos de golf, jardines, carga de extintotes, cemento cola y cemento blanco, mármol aglomerado, pavimentos artísticos, prefabricados de hormigón, terrazos, decoración de jardines, revestimiento de fachadas, etc.

La Sociedad Administradora de la Marca Mármol de Macael también se encarga de publicar catálogos con las propiedades técnicas de los distintos productos, en cuanto a variedades y acabados, así como de hacer recomendaciones para la puesta en obra de sus productos. Se confeccionan fichas individualizadas de cada variedad que contienen una fotografía de la piedra, sus características físico-mecánicas y los espesores recomendados para los diferentes usos. Toda información complementaria se puede obtener en el servicio de atención al cliente: Asociación de Empresarios del Mármol de Macael, Ctra. Olula-Macael Km 1,7 04867 Macael (Almería) Tlf: 950 12 81 11, [asociacion@macaelmarmol.com](mailto:asociacion@macaelmarmol.com).

La junta de Andalucía ha situado en Macael el Centro Tecnológico Andaluz de la Piedra, que se encarga de asesorar a los empresarios en la comercialización de sus productos, estudios de mercado, proyectos de investigación, desarrollo e innovación, gestión de ayudas, realización de ensayos para fichas técnicas, estudios de viabilidad, recuperación ecológica del entorno, gestión de residuos, etc. Los datos de contacto del centro: Fundación Centro Tecnológico Andaluz de la Piedra, Carretera Olula-Macail, km 1,7, 04867 Macael (Almería) Tlf. 950 12 63 70. Más información en <http://www.ctap.es/>

#### **2.5.4. Criterios de diseño y selección de los Mármoles de Macael**

La asociación de empresarios del Mármol de Macael, también aconseja a arquitectos y proyectistas sobre la selección de los productos más adecuados a sus diseños, y es lo que vamos a ver en este apartado. La piedra natural es un elemento de fuerza expresiva en la arquitectura, da fuerza y elegancia, realzando el valor estético. Queda bien tanto en espacios cerrados como abiertos, existiendo un amplio abanico de posibilidades de uso de la piedra natural en arquitectura.

Los factores que hay que tener en cuenta para la selección de la piedra natural son muy diversos. Los hay de tipo *históricos-culturales*, *estéticos*, *prestaciones técnicas*, *aspectos funcionales*, *seguridad*, y en último lugar el *precio*, ya que a la hora de elegir piedra natural como material de construcción el cliente ya sabe que es está eligiendo calidad, elegancia, confort, y en la mayoría de los casos el precio no es un factor disuasorio. Podemos agrupar todos estos factores en dos tipos de criterios de selección: criterios perceptivos y técnicos.

##### **2.5.4.1. Criterios perceptivos**

**La evolución de la piedra:** Para hacer un buen trabajo, el proyectista debe considerar que la apariencia y propiedades de la piedra pueden evolucionar a lo largo de la vida útil de la piedra. Cambios de color o de textura pueden producirse en periodos relativamente cortos de tiempo si el ambiente es muy agresivo (ensayos de durabilidad). Degradaciones como pérdida de masa, descohesión granular, hinchamientos, pandeos, etc. se consideran negativos. Sin embargo, hay piedras que con el tiempo desarrollan pátinas, se oxida la capa superficial que cambia de color y se convierte en una capa protectora para el resto de material (igual que ocurre con el aluminio: el óxido de aluminio no es permeable por el oxígeno y una pequeña capa de óxido protege de la oxidación al resto del metal). El desarrollo de pátinas se considera positivo desde el punto de vista estético y de durabilidad. Algunas de estas evoluciones se producen en periodos muy grandes de tiempos, que no están dentro de la durabilidad con la que se ha proyectado la obra, que en ocasiones no va más allá de los 15 o 20 años.

**El posicionamiento:** También se puede jugar con la posición del material en el espacio arquitectónico. Posicionamiento en el orden de los materiales en los distintos ambientes de la estancia, y también el orden de colocación de las unidades de un mismo material buscando la armonización de las heterogeneidades propias de las piezas de piedra natural.

**El dibujo (diferenciación visual):** La distribución en el espacio de los materiales de diferentes colores, texturas, tamaños y formas es un elemento perceptivo muy importante. En muchos casos se puede utilizar la falta de uniformidad del color de la piedra para combinarlos adecuadamente y conseguir una "diferenciación visual" muy agradable. Se pueden conjugar distintas variedades de piedra por su color y microestructura, se puede jugar con la forma y el tamaño de las piezas o mezclando distintos acabados superficiales. En ocasiones también se puede jugar con los elementos de sujeción, como los anclajes de revestimientos o el tamaño de las juntas de colocación.

**La luz:** La percepción de la roca ornamental depende enormemente de la iluminación. El proyectista debe analizar el efecto que la luz va a originar en las distintas situaciones en las que va a colocar la piedra antes de seleccionar una variedad. Las orientaciones con respecto al sol pueden modificar no sólo el color sino también la textura de la piedra. Una iluminación nocturna apropiada va a realzar la textura y la belleza de la piedra.

#### **2.5.4.2. Criterios tecnológicos**

A la hora de elegir un tipo de Mármol de Macael, hay que tener en cuenta el uso que se le va a dar a la piedra para evaluar su durabilidad y elegir un tipo de acabado superficial u otro dependiendo de las características técnicas que ha de cumplir la piedra, las cuales están recogidas en normas según el emplazamiento geográfico, su posición en la obra, funcionalidad, etc.

**Durabilidad:** Hay que tener en cuenta la heladicidad, aplicando los criterios de daño por hielo correspondientes a cada localidad (índice de hielo) y a la posición de la piedra en la obra (factor K). La absorción de agua, cristalización de sales, eflorescencias, etc.

**Prestaciones mecánicas:** Los pavimentos están sometidos a los mayores esfuerzos mecánicos producidos por los diferentes tipos de tráfico (peatones, bicicletas, ciclomotores, y toda clase

de vehículos ligeros y pesados). Los esfuerzos a tener en cuenta son: - **Esfuerzos de flexión:** cualquier piedra puede soportar los esfuerzos de flexión producidos por el tráfico dándole el espesor adecuado. Por tanto, se trata de estimar las cargas que va a recibir en el diseño que hace el proyectista y utilizar el espesor adecuado. - **Esfuerzos de impacto:** la caída fortuita o intencionada de objetos sobre el pavimento y los zócalos (principalmente) va a producir importantes esfuerzos de impacto. Al igual que los esfuerzos de flexión, cualquier piedra soporta los esfuerzos de impacto si tiene el espesor adecuado, por lo que también habrá que estimar los impactos a los que puede estar sometida la piedra para elegir el espesor adecuado. - **Desgaste (afecta al deslizamiento):** hay que tener en cuenta que la acción del tráfico y la erosión ambiental va a producir el desgaste (una pérdida de masa) de la piedra a la hora de elegir la piedra el espesor de la misma. El desgaste también puede provocar un pulimiento superficial de la piedra aumentando el riesgo de deslizamiento (muy importante para pavimentos y que se puede paliar utilizando inicialmente una rugosidad más agresiva).

El deslizamiento: El grado de deslizamiento está directamente relacionado con el acabado superficial que se elija. Los requisitos de deslizamiento están recogidos en normas para todos los productos de la construcción. En pavimentos horizontales hay que elegir un acabado con muela de granulometría 60 para que la mayoría de las piedras sean seguras frente al deslizamiento. En rampas o pavimentos inclinados es necesario aplicar tratamientos superficiales que aumenten la rugosidad. Los acabados abujardados, arenados y flameados suelen ser apropiados para estos pavimentos.

El ruido: hay que tener en cuenta que el ruido que se origina debido al tránsito sobre las superficies depende de la rugosidad de la piedra (a más rugosidad más ruido) y del tamaño de las piezas (piezas grandes producirán menos ruido que piezas pequeñas). Esto es fundamental para pavimentos que vayan a soportar tráfico rodado, y elegir el tipo de piedra, tipo de piezas y el acabado adecuados.

Como acabamos de ver, los tratamientos superficiales de la piedra hay que elegirlos teniendo en cuenta los factores estéticos (apariencia) pero también los tecnológicos (deslizamiento, ruido, ...). El tamaño de las piezas (grosor y tamaño superficial) también se eligen teniendo en cuenta ambos tipos de factores: que guste el dibujo que se consigue con las piezas de distintos tamaños y formas pero también que se cumplan los niveles de ruido debido al paso del tráfico.