

MATERIALES DE CONSTRUCCION.

TEMA 3.- MATERIALES PÉTREOS NATURALES.

1.- INTRODUCCIÓN. DEFINICION DE ROCA.

Se llama roca a un agregado natural, que está formado por uno o más minerales asociados químicamente e impurezas en cantidades variables. Sus dimensiones son considerables y no tienen una forma determinada. Su composición y estructura no son fijas. Son las típicas “piedras” que todo el mundo conoce. La roca es heterogénea y puede ser simple o compuesta.

1.- Simple es cuando está compuesta de un solo tipo de mineral: monominerálica, por ejemplo: la piedra CALIZA (Figura 1.1.a) compuesta de calcita y la ARENISCA (Figura 1.1.b) y CUARCITA (Figura 1.1.c) puras compuestas de cuarzo.



(a) (b) (c)
Figura 1.1.- (a) Caliza, (b).- Areniscas y (c).- Cuarzita.

2.- Compuesta de varios tipos de minerales: Poliminerálica, por ejemplo: el granito (Figura 1.2) compuesto principalmente de cuarzo, feldespato, mica y otros minerales en menor cantidad como anfíbol, apatito y circón.



Figura 1.2.- Granitos.

Son materiales naturales que constituyen la corteza de la Tierra. Algunas son relativamente blandas, es decir, débiles y fácilmente deformables. Otras, sin embargo, son duras, fuertes y resistentes.

En la Naturaleza se encuentran formando masas de donde se extraen en explotaciones denominadas canteras. Al ser la Litosfera la capa más superficial del planeta, de ella se obtienen las rocas destinadas a construcción, estando formadas básicamente por silicatos de aluminio, aunque también existen otra serie de compuestos que dan lugar a una gran variedad de rocas en cuanto a composición y características.

Las rocas en la construcción se pueden utilizar como:

- 1.- ELEMENTO RESISTENTE.
- 2.- ELEMENTO DECORATIVO.
- 3.- MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE OTROS MATERIALES (HORMIGÓN, CERÁMICOS, CEMENTOS, YESOS, VIDRIO, EC.)

A toda piedra natural debe exigírsele:

- 1.- Composición homogénea.
- 2.- Que carezca de grietas, coqueas o cavidades.
- 3.- Que sea sana, es decir, que no esté alterada.
- 4.- Que no sufra alteraciones con los agentes atmosféricos.
- 5.- Que no sea heladiza, es decir, que lo afecten las heladas.

La piedra extraída directamente de la Naturaleza es uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre en sus construcciones (Figura 1.3), conservándose salvo excepciones en muy buen estado (Figura 1.4), gracias a sus magníficas características para su empleo en obra. Estas características definen su carácter de pétreo, siendo estos, materiales que destacan por su gran resistencia mecánica a compresión y su resistencia a los agentes atmosféricos. Las rocas tienen además un gran valor como elementos decorativos (Figuras 1.5 y 1.6) y son la materia prima de casi todos los materiales de construcción.



Figura 1.3.- Construcciones religiosas en la Prehistoria. Monumento megalítico de Stonehenge.



Figura 1.4.- Arco de triple arcada construido por los romanos en Medinaceli (Soria).



Figura 1.5.- Pórtico de la Gloria en la Catedral de Santiago de Compostela



Figura 1.6.- Palacio de la opera de la Coruña

Los elementos químicos aparecen raramente puros en la Naturaleza, ya que lo hacen formando combinaciones entre sí, denominadas minerales. Un mineral es un sólido inorgánico natural, con un estructura interna específica (esto es, los átomos constituyentes tienen un ordenamiento o arreglo específico que define un modelo geométrico definitivo), y una composición química que varía sólo dentro de ciertos límites (la combinación específica de los elementos constituyentes puede ser expresada en una fórmula química). Cada tipo de mineral es estable sólo bajo condiciones específicas de presión y temperatura.

Generalmente los elementos Si, Al, K, Na, Fe, Ca, Mg, Cl, O, (entre otros) forman el mineral. Los nombres de los minerales dependen de su fórmula y de su estructura atómica y pueden ser combinaciones simples (por ejemplo la blenda SZn y la pirita S_2Fe) o un conjunto de ellas (por ejemplo, la calcopirita).

Como se ha visto, las rocas naturales están compuestas por uno o varios minerales, los cuales pueden ser esenciales, es decir, típicos y característicos de cada roca, o secundarios cuando solamente determinan variedades de la misma.

Los minerales son sustancias naturales, inorgánicas, de composición química fija dentro de ciertos límites, con propiedades características y con una estructura cristalina. Normalmente son sólidos, aunque hay excepciones.

En la naturaleza hay descritos más de 2000 especies minerales diferentes, aunque los más importantes económicamente, no superan la centena.

Los minerales suelen tener formas geométricas, colores y brillo bastante llamativos y totalmente naturales, de ahí la curiosidad y fascinación que ejercen sobre las personas que los contemplan. Sus formas y colores son muy variables hasta el punto de que ningún mineral es exactamente igual a otro en el mundo.

En resumen se tiene

ELEMENTOS (Si, O, Ca, C, ...) \Rightarrow COMBINACIONES (SiO_2) \Rightarrow MINERALES (Cuarzo) \Rightarrow ROCAS (Cuarcita).

En la figura 1.7 se ilustra como los elementos forman los minerales y estos a su vez las rocas.

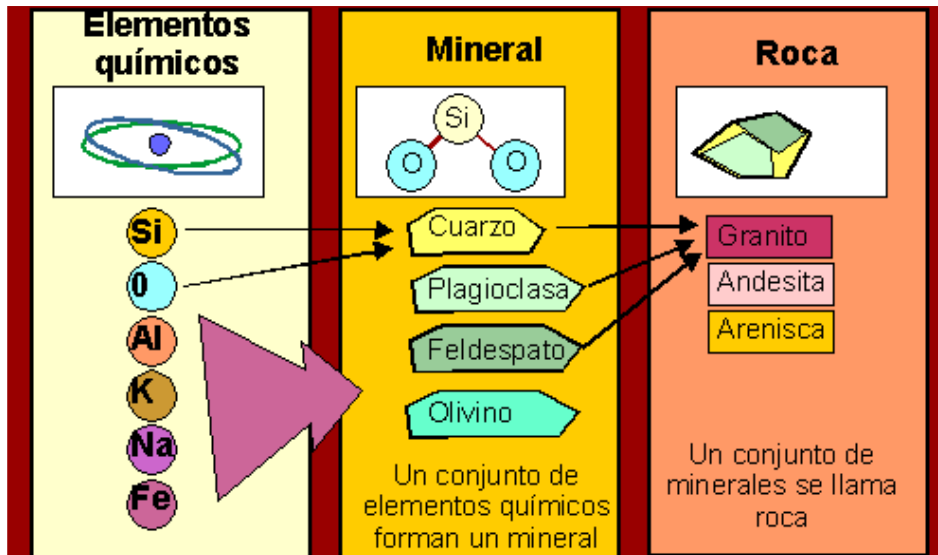


Figura 1.7.- Composición de las rocas.

Entre los 103 elementos químicos conocidos, solamente unos 20 son significativos y de estos solamente 8 son los más abundantes, tal y como se observa en la tabla 1.1.

TABLA 1.1.- Elementos más abundantes en la Naturaleza.

| ELEMENTO | PORCENTAJE EN PESO EN LA CORTEZA TERRESTRE | |
|-----------------------------|--|--------------|
| 1.-OXIGENO | 46.46 | |
| 2.-SILICIO | 27.61 | 74.07 |
| 3.-ALUMINIO | 8.07 | |
| 4.-HIERRO | 5.06 | |
| 5.-CALCIO | 3.64 | |
| 6.-SODIO | 2.83 | |
| 7.-POTASIO | 2.58 | |
| 8.-MAGNESIO | 2.07 | 98.32 |
| 9.-TITANIO | .62 | |
| 10.-HIDROGENO | .14 | |
| 11.-LOS RESTANTES ELEMENTOS | .92 | |

Estos elementos forman las combinaciones geoquímicas más importantes en la composición de los minerales, siendo todas ellas óxidos, tal y como se observa en la tabla 1.2.

TABLA 1.2.- Combinaciones geoquímicas más importantes en la composición de los minerales.

| | | |
|---|-------|-------------------|
| - Oxido de sílice (SiO ₂) . | 60 % | (Carácter ácido) |
| - Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃) | 15 % | (Carácter ácido) |
| - Oxidos de Hierro | 6 % | (Carácter ácido) |
| - Oxido de cal (CaO) . | 5 % | (Carácter básico) |
| - Oxido de magnesio (MgO) . | 3.8 % | (Carácter básico) |
| - Oxido de sodio (Na ₂ O) . | 3.2 % | |
| - Oxido de potasio (K ₂ O) | 3 % | |
| - Agua (H ₂ O) . | 2 % | |
| - Otros. | 3 % | |

El oxígeno pues es la base de los materiales inorgánicos, siendo el carbono el de los orgánicos.

2.- GRUPOS DE MINERALES.

Las combinaciones de los elementos químicos, formando los minerales, se presentan en las rocas en dos formas: cristalizados o amorfos.

Los elementos cristalizados muestran formas cristalinas propias, limitadas por caras planas, con cambios de estado a una determinada temperatura, mientras que los amorfos muestran una estructura molecular desorganizada y ante los cambios térmicos, modifican su estado de forma paulatina.

También es importante la presencia del agua en su composición, pudiéndose presentar hidratados o sin hidratar modificándose con ello de forma sustancial sus propiedades.

Los minerales se pueden clasificar en cuatro grupos químicos principales, que son los siguientes:

Grupo : SILICATOS.

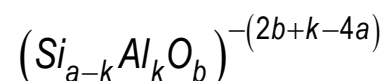
Los silicatos son los componentes más importantes de las rocas y, por consiguiente, de la corteza terrestre, integrando el 95 por ciento de ésta. Es, además, el grupo de minerales más rico en especies. Son materiales compuestos principalmente por silicio y oxígeno, los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre. Por consiguiente, la mayor parte de suelos, rocas, arcillas y arenas son clasificados como silicatos. En lugar de caracterizar las estructuras cristalinas de estos materiales en términos de celdilla unidad, es más conveniente utilizar varias combinaciones de tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (Figura 2.1).

El tetraedro consiste en una combinación de un ión de silicio con un radio de 0.42\AA , unido a 4 iones de oxígeno con un radio de 1.32\AA tan estrechamente como es posible geoméricamente. Los iones de oxígeno se encuentran en los vértices del tetraedro y aportan al tetraedro una carga eléctrica de -8 y el ión de silicio, que está situado en el centro del tetraedro, contribuye con +4. Así, el tetraedro puede considerarse como un anión complejo con una carga neta de -4. Su símbolo es $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Se lo conoce como anión silicato

A menudo los silicatos no son considerados iónicos puesto que tienen un significativo carácter covalente en los enlaces Si — O, los cuales son direccionales y relativamente fuertes. Las varias estructuras de los silicatos se originan a partir de las distintas maneras en que las unidades de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ pueden combinarse en distribuciones de una, dos o tres dimensiones.

En general, los silicatos se caracterizan por no tener aspecto metálico y por su elevada dureza. Su división se establece en varios conjuntos atendiendo a su estructura que está determinada, en cada caso, por la forma de agrupación de los tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$. En cualquier tipo de silicatos, el silicio puede ser sustituido parcialmente por el aluminio (y en algunos casos, por el boro), obteniéndose así los aluminosilicatos, minerales que se describen junto a los silicatos.

Por lo tanto, el grupo funcional de todos los silicatos puede expresarse así:



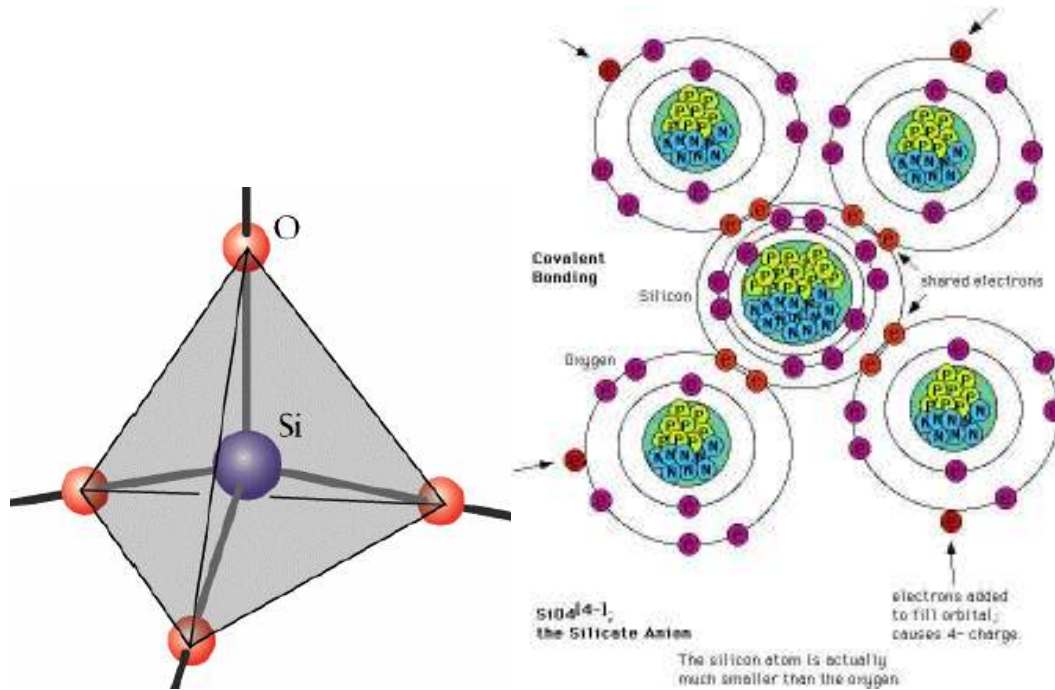


Figura 2.1.- Un tetraedro silicio-oxigeno $[\text{SiO}_4]^{4-}$

Tipos de estructuras de silicatos.

En los silicatos, uno, dos, o tres de los átomos de oxígeno del tetraedro $[\text{SiO}_4]^{4-}$ son compartidos por otros tetraedros para formar estructuras complejas, algunas de las cuales están representadas en la figura 2.2 y tienen formulas SiO_4^{4-} , $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$, $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$, y así sucesivamente. Los cationes cargados positivamente, tales como Ca^{2+} , Mg^{2+} y Al^{3+} , desempeñan dos funciones. En primer lugar, compensan las cargas negativas de las unidades SiO_4^{4-} de manera que se alcance la neutralidad de la carga y en segundo lugar, estos cationes sirven de enlace iónico entre dichas unidades.

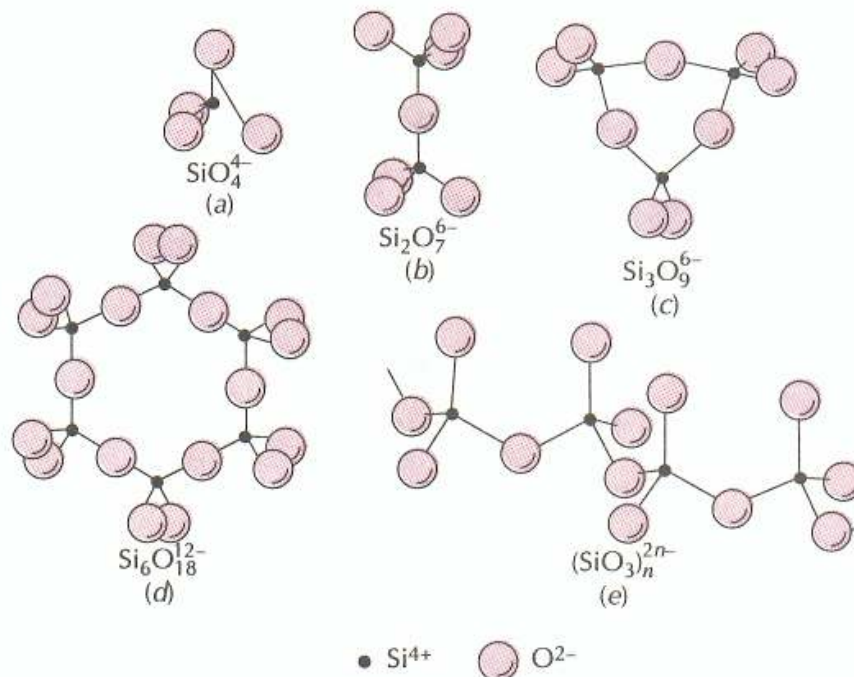


Figura 2.2.- Cinco estructuras de los iones en los silicatos formados a partir de tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$.

En función de cómo se combinan entre si los tetraedros de oxígeno y silicio, se distinguen las siguientes estructuras y clasificación de los silicatos (Figura 2.3).

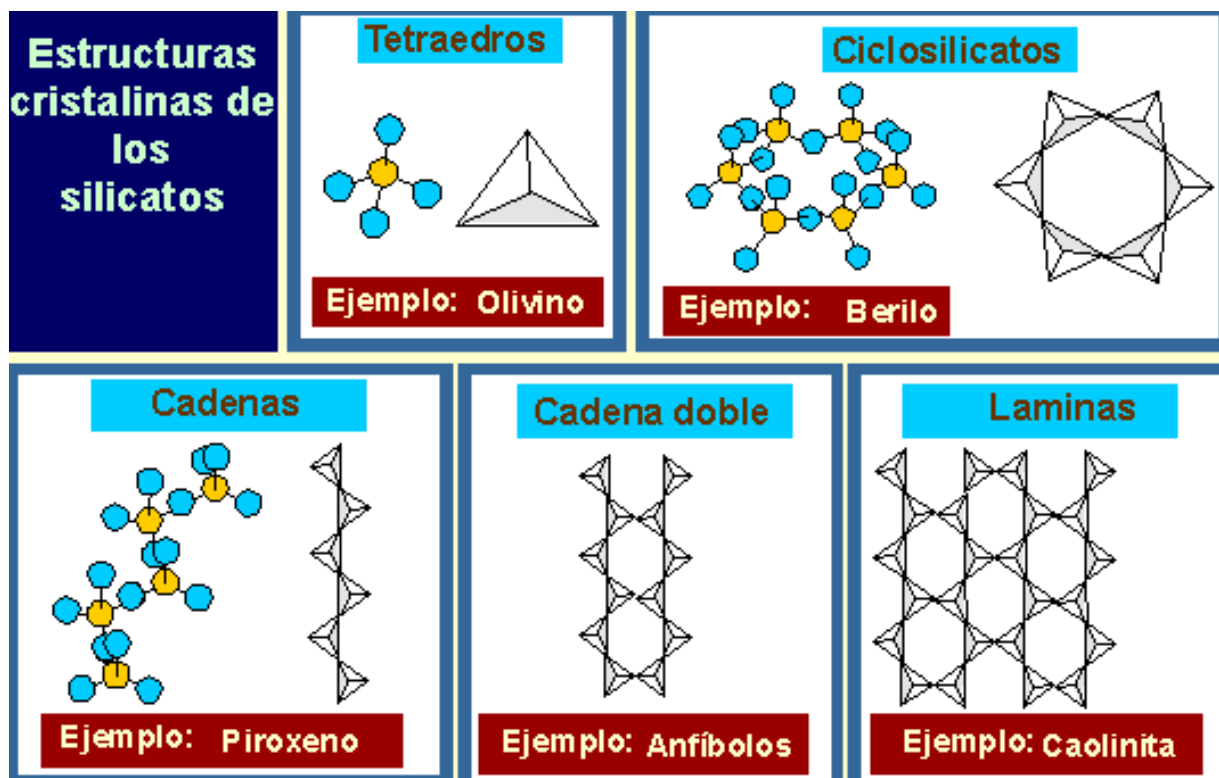
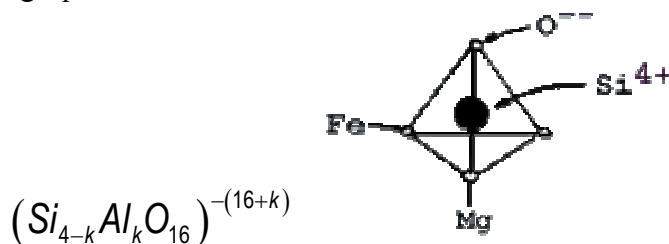


Figura 2.3.- Estructuras cristalinas de los silicatos.

I.-SILICATOS DE ESTRUCTURA INSULAR con tetraedros aislados y grupos aislados de tetraedros.

(A).- NESOSILICATOS - Los tetraedros de oxígeno y silicio $[SiO_4]^{4-}$ aislados e independientes, en los cuales cada uno de los cuatro átomos de oxígeno tiene una carga libre. Los tetraedros no están unidos directamente entre si y el enlace se realiza a través de puentes de cationes metálicos. La relación entre oxígeno y sílice es de 1:4. Su grupo funcional es:



Ejemplos:

Olivino, también denominado peridoto, que es un silicato ferromagnesiano de fórmula $SiO_4(Fe,Mg)_2$. La proporción relativa de hierro y magnesio es variable formándose así una serie isomorfa continua de minerales que, genéricamente, se llaman Olivino, pero que cuando hay ausencia de hierro se conoce por Forsterita y cuando no hay magnesio se denomina Fayalita.

- Sistema de cristalización: rómbico.
- Dureza: de 6,5 a 7. Es un mineral frágil.
- Densidad: de 3.2 a 4.2 g/cm³ según su riqueza en hierro.

- Color: de verde oliva a verde amarillento (a veces parduzco por oxidación del hierro). En general se presenta en fragmentos pequeños, equidimensionales, de brillo vítreo, transparentes o traslúcidos.
- Origen fundamental: magmático.
- Presencia: es un mineral esencial en una serie de rocas ígneas: Peridotita, Gabro olivínico, Dolerita olivínica y Basalto olivínico.

Circón $Zr[SiO_4]$

- Sistema de cristalización: tetragonal.
- Dureza: 7.5.
- Densidad: 4.6 g/cm³.
- Color: incoloro en estado puro, pero presenta tintes amarillos o parduzcos por impurezas de hierro. Brillo vítreo diamantino. La variedad roja es el verdadero Jacinto.
- Origen fundamental: magmático.
- Presencia es mineral accidental en muchas rocas ígneas, aunque también aparece en metamórficas y en sedimentarias debido a su inalterabilidad. Se suele presentar en cristales equidimensionales, con aspecto de granate, formando, a veces, prismas tetragonales apuntados por dos pirámides.

Granates.

Los granates son minerales de composición química muy variable, definiéndose como silicatos dobles de fórmula genérica $(SiO_4)_3 D_3 T_2$ donde D es un catión divalente (calcio, hierro, magnesio, manganeso) y T uno trivalente (aluminio, hierro, cromo, titanio).

- Sistema de cristalización: regular.
- Dureza: de 6.5 a 7.5.
- Densidad: de 3.4 a 4.3 g/cm³.
- Color: variable; generalmente rojo, pardo, amarillo o verde, de transparente a opaco. Brillo vítreo y resinoso.
- Origen: fundamentalmente, de metamorfismo, aunque también puede tener origen magmático.
- Presencia: es un mineral accidental, muy común en rocas metamórficas y, menos, en rocas ígneas, presentándose en cristales equidimensionales, frecuentemente rombododecaedros. Las variedades más corrientes son Grosularia (Ca y Al), Almandina (Fe y Al) y Piropo (Mg y Al).

(B).-SOROSILICATOS - Los tetraedros de oxígeno y silicio aislados dobles $[Si_2O_7]^{6-}$, tienen un átomo de oxígeno común, los demás tienen ligazón con los cationes. Relación entre oxígeno y sílice 2:7

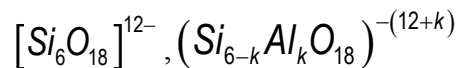
Ejemplos:

Epidota.

La epidota o pistacita tiene tetraedros aislados (SiO_4) y dobles tetraedros (Si_2O_7) que se unen con octaedros de aluminio, hierro y calcio rodeados por iones de oxígeno y oxhidrilo. Su fórmula es $(SiO_4)_3(Al,Fe)_3Ca_2(OH)$.

- Sistema de cristalización: monoclinico.
- Dureza: 6 a 7.
- Densidad: 3.3 a 5.5 g/cm³.
- Color: cristales de color verde, con brillo vítreo, que dan raya gris.
- Origen fundamental: de metamorfismo.
- Presencia: es un mineral accidental en rocas metamórficas, que se presenta en cristales prismáticos o grupos radiados de cristales.

(C).- CICLOSILICATOS –Son los formados por anillos de tetraedros triples $[Si_3O_9]^{6-}$, cuádruples $[Si_4O_{12}]^{8-}$ o séxtuples $[Si_6O_{18}]^{12-}$. Relación entre oxígeno y sílice 1:3. En el caso de anillos séxtuples, su grupo funcional es:



Ejemplos: Berilo, $Be_3Al_2[Si_6O_{15}]$, Cordierita, $(Mg,Fe)_2Al_3[Si_5AlO_{18}]$

II.- SILICATOS CON ESTRUCTURA DE CADENA

(D).-INOSILICATOS – Los que constan de cadenas simples de tetraedros de oxígeno y silicio $[Si_2O_6]^{4-}$, $[Si_3O_9]^{6-}$, con diferente período de alternación y de cadenas dobles o cintas constituidas por tetraedros de oxígeno y silicio del tipo $[Si_4O_{11}]^{6-}$. En ciertos minerales el Si^{4+} está sustituido por el Al^{3+} formando radicales del tipo $[Si_{4-p}Al_pO_{11}]^{-(6+p)}$. Relación entre oxígeno y sílice 1:3 para cadena simple y 4:11 para cadena doble.

Ejemplos: Piroxenos (Cadenas simples): Enstatita-Hiperstena; Diopsido-Hedenbergita, Augita
Anfiboles (Cadenas dobles): Tremolita-Actinolita, Hornblenda, Glaucofana-Riebeckita

Los piroxenos es un grupo de minerales muy importante, siendo uno de los principales componentes de las rocas ultrabásicas y básicas, aunque también aparecen en otras condiciones geológicas. Junto con los anfíboles forman alrededor del 16% del peso de la corteza terrestre.

La fórmula general de los piroxenos corresponde a: ABZ_2O_6

con A = Ca, Fe^{2+} , Li, Mg, Mn^{2+} , Na, Zn
B = Al, Cr^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg, Mn^{2+} , Sc, Ti, V^{3+}
Z = Al, Si

Los piroxenos pueden dividirse en diversos grupos siendo habitual representarlos dentro del sistema químico $CaSiO_3 - MgSiO_3 - FeSiO_3$ de la figura 2.4.

Sobre dicho triángulo aparecen definidas las series diópsido ($CaMgSi_2O_6$) - hedenbergita ($CaFeSi_2O_6$) y la serie enstatita ($Mg_2Si_2O_6$) - ferrosilita ($Fe_2Si_2O_6$) así como la augita relacionada con la primera serie y la pigeonita relacionada con la segunda.

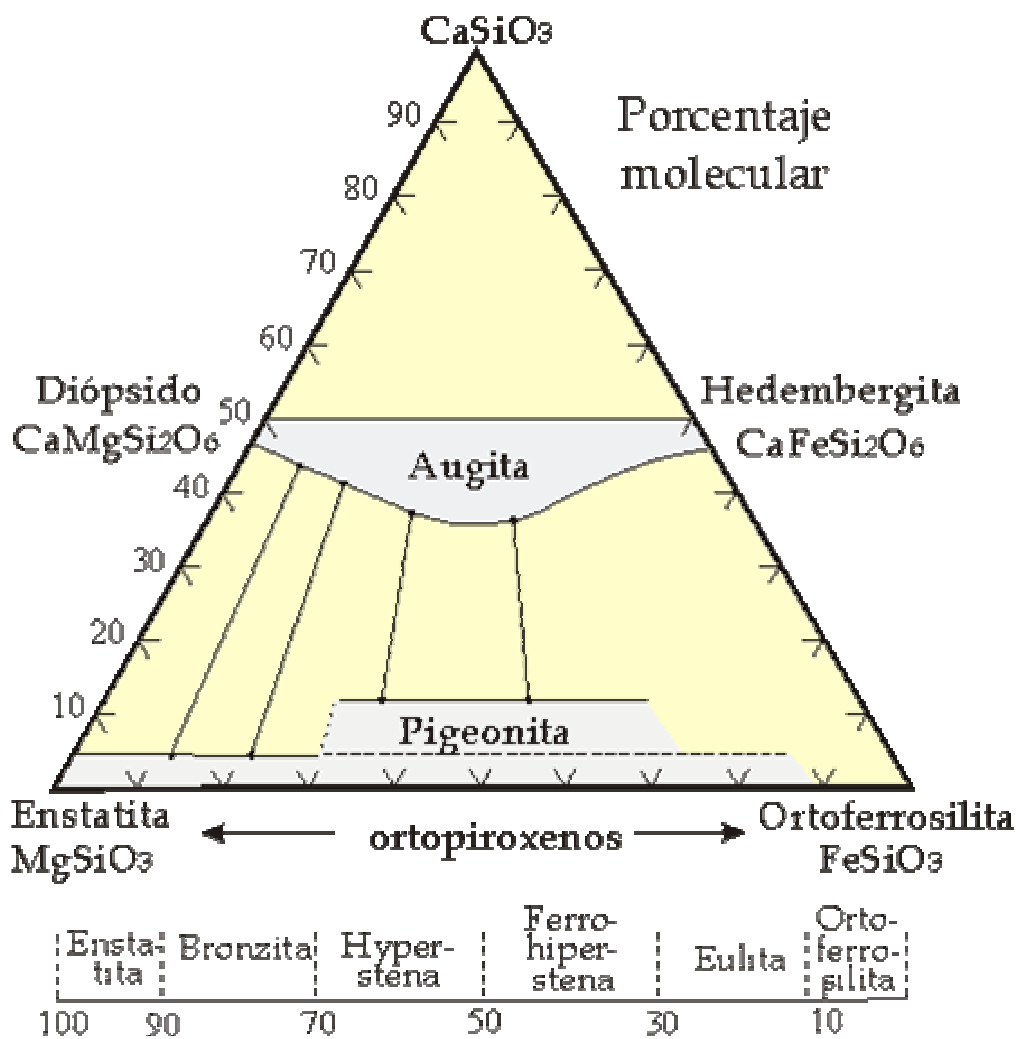
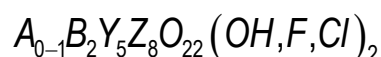


Figura 2.4.- Sistema ternario de los piroxenos (CaSiO_3 - MgSiO_3 - FeSiO_3).

La fórmula general de los minerales del grupo de los anfíboles corresponde a:



con A = Ca, Na, K, Pb

B = Ca, Fe^{2+} , Li, Mg, Mn^{2+} , Na

Y = Al, Cr^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg, Mn^{2+} , Ti

Z = Al, Be, Si, Ti

La presencia de grupos OH ocasiona una disminución de sus estabilidades térmicas respecto a los piroxenos, más refractarios.

Los anfíboles más comunes pueden representarse por su composición en el sistema químico antofilita $[\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ - grunerita $[\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ - (término hipotético) $[\text{Ca}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$, de una manera análoga a los piroxenos. Se define una serie completa entre la tremolita $[\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ y la ferroactinolita $[\text{Ca}_2\text{Fe}_5^{2+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ de anfíboles monoclinicos denominándose los términos intermedios actinolita (Figura 2.5).

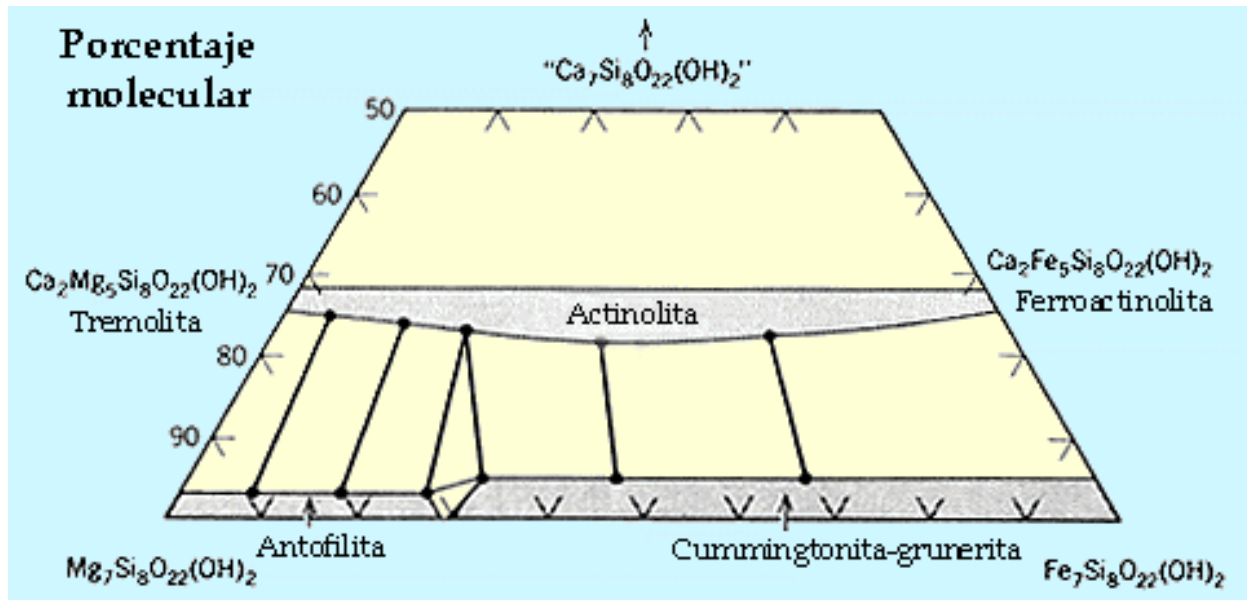
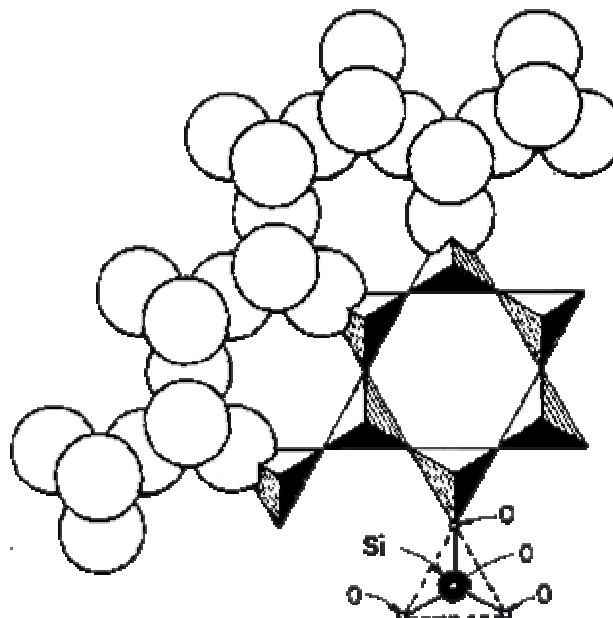


Figura 2.5.- Sistema ternario de los anfíboles.

La variedad Hornoblenda, rica en Fe es el más importante, tiene dureza 5 y peso específico 3-3.5 Kg/dm³. Su color puede ser de verde oscuro a negro.

III.-SILICATOS Y ALUMOSILICATOS DE ESTRUCTURA LAMINAR

(E).- FILOSILICATOS - Tetraedros (SiO₄) dispuestos en redes planas, constando de capas de oxígeno y silicio y de oxígeno y aluminio. Su grupo funcional es $(Si_2O_5)^{2-} (Si_{4-p}Al_pO_{10})^{(4+p)-}$, en las cuales los tetraedros están unidos por tres vértices comunes con paquetes dobles, triples y de varias capas. La relación entre oxígeno y sílice es de 1:5.

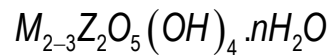


Ejemplo: caolinita, Al₂(Si₂O₅)(OH)₄, serpentina Mg₆ [Si₄ O₁₀](OH)₈, moscovita KAl₂[Si₃ AlO₁₀](OH,F)₂

Las serpentinan constituyen un grupo de minerales que se caracterizan por no presentarse en forma de cristales, excepto en el caso de pseudomorfismo. Son productos de alteración de ciertos silicatos magnésicos, especialmente olivino, piroxenos y anfíboles.

Existen tres formas polimorfas que cristalizan en el sistema monoclinico: La lizardita, la antigorita y el crisotilo. Las dos últimas poseen, además, polimorfos ortorrómbicos. La antigorita y la lizardita son por lo general macizos de grano fino, mientras que el crisotilo es fibroso de aspecto asbestiforme.

La formula básica de los minerales de este grupo es:



con $M = Al, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg, Mn^{2+}, Ni, Zn$

$Z = Al, Fe^{2+}, Si$

La mica son silicatos hidratados de aluminio, potasio y sodio, conteniendo a veces magnesio y hierro. Cristaliza en el sistema monoclinico en láminas hexagonales. Su peso específico es alto, 3 Kg/dm³, pero su dureza es solo de 2 a 3 debido a su hidratación, rayándose fácilmente. Se presentan en láminas exfoliables.

Las variedades principales son la moscovita o mica potásica de color blanco y la Biotita o mica ferromagnésica de tono verdinegro, más dura y resistente por la presencia del hierro. La moscovita puede ser de origen magmático y de origen metamórfico. Es componente esencial de las micacitas y, muy frecuente, como accidental, en esquistos, pegmatitas, gneises, granitos e, incluso, en rocas sedimentarias.

La variedad intermedia denominada Vermiculita o Flogopita se dilata fuertemente por el calor, hojaldrándose y curvándose, perdiendo el agua y adquiriendo baja densidad con propiedades aislantes del calor y el sonido.

IV.- SILICATOS CON ESTRUCTURA ARMAZON

(F).- TECTOSILICATOS – Son los que tienen estructuras **tetraédricas dispuestas en redes** tridimensionales continuas constituidas por tetraedros de oxígeno y aluminio y de oxígeno y silicio $[AlO_4]^{5-}$ y $[SiO_4]^{4-}$, en los cuales todos los átomos de oxígeno son comunes. Su grupo funcional es:



La relación entre oxígeno y sílice es de 1:2. Por ejemplo, los feldespatos y los feldespatoides.

Ejemplos: Nefelina $KNa_3[SiAlO_4]_4$, Leucita $K[Si_2AlO_6]$, Albita $Na[Si_3AlO_8]$, Anortita $Ca[Si_2Al_2O_8]$.

Feldespatos.

Los feldespatos son silicatos con estructuras tetraédricas tridimensionales y son los minerales más abundantes de la corteza terrestre y participan en ella con más del 60 % en volumen, en detalle las plagioclasas ocupan 41 % en volumen y los feldespatos alcalinos ocupan 21 % en volumen.

Caracteriza a este grupo el ser aluminosilicatos de metales alcalinos y alcalinotérreos con escasa substitución del silicio por el aluminio, ser esenciales en muchas rocas ígneas y en algunas sedimentarias y metamórficas, tener colores claros porque, al no poseer huecos de coordinación octaédrica, no puede asentarse el hierro, y poseer un origen fundamental magmático.

En los feldespatos pueden distinguirse dos tipos estructurales:

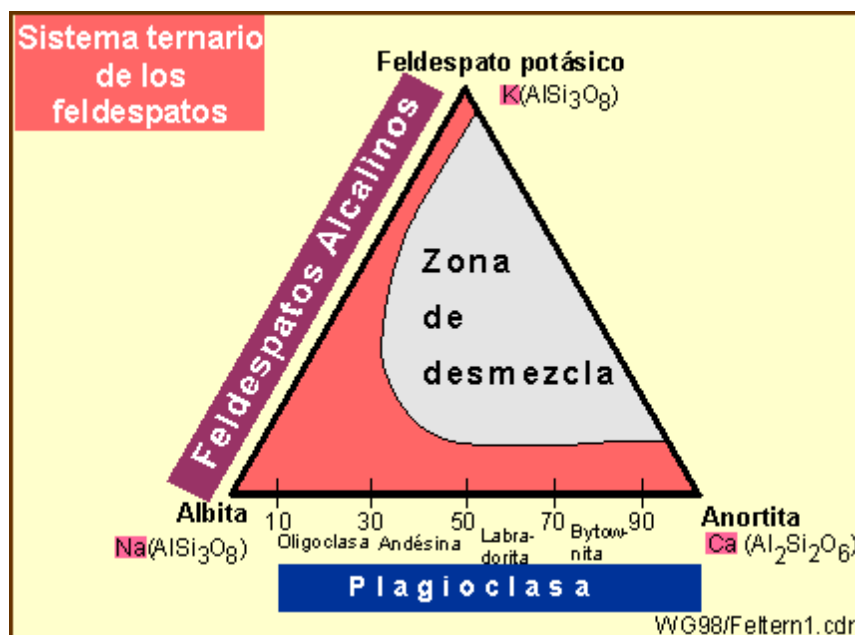
- Monoclinicos u ortoclasas, con cationes muy grandes, (K^+ , y Ba^{2+}).
- Triclínicos o plagioclasas, con cationes algo menores, (Na^+ y Ca^{2+}).

Los feldespatos forman un grupo de 3 componentes, los cuales son:

- Feldespato potásico : KAlSi_3O_8 ,
- Albita : $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$,
- Anortita : $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Los minerales mixtos con una composición entre el feldespato potásico y la albita se denominan feldespatos alcalinos, los minerales mixtos de composición entre albita y anortita forman el grupo de las plagioclasas. Las relaciones entre ellos se presentan en el sistema ternario de los feldespatos (Figura 2.6). En los extremos de este triángulo están expresados las formulas cristalquímicas de los tres componentes. Todas las mezclas entre estos tres componentes se encuentran en un punto determinado dentro del triángulo.

Las plagioclasas tienen distintas denominaciones según su composición química o es decir según su contenido en la componente Albita (Ab) y en la componente Anortita (An):



| Mineral | Proporción de | | Densidad gr/cm ³ |
|-------------|---------------|---------|--------------------------------|
| | Anortita | Albita | |
| Albita | < 10 | > 90 | 2,61 |
| Oligoclasa | 10 - 33 | 67 - 90 | 2,65 |
| Andesita | 33 - 50 | 50 - 67 | 2,69 |
| Labradorita | 50 - 67 | 33 - 50 | 2,70 |
| Bitownita | 67 - 90 | 10 - 33 | 2,75 |
| Anortita | > 90 | < 10 | 2,77 |

Figura 2.6.- Sistema ternario de los Feldespatos: Anortita-Albita-Feldespato potásico.

Puede observarse que en la anortita la sustitución de silicio por aluminio es mayor que en la albita. Esto quiere decir que, a igualdad de otras circunstancias, las plagioclasas cálcicas abundan más en los medios más pobres en sílice que las sódicas y que las ortoclasas.

La ortoclasa más común es la ortosa, aluminosilicato potásico, de fórmula, $(\text{Si}_3\text{AlO}_8)\text{K}$, cristaliza en el sistema monoclinico formando maclas. Su densidad es 2.56 Kg/dm^3 y su dureza 6. Color: blanco, crema, rosado y gris. Raya blanca. Origen fundamental: magmático. Presencia: es un mineral esencial en muchas rocas ígneas: granitos, sienitas, pegmatitas, etc. Se presenta en cristales de forma columnar o prismática, siendo frecuente la macla de Karlsbad.

Es prácticamente inatacable por agentes atmosféricos y químicos, haciéndolo tan sólo el clorhídrico caliente y las lejías alcalinas. Da a las rocas características análogas al cuarzo, aunque en determinadas condiciones de humedad y temperatura sufre un proceso de caolinización, convirtiéndose en caolín, liberando cuarzo y sales solubles, dando lugar a las arcillas. Tiene un color claro, gris o rosa, según impurezas.

Las plagiclasas son conocidas, genéricamente, como feldespatos calco-sódicos y forman una serie isomorfa que varía desde la Albita: $(\text{Si}_3\text{O}_8\text{Al})\text{Na}$, a la Anortita: $(\text{Si}_2\text{O}_8\text{Al}_2)\text{Ca}$, aunque en la práctica no existen realmente extremos puros sino que cada uno incluye hasta un 10 % del otro, según se refleja en la tabla de la figura 2.6, donde también se indica la densidad correspondiente.

- Sistema de cristalización: triclinico
- Dureza: de 6 a 6.5.
- Densidad: de 2.61 a 2.77 gr/cm³
- Color: blanco, rosado y gris.
- Origen fundamental: magmático.
- Presencia: son minerales esenciales en muchas rocas ígneas presentándose en forma de cristales prismáticos o laminares, formando frecuentemente maclas polisintéticas, lo que les da una estriación peculiar en la superficie de rotura, siendo siempre apreciables estas maclas en microscopio petrográfico.

Grupo: OXIDOS.

Cuarzo. (SiO₂).

Químicamente, el silicato más sencillo es el dióxido de silicio, o sílice (SiO₂). Estructuralmente, es una red tridimensional que se genera cuando todos los átomos de oxígeno de cada tetraedro son compartidos con tetraedros adyacentes. Por consiguiente, el material es eléctricamente neutro y todos los átomos tienen estructuras electrónicas estables. En estas circunstancias, la relación entre los átomos de Si y O es 1:2, tal como esta indicado por la formula química.

Si todos los tetraedros se colocan de una forma regular y ordenada, se forma una estructura cristalina. Existen tres formas cristalinas polimórficas primarias de la sílice: cuarzo, cristobalita (Figura 2.7) y tridimita. Sus estructuras son relativamente complicadas, y comparativamente abiertas, o sea, los átomos no están empaquetados al máximo.

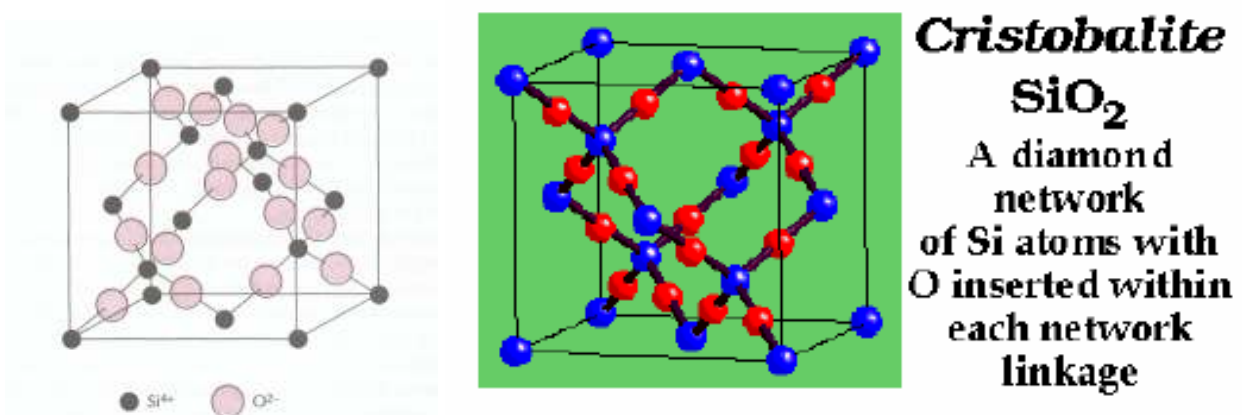


Figura 2.7.- Distribución de los átomos de silicio y oxígeno en una celdilla unidad de cristobalita.

Después de los feldespatos el cuarzo es el mineral más abundante de la corteza terrestre. Se le conoce también como sílice o anhídrido silícico. Su peso específico es de 2.65 kg/dm³ y su dureza 7 en la escala de Mohs. La resistencia del enlace Si -- O se refleja en una temperatura de fusión relativamente alta, 1710 °C. Su

resistencia química es muy elevada sin que le afecten los agentes atmosféricos, atacándole tan sólo el ácido fluorhídrico y algo el hidróxido potásico.

Es el componente más duro de las rocas de construcción por lo que hace que éstas sean difíciles de cortar, labrar y pulimentar cuando lo contienen en alta proporción, como los granitos, los pórfidos, las areniscas cuarzosas y el gneis. En estado puro es transparente, dándole las impurezas diversas tonalidades, desde el gris vítreo al negro, amarillo o rojo (cuarzo ahumado, falso Topacio, Jacinto de Compostela, ágata, jaspe...).

Otros óxidos de interés en el estudio de los materiales son los de hierro como la Magnetita, materia prima para la obtención de productos férricos. La Bauxita que es la materia prima para la obtención de la alúmina (Al_2O_3), a partir de la cual se extrae el aluminio.

El Corindon es óxido de aluminio (Al_2O_3) y destaca por su dureza 9, usándose como material abrasivo.

Grupo: SULFATOS.

Aljez o yeso.

El aljez o yeso es el sulfato cálcico dihidratado $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$. Cristaliza en el sistema monoclinico. Su peso específico es 2.3 Kg/dm^3 y su dureza 2. Tiene gran estabilidad química. Presenta numerosas variedades (Espejuelo, fibroso, alabastro, etc.) y su color es blanco presentando coloraciones rojas y grises según las impurezas de arcillas y carbonatos que contenga. Se usa en construcción como aglomerante previa deshidratación parcial por el calor.

Grupo: CARBONATOS.

Calcita.

La calcita es el carbonato cálcico (CO_3Ca) Cristaliza en el sistema hexagonal. Su densidad es de 2.6 a 2.8 Kg/dm^3 . Dureza 3. Si cristaliza en el sistema rómbico se llama Aragonito y la variedad amorfa Caliza. Es atacable por los ácidos, produciendo efervescencia, con el CIH, y descomponible por el calor desprendiendo CO_2 . Incolora transparente (Espato de Islandia) o blancas, si bien algunas impurezas le dan coloraciones rojas, amarillentas, verdes, moradas, etc...

Forma parte de las rocas calizas, areniscas calizas y mármoles.

Se emplea para cementos, materiales cerámicos, obtención de la cal, para carga, fabricación de cemento Portland, en industria química, como fundente en menas metálicas, el Espato de Islandia en industria óptica etc. Los mármoles como roca ornamental.

Dolomita.

La dolomita es el carbonato de calcio y magnesio ($\text{CO}_3\text{Ca}\cdot\text{CO}_3\text{Mg}$). Su densidad es de 2.86 a 3.10 Kg/dm^3 y dureza de 3.5 a 4. El color es blanco grisáceo Forma parte de rocas dolomíticas de propiedades refractarias al calor y de mármoles.

Magnesita,

La magnesita es el carbonato de magnesio (CO_3Mg) También es muy resistente al calor, es carbonato de magnesio de densidad 3 a 3.48 Kg/dm^3 y dureza 3.5 a 4.5. Color blanco grisáceo o crema.

3.- CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS.

El conjunto de los distintos tipos de rocas, atendiendo a su origen y formación geológica, es decir genéticamente hablando, puede ser clasificado en tres tipos, según se trate de rocas originales procedentes

del magma terrestre, o bien de rocas formadas por la erosión y meteorización de ellas o de cualquiera de los tipos transformados por el calor y la presión (Metamorfismo).

Los tres tipos son:

- Rocas Eruptivas o Ígneas
- Rocas Sedimentarias
- Rocas Metamórficas.

Dentro de cada grupo existen clasificaciones más o menos generales atendiendo a su composición mineralógica y a otros factores. En Estados Unidos el Departamento de Comercio ha establecido una clasificación oficial de rocas, que se presenta en la tabla 3.1).

Tabla 3.1.- Clasificación de las rocas del Departamento de Comercio de Estados Unidos.

| CLASE | TIPO | FAMILIA |
|---------------|--------------------------------|---|
| ÍGNEAS | INTRUSIVAS (Granos gruesos) | Granito Sienita Diorita Gabro Peridotita Piroxenita Hornblendita |
| | EXTRUSIVAS (Grano fino) | Obsidiana Pómez Toba volcánica Riolita Traquita Andesita Basalto Diabasa |
| SEDIMENTARIAS | CALCÁREAS | Caliza Dolomia |
| | SILÍCEAS | Pizarra Arenita Ópalo Conglomerado Brecha |
| METAMÓRFICAS | FOLIADAS | Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra |
| | NO FOLIADAS | Cuarcita Mármol Serpentinita |

Como los procesos geológicos son continuos una roca puede transferirse a otro tipo de roca, a causa de cambios físicos y/o químicos como la meteorización / erosión que puede afectar una roca ígnea para formar

un sedimento En la [figura 3.1](#) se puede ver un esquema simplificado de la génesis de las arcillas a partir del granito. Alternativamente un tipo de roca puede generarse por procesos geológicos diferentes.

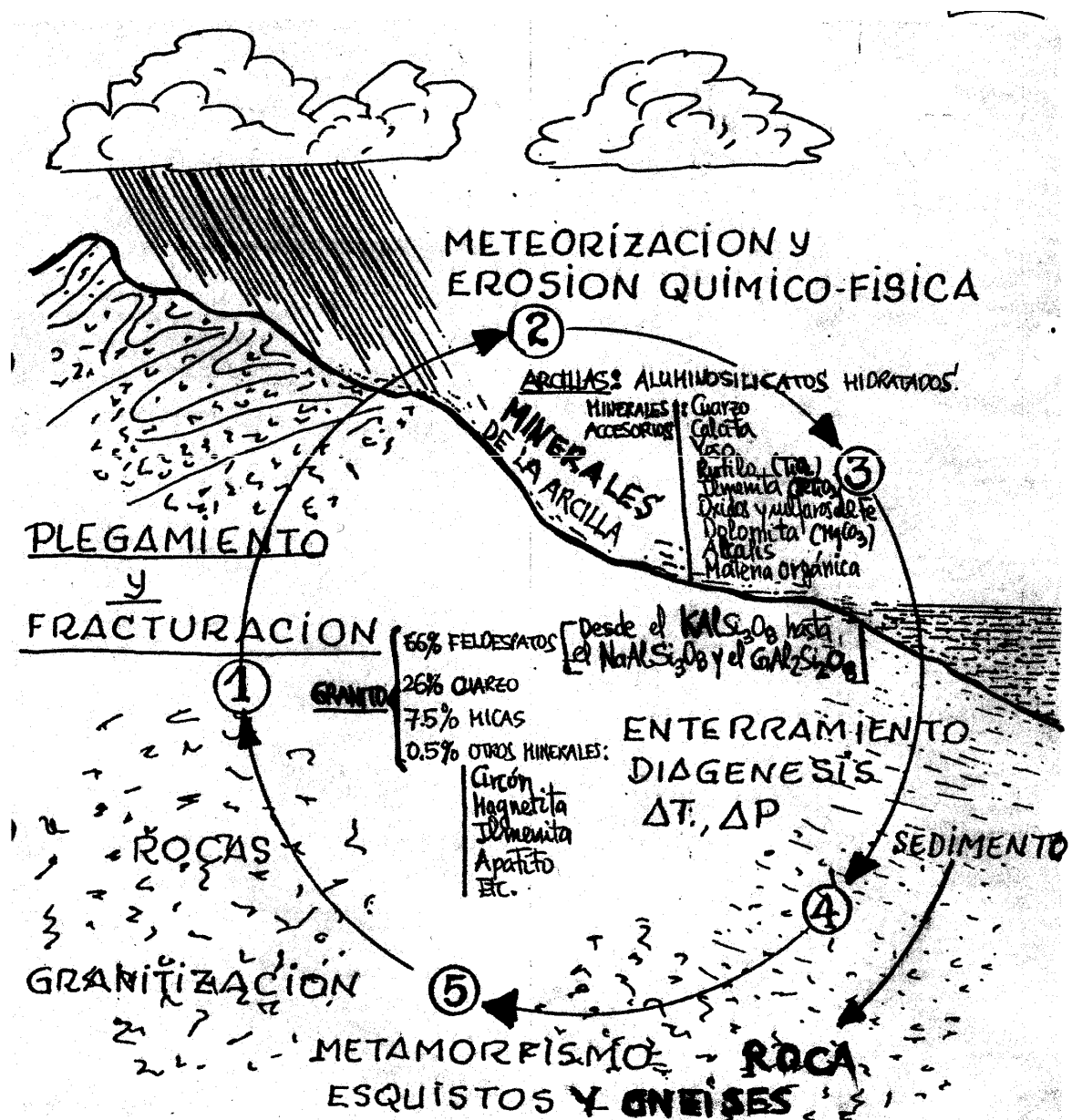


Figura 3.1.- Esquema simplificado la génesis de las arcillas a partir del granito.

El ciclo de las rocas (Figura 3.2).

Aproximadamente 200 años atrás James Hutton propuso el ciclo geológico considerando las relaciones entre la superficie terrestre y el interior de la Tierra como un proceso cíclico. El esquema del ciclo geológico de la [figura 3.2](#) ilustra la interacción entre sedimentación, hundimiento, deformación, magmatismo, levantamiento y meteorización.

Los magmas, de que se derivan las rocas magmáticas - como las rocas plutónicas, volcánicas y rocas subvolcánicas - se forman en el manto superior y en la corteza terrestre profunda. Emplazando en secuencias de rocas de la corteza terrestre el magma enfría paulatinamente dando lugar a las rocas plutónicas. Cuando el magma sube hacia la superficie terrestre se enfría repentinamente resultando en rocas volcánicas. Por levantamiento las rocas plutónicas también pueden llegar a la superficie terrestre.

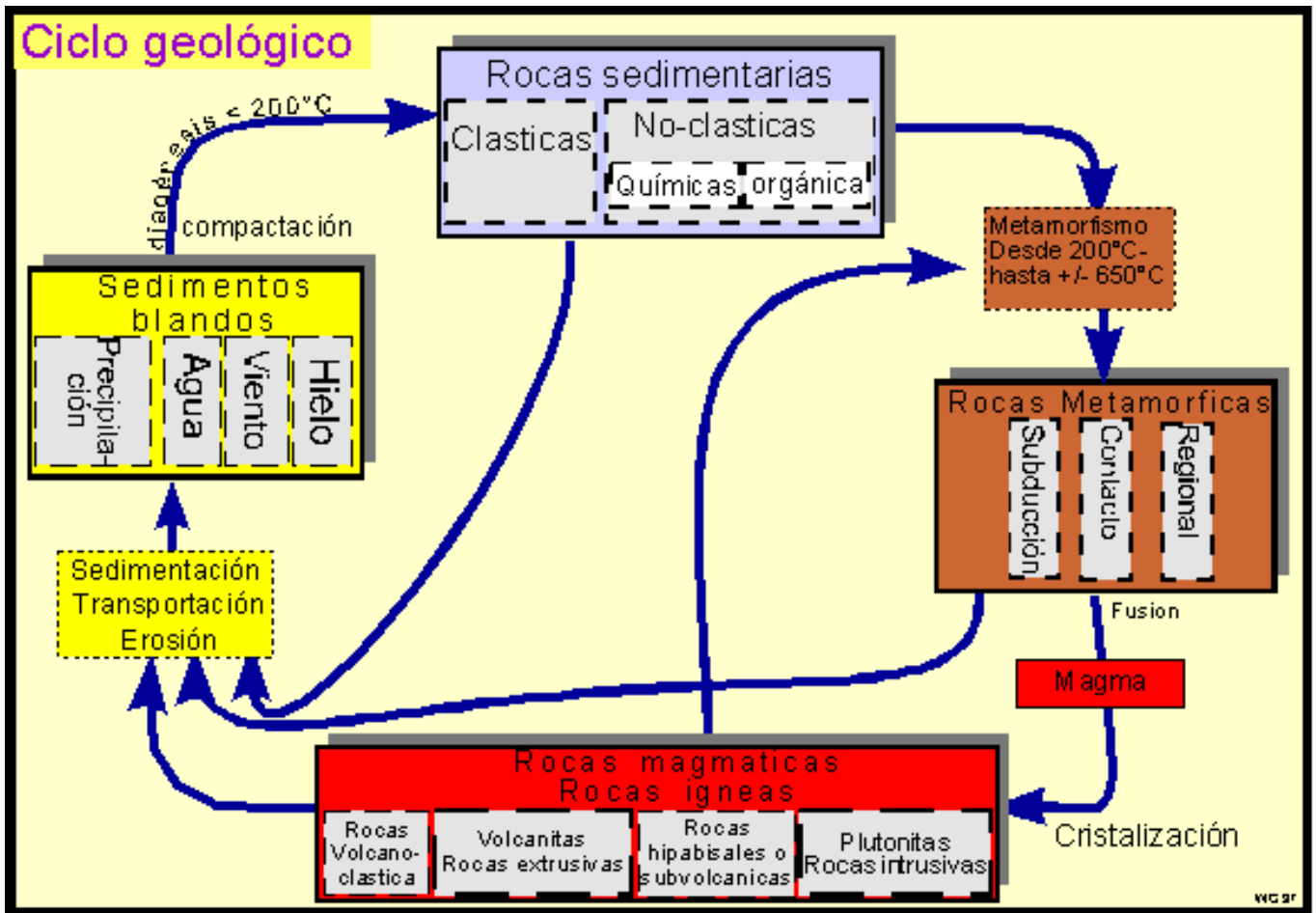


Figura 3.2.- Ciclo geológico

En la superficie terrestre todas las rocas están expuestas a los procesos de meteorización y erosión. En consecuencia las rocas están desarmadas es decir trituradas en fragmentos de rocas y minerales y/o están disueltas por reactivos químicos como por soluciones acuosas de cierto pH (= potencial de hidrógeno), de cierto potencial redox (Eh), de cierta temperatura y de cierta presión. Los componentes disueltos como iones, moléculas y complejos químicos son transportados en solución y se depositan en un lugar de condiciones ambientales, que favorecen su precipitación y que por consiguiente difieren de las condiciones causantes de su solución.

Las componentes disueltas pueden precipitarse formando minerales distintos con respecto a aquellos, de que se derivan. Por ejemplo la componente “calcio” de una labradorita, que es una plagioclasa básica con un alto contenido en calcio, se disuelve y precipita en otro lugar formando calcita. Las componentes detríticas como los fragmentos de rocas y minerales pueden ser transportadas por agua, viento y hielo y depositadas en otro lugar.

Cuando se depositan las componentes detríticas y químicas primeramente forman sedimentos blandos como la arena, un lodo de minerales arcillosos o un lodo de caliza. Por hundimiento, compactación y cementación los sedimentos se convierten en rocas sedimentarias sólidas. Los procesos responsables para la transformación de una roca sedimentaria blanda a una roca sedimentaria compacta son los procesos diagenéticos. Por tales procesos o es decir por diagénesis una arena se convierte en una arenisca por ejemplo.

Cuando el hundimiento continúa, las rocas se calientan y su temperatura sobrepasa la temperatura $T = 200^{\circ}\text{C}$, que es el límite superior de temperatura para los procesos sedimentarios. A temperaturas más altas los procesos, que actúan en una roca (sedimentaria, magmática o ya metamórfica) y la transforman, pertenecen al metamorfismo. En el límite superior del metamorfismo las rocas metamórficas empiezan a fundirse. Este límite depende de las condiciones de temperatura y presión presentes y de la composición de la roca. Un

granito se compone en parte de minerales con grupos $(OH)^-$ como los anfíboles y las micas, que determinan una temperatura de fusión relativamente baja, a $T = 650\text{ }^\circ\text{C}$ con $p = 4\text{ kbar}$ las componentes empiezan a fundirse.

Para un basalto compuesto de minerales como plagioclasa, olivino y piroxeno, que no llevan grupos $(OH)^-$ la temperatura de fusión inicial es mucho más alta ($T \geq 1000^\circ\text{C}$). La fusión de las rocas metamórficas las convierte en magma.

En la figura 3.3 se muestran los principales tipos rocosos y modos de ocurrencia típicos.

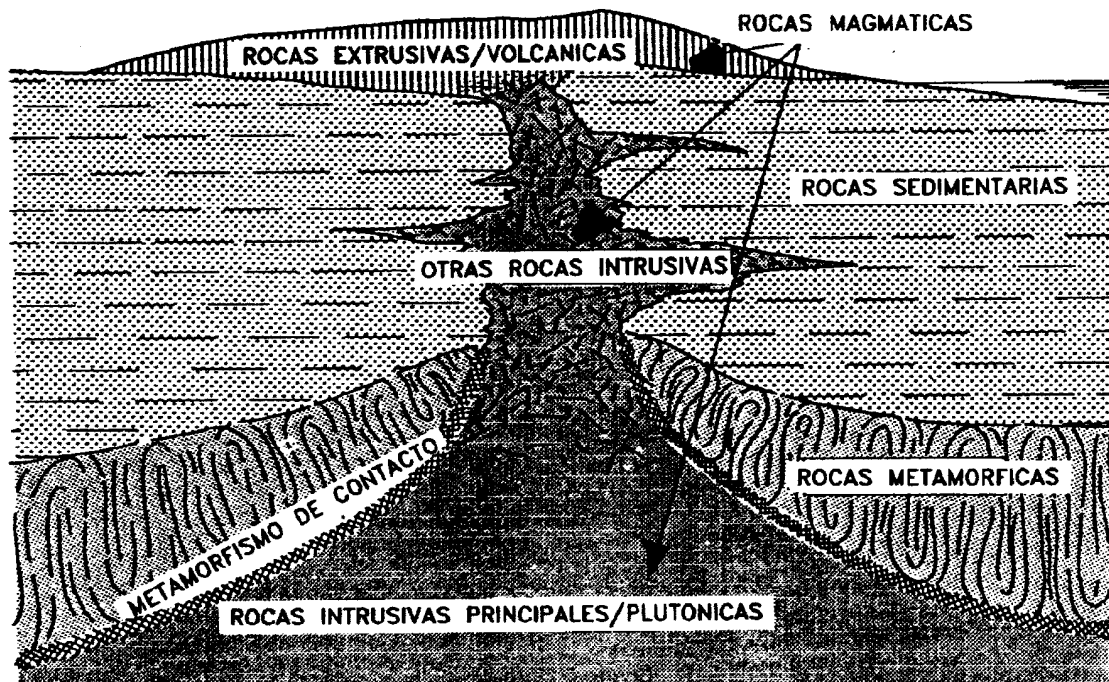


Figura 3.3.- Principales tipos rocosos y modos de ocurrencia típicos.

3.1.-Rocas Eruptivas o Ígneas.

Las rocas ígneas son las derivadas de material fundido o magma de composición fundamentalmente silicatada, que se ha originado por debajo de la superficie terrestre y solidificado en o cerca de la superficie del terreno (por ejemplo, basalto y granito). Existen tres tipos de rocas ígneas:

- Las intrusivas o plutónicas (enfriamiento de Magma en el interior de la corteza terrestre y zonas profundas),
- Las filonianas (a poca profundidad)
- Las efusivas o volcánicas (al exterior).

Generalmente un magma tiene una densidad menor que una roca sólida, por lo cual puede subir hacia arriba apoyado por la alta presión y por los gases contenidos en él, y como factor muy importante por un régimen tectónico de expansión. Sí el magma sube hacia la superficie se va a formar un volcán. Pero algunas veces no alcanza para subir hacia la superficie por falta de presión, entonces se van a formar diques, stocks o lacolitos cuales pertenecen a las rocas hipabisales (Figura 3.1.1).

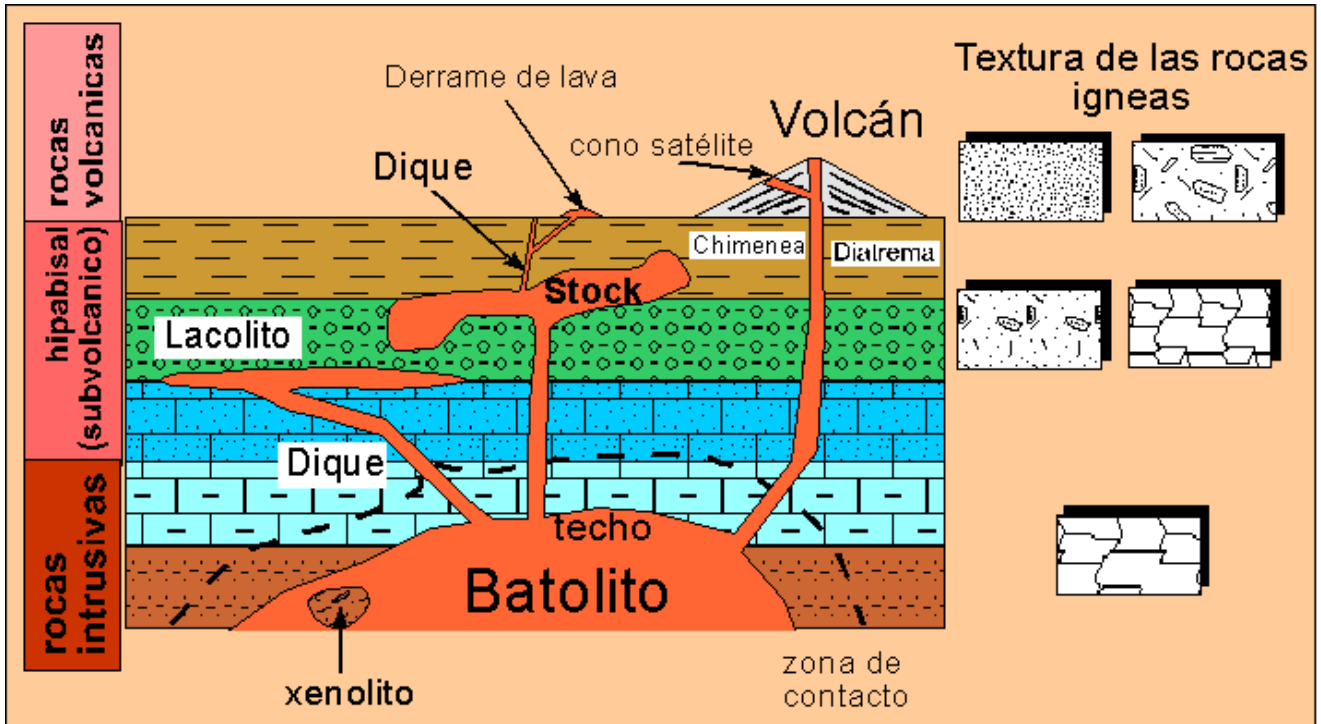


Figura 3.1.1.- Presencia de las rocas ígneas

Los magmas están compuestos por diferentes silicatos. Se conocen como magmas ácidos los que tienen contenidos altos en sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3). Son más viscosos y tienen temperaturas de fusión inferiores a $900\text{ }^\circ\text{C}$. Los magmas básicos tienen concentraciones mayores en CaO , MgO , FeO , son más fluidos y tienen temperaturas de fusión entre 1.000 y $1.200\text{ }^\circ\text{C}$. Las dos rocas ígneas más conocidas proceden respectivamente de magmas ácidos (los granitos) y básicos (los basaltos). Los minerales ferromagnesianos dan origen a magmas ultramáficos.

En la [tabla 3.1.1](#) y [3.1.2](#) puede verse una clasificación de las rocas ígneas basada en el tanto por ciento de sílice y en el tanto por ciento de sílice y el tamaño de grano, respectivamente. Pueden ser:

- Ácidas: ($> 66\%$ de sílice, tienen silicatos aluminicos que les dan colores claros y densidad de 2.3 a 2.7, es decir poco densas).
- Intermedias (52- 66 % de sílice y rocas poco densas).
- Básicas (45 - 50 % de sílice, sin cuarzo libre y con silicatos de Fe y Mg que les dan color oscuro. Rocas densas y bastante oscuras (basaltos y garbos) Se les denomina sima y forman la mayor parte de la corteza terrestre, flotando en ellas el sial (rocas ácidas) por ser más ligeras.
- Ultrabásicas (0 - 45 de sílice y suelen ser rocas muy densas y de color oscuro (peridotita). El color depende de la cantidad de minerales ferromagnesianos que aparezca.

Según su estructura pueden ser:

- Granudas: minerales en cristales del mismo tamaño.
- Porfídicas: grandes minerales sobre fondo vítreo.
- Vítreas: son masas amorfas.

Tabla 3.1.1.- Clasificación mineralógica de las rocas ígneas según el contenido de sílice.

| SiO ₂ (%) | NOMBRE | COLOR | DENSIDAD | EJEMPLOS |
|----------------------|--------------|------------|-------------|-------------------|
| 0-45 | Ultrabásicas | Muy oscuro | Muy densas | Peridotita |
| 45-52 | Básicas | Oscuro | Densas | Gabro, Basalto |
| 52-65 | Intermedia | Claros | Poco densas | Diorita, Andesita |
| 65-100 | Ácida | Claros | Poco densas | Granito, Riolita |

Tabla 3.1.2.- Clasificación de las rocas ígneas basada en el contenido de sílice y en el tamaño de grano.

| Acidas | Intermedias | Básicas |
|---|-------------|--|
| Rocas de grano grueso (plutónicas) (tamaño de grano mayor de 5mm; potencialmente frágiles por la presencia de grandes cristales) | | |
| Granito | Sienita | Gabro |
| Granodiorita | Diorita | Norita |
| Rocas de grano medio (hipoabisales) (tamaño de grano entre 5 y 1 mm; intercrecimiento cristalino frecuente - buenos áridos para carreteras) | | |
| Microgranito | Pórfido | Dolerita |
| Granófiro | Porfirita | |
| Rocas de grano fino (volcánicas) (tamaño de grano menor de 1mm, es decir, no visible a simple vista; algunas rocas pueden ser frágiles y lajables - por lo demás buenos áridos) | | |
| Riolita, pumita | Traquita | Basalto |
| Felsita | Andesita | |
| ← Variación continua en las propiedades y la composición → | | |
| Color claro | | Color oscuro |
| Densidad relativa baja (2.6) | | Alta densidad relativa (2.9) |
| Alto porcentaje de sílice (66% +) ortoclasa | | Alto contenido en minerales ferromagnesianos (máficos) y plagioclasa |

(según Fookes 1975)

Las más importantes son:

EL GRANITO: Constituido por un 20 a 40 % de cuarzo, 15 a 55 % de feldespato y 14 a 56% de mica. Según predomine uno de estos elementos se denominan cuarzosos, feldespáticos o micáceos. Contienen también apatito, turmalinas y granates. Es una roca muy antigua que aparece en grandes masas (batolitos) que se quiebran en bloques con grietas llamadas diaclasas. Presentan a veces manchas oscuras llamadas gabarros.

Los granitos micáceos se alteran con la humedad y el anhídrido carbónico que atacan al feldespato y a la mica. Se evita con el pulimento, haciéndose muy duraderas (acueducto de Segovia, Escorial, Puerta de Alcalá).

Su densidad aparente es de 2.6 a 3, su densidad real de 2.6 a 3.2. La absorción del agua es del 0.1 al 0.7 % de su peso. Su resistencia a compresión de 80 a 270 MPa, a tracción 3 MPa y a cortadura 8 MPa. El desgaste por frotamiento es de 4 a 7 cm³.

Se emplea mucho por su gran resistencia y duradero pulimento, pero no admite labras complicadas. No es refractario, pero resiste altas temperaturas. Es muy abundante en España (Castilla, Andalucía, Galicia y Cataluña).

Sienita: No tiene cuarzo. Está constituida por ortosa, plagioclasa (feldespatos), biotita (mica), hornblenda y angita, siendo de color gris, verde o rojizo. Es térmicamente similar al granito. Siendo una piedra blanda, admite buen pulimento y se usa en decoración. Es poco abundante.

Diorita: Similar a las anteriores y de análogas propiedades. Color verde oscuro. Está compuesta por plagioclasa, hornblenda y angita. Alguna variedad tiene cuarzo. Se emplea en decoración y talla por su buen pulimento y en pavimentación por su dureza.

Peridoto: Constituido por olivino, piroxeno y anfíbol. Color oscuro y muy duro. Es de fácil alteración, convirtiéndose en amianto y serpentina.

Gabro: Formada por plagioclasa y diálaga de granos gruesos y sin cuarzo. También contiene minerales como apatito, magnetita y olivino que le da dureza. Admite bien el pulimento.

Serpentina: Según su estructura puede ser:

- Crisolito: (fibrosa) con las variedades de serpentina noble, común y amianto.
- Antigonita: (Hojoso-pizarroso).

Contiene en cantera hasta un 10 % de agua, pudiéndose tallar y tornearse fácilmente y endureciendo luego. No resiste a los agentes atmosféricos. Tiene buen pulimento. Se usa en ornamentación de interiores. Tiene un alto punto de fusión (1550°).

Pórfido granítico: Igual composición que el granito con fenocristales (grandes cristales aislados) de cuarzo, ortosa y biotita. Es muy corriente.

Pórfido sienítico: Composición igual a las sienitas. Tiene anfíbol y falta de cuarzo. Color pardo. Se usa abundantemente en adoquines.

Aplitas: Compuestas de ortosa, plagioclasa y mica. Se usa en ornamentación.

Pegmatitas: Análogas a las aplitas. Su estructura es de feldespato con cuarzo incrustado en dibujos. Se usa en firmes de carreteras por su fácil extracción y trituración.

Pórfido cuarzoso o felsita: Formada en fenocristales de cuarzo, ortosa, plagioclasa y a biotita, sobre una parte de granos finos. Es muy dura (resiste a compresión de 2900 a 3500 Kg/cm²). Se usa en pavimentos.

Riolitas o liparitas: De composición granítica y estructura fluida. En vez de ortosa contiene anidino. Forma vidrios volcánicos como la obsidiana y la pumita o piedra pómez (esponjosa de estructura en agujas y fibras, muy ligera). Se usa en ladrillos aislantes y para pulir.

Traquita: Semejante a la sienita pero sin cuarzo. La constituyen la plagioclasa, sanidino, piroxeno, hornblenda y biotita. Es áspera y se adhiere a los morteros, pero es poco resistente.

Fenolita: Traquita con nifelina. Se parte en placas fácilmente. Se usa en techos para resistir agentes atmosféricos.

Diabasa: Formada por plagioclasa, angita y piroxeno anfíbol y olivino alternados, pasando su color negro a verdoso amarillento. Tiene estructura zafítica con la plagioclasa en forma de agujas entrecruzadas. La dura se usa pulida en ornamentación y la cuarteada en gravas de firmes.

BASALTO: Constituida por plagioclasa, augita, olivino y magnetita en fenocristales. Es duro, compacto y oscuro. De gran resistencia. Si es antiguo se llaman meláfidos y si es granudas, doleritas. Se agrupa en prismas que se extraen fácilmente para adoquines y balastro. Algunas se disgregan por agentes atmosféricos. Su densidad aparente es de 2.6 a 3.06. La real es de 2.9 a 3.2. Absorbe el agua en un 0.1 a un 0.7% en peso. Resiste a compresión de 100 a 580 MPa. Su desgaste es de 5 a 10 cm³.

3.2.- Rocas sedimentarias.

Los procesos sedimentarios son fenómenos de la superficie terrestre y del agua y comienzan con la destrucción de las rocas sólidas por Meteorización-Erosión-Transporte. Todas las rocas que afloran superficialmente (magmáticas o metamórficas o sedimentarias) sufren las fuerzas atmosféricas como temperatura, viento, flujo de agua y oxidación. La destrucción de una roca sólida, el transporte y la deposición (= sedimentación) de estas partículas forman sedimentos, que son el producto de la meteorización-erosión y transporte: rocas blandas como arena y grava.

Por temperatura, presión y transformaciones químicas un sedimento blando puede cambiar a una roca sedimentaria (dura). Este proceso se llama diagénesis. Los procesos sedimentarios generalmente son muy complejos y dependen de muchos factores.

La formación de una roca sedimentaria (Figura 3.2.1) comienza, en la mayor parte de los casos, con la transformación de una roca preexistente ya sea ígnea, metamórfica o incluso sedimentaria, en detrito, como consecuencia de los procesos de hipergénesis (meteorización y alteración química de la roca) y continúa con su transporte (acción eólica o acuosa) y sedimentación en una cuenca sedimentaria, formando el sedimento.

Finalmente y mediante la actuación de los procesos diagenéticos (compactación del sedimento, reducción de la porosidad, cementación, etc.) el sedimento se transforma en roca, en respuesta al reajuste de las condiciones ambientales durante el enterramiento (Figura 3.2.2). Sin embargo existen otros tipos de rocas sedimentarias cuya génesis no necesita de la formación de un detrito ni de su posterior transporte, unas son rocas originadas por precipitación química y otras con un origen orgánico.

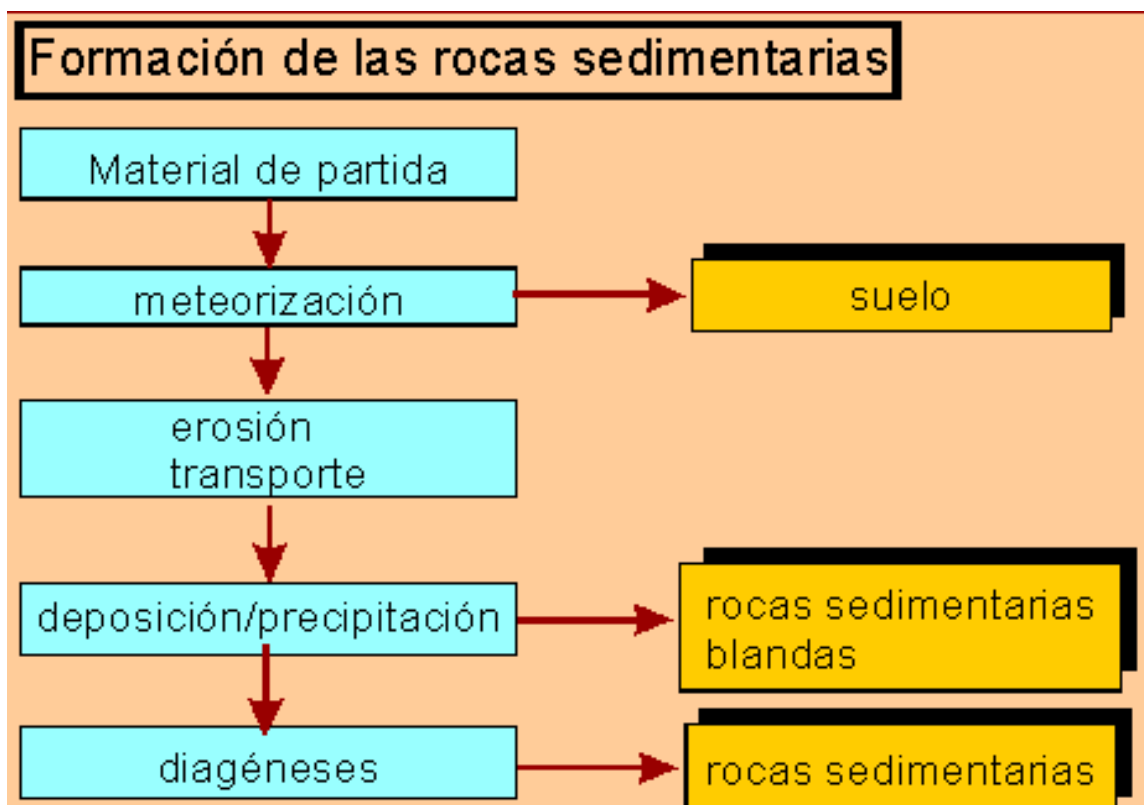


Figura 3.2.1.- Formación de las rocas sedimentarias.

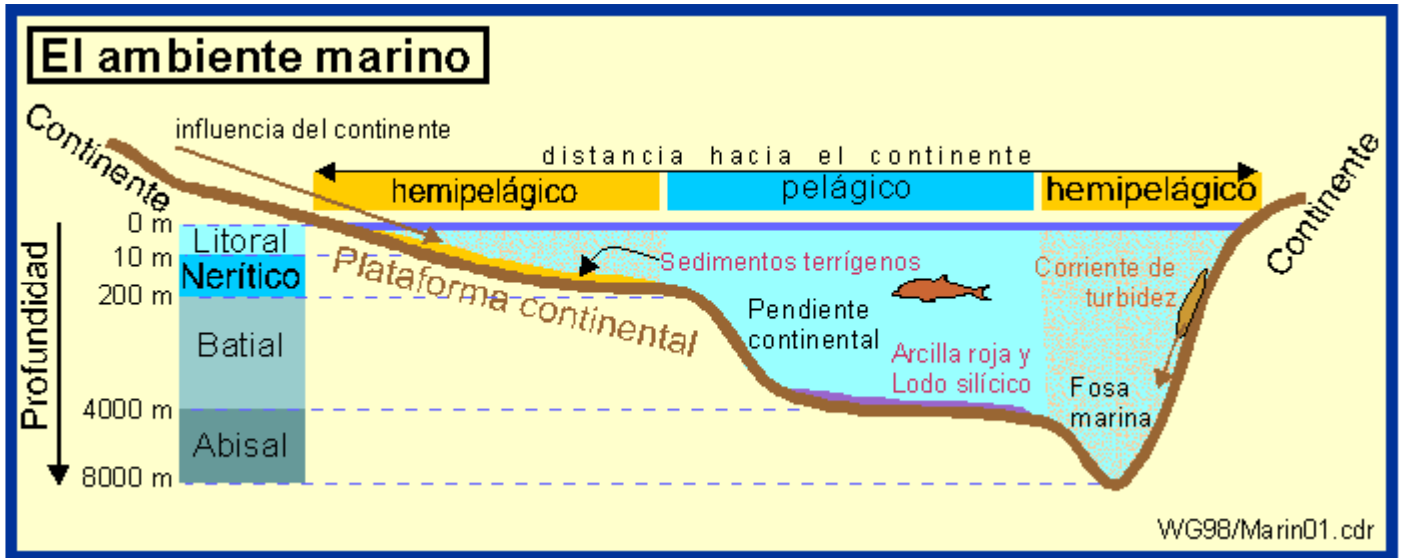


Figura 3.2.2.- Formación de las rocas sedimentarias en un ambiente marino.

La meteorización mecánica puede tener lugar por:

Cambio de la temperatura (Figura 3.2.3). Los minerales aumentan su volumen a temperaturas altas. Los minerales tienen diferentes propiedades a respecto de la dilatación. Entonces durante día y noche los minerales en una roca cambian su volumen en diferentes magnitudes. Eso al final provoca un rompimiento de los contornos entre los minerales. Los factores de este proceso son: Temperatura mínima, temperatura máxima, tipos de minerales juntos.

Meteorización por helada (Figura 3.2.3). Agua que se ubica adentro de una roca (en grietas o poros) aumenta su volumen durante en el momento de congelarse. Las fuerzas desarrolladas durante de este proceso podrían romper una roca. Los factores son: sector con muchos traspasos entre temperaturas positivas y temperaturas bajo cero. Rocas fracturadas o con alta porosidad, presencia de agua. Por ejemplo en la Cordillera de los Andes en 4000 m de altura cada noche las temperaturas bajan hacia bajo cero, al día por el sol las rocas se calientan.

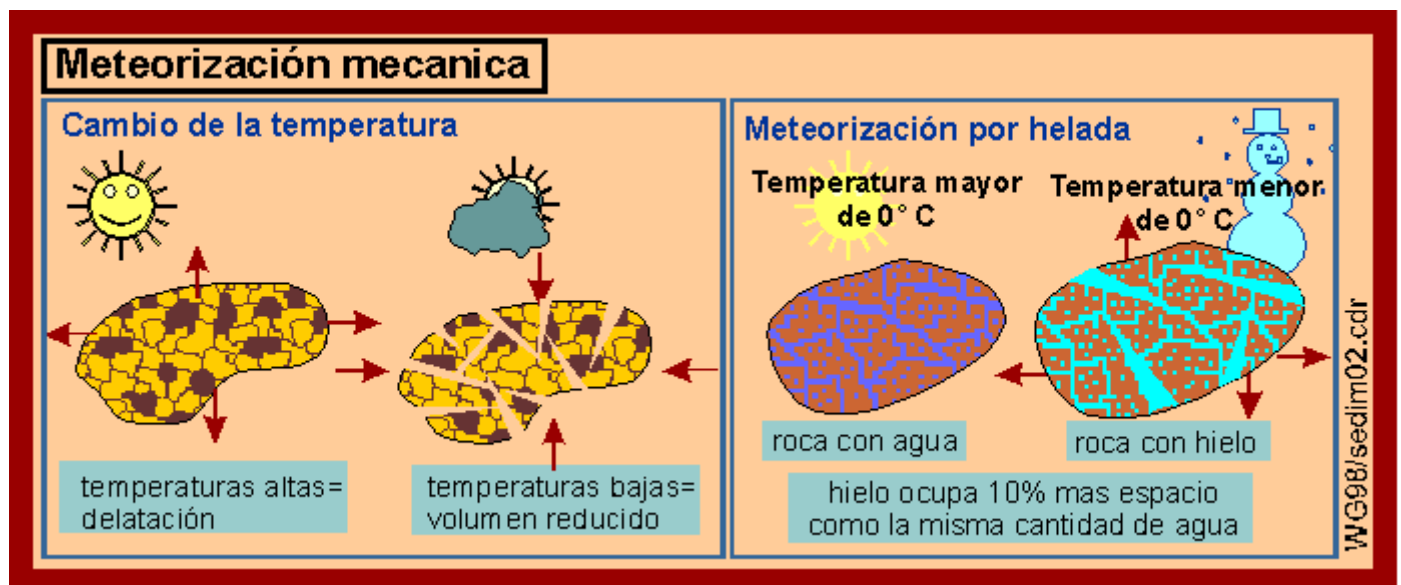


Figura 3.2.3.- Meteorización mecánica por cambio de temperatura y por helada.

Por tanto, una primera clasificación de las rocas sedimentarias es (Tabla 3.2.1):

Rocas detríticas o de origen mecánico (clásticas):

- Conglomerados: ortocuarcitas y arcosas.
- Areniscas: litoarenitas y grauvacas.
- Lutitas.

Rocas de precipitación química:

- Carbonáticas: calizas y dolomías.
- Evaporitas: yesos, anhidritas, alabastros.
- Silíceas inorgánicas: sílex.
- Fosfáticas inorgánicas.
- Depósitos de hierro y manganeso.

Rocas de origen orgánico:

- Carbonáticas, silíceas y fosfáticas orgánicas: formadas por acumulación de restos orgánicos cementados por carbonatos de precipitación química.
- Carbones.
- Petróleos.

Tabla 3.2.1.- Clasificación esquemática de las rocas sedimentarias.

| Roca original | Ambiente metamórfico - condiciones de presión y temperatura | |
|--|--|---|
| | Bajo grado enterramiento somero | Grado medio y alto - enterramiento profundo |
| arcilla, lutita y toba volcánica arenisca arcillosa caliza arcillosa granito*, toba cuarcítica basalto*, toba volcánica básica | Rocas foliadas y planares (efectos de la enorme presión) pizarra grauvaca -arenisca*† mármol pizarroso*† granito exfoliado, pizarra esquisto verde (clorítico), | filita, esquisto, gneis* micaesquisto, gneis de grano fino esquisto calcáreo gneis-granítico*, micaesquisto amfibolita (esquisto amfibólico), gneis hornbléndico |
| cualquier roca original | Rocas no foliadas masivas (efectos de la enorme temperatura) | corneanas* (algo de recristalización, pero a menudo todavía quedan características originales) |
| arenisca cuarzosa* | arenisca cuarcítica* | cuarcita* (incluye mica si es impura) = samita*, granulita* (fundamentalmente cuarzo, feldespato + algo de mica) |
| caliza* y dolomía* | mármol* (si es impuro, contiene una amplia variedad de silicatos de calcio y magnesio al aumentar progresivamente el grado metamórfico) | |

* Rocas con mas probabilidad de ser aptas para su empleo como áridos.

† Algunas rocas que contienen minerales de arcilla podrían no dar buen resultado en algunas aplicaciones.

Las rocas de origen mecánico pueden ser:

Rocas incoherentes o disgregadas.

Su origen es de fragmentos de rocas en bloques que luego a su vez se transforman en cantos rodados, gravas, arenas, etc. Por ejemplo: Grava (100 a 30 mm), Gravilla (30 a 15 mm), Arena (5 a 0.2 mm). A su conjunto se le denomina zahorra, estando disgregadas y compactándose por compresión o por un aglomerante. Se encuentran en aluviones o depósitos.

Rocas sedimentarias compactas.

Son rocas incoherentes compactadas por compresión o por aglomeración de un cemento. Entre ellas pueden citarse:

Conglomerados: Son rocas duras conglomeradas por un cemento llamándose Brechas si son de aristas vivas y cementadas en el lugar de fragmentación y Pudingas si son redondeadas por un acarreo previo. Algunas brechas calizas se usan en ornamentación por su pulimento.

ARENISCAS: Son cuarzosas de ángulos vivos con cementos de diversas naturalezas.

Las silíceas o cuarzosas son grises o blancas, duras y resistentes a agentes atmosféricos. Se emplean en muchas obras. De estas la piedra molar es tenaz y resistente, usándose en molinos.

Las calizas, son atacadas por agentes atmosféricos. Se calcinan al fuego y son poco resistentes. Las arcillosas son blandas y no resisten la acción del tiempo. Las margosas son claras y poco resistentes. El cemento es arcilloso calcáreo. La pizarrosa es análoga pero de estructura laminar. Buena resistencia. Se usa para techar.

Todas ellas poseen las propiedades siguientes:

- Densidad aparente 1.9 a 2.65 g/cm³.
- Densidad real 2.6 a 2.7 g/cm³.
- Absorción de agua de 0.5 a 10% en peso.
- Resistencia a compresión de 15 a 320 MPa.
- Desgaste de 30 a 100 cm³.
- Se usan en mampostería, sillería y escultura por su fácil labra.

Entre las rocas sedimentarias de origen químico destacan las siguientes:

Yeso: Sulfato cálcico cristalizado con agua. Depositado por desecación de lagos. Forma estratos lenticulares con cloruro sódico. Su estructura puede ser compacta, granuda, laminar, fibrosa e incolora si es pura. El hierro y las arcillas lo tiñen. Su densidad es de 2.6. Es blanco y se raya con la uña. Puede ser soluble al agua y se usa en interiores. Resiste a compresión de 6 MPa.

El alabastro yesoso es una variedad que se usa en escultura y ornamentación.

La anhidrita no tiene agua. Es más dura que el yeso aunque absorbe rápidamente agua, no pudiéndose usar constructivamente.

Calizas: Roca a base de carbonato cálcico de origen químico, orgánico y metamórfico.

Las de origen químico son precipitación de disoluciones bicarbonatadas como la pisolita, tobas calizas, estalactitas, etc... o descomposición de carbonatos amónicos y sulfato cálcico (colitas, calizas espumosas y fibrosas).

Las orgánicas son esqueletos y caparazones de animales (coralina, numulítica, creta, marga...), siendo las metamórficas la dolomía y el mármol.

La pisolita es de aspecto granulado formado por granos de arena cubiertos por capas concéntricas y cementadas con aragonito. Las tobas calizas (Travertinos) son precipitaciones de aguas calizas sobre plantas (algas). La caliza litográfica es de grano uniforme fino. Contiene fósiles marinos. Se usa en ornamentación.

Las estalactitas son aguas de techos en las cuevas que contienen bicarbonato cálcico que al caer forman conos. Las estalagmitas se forman en el suelo. La oolita está formada por pequeños granos de núcleo de arena o concha. Se usa en sillería y cal.

La caliza fibrosa se compone de barros coloidales calizos que se convierten en caliza al perder el coloide. Su estructura es fibrosa.

Todas son de buen material en construcción. Se usan en mampostería y hasta en decoración. También para fabricar cales y cementos. En vidrios y hierros. Entre sus características destacamos: su densidad aparente es de 1.87 a 2.82 g/cm³. Su densidad real es de 2.62 a 2.87 g/cm³. Su absorción en agua es de 2 a 8 % del peso. Su resistencia a compresión de 25 a 200 MPa. Su desgaste de rozamiento de 30 a 40 cm³.

Dolomia: Roca de carbonato cálcico y también magnésico. Tiene color gris blanco o amarillento. La de estructura granular se usa en construcción y escultura, dando buenos mármoles. La ataca la humedad y las atmósferas ácidas. Entre sus propiedades destacan la densidad aparente es de 2.1 a 2.95 g/cm³. La densidad real es de 2.85 a 2.95 g/cm³. La absorción de agua es de 0.3 a 0.8 % en peso. La resistencia a compresión de 50 a 120 MPa.

Rocas silíceas sedimentarias: Constituidas por cuarzo, calcedonia y ópalo. Formadas por acumulación de caparazones o plantas (diatomeas). Sus esqueletos están formados por un gel silíceo.

El Kieselgur es tierra de infusorios, terrosa. Tiene muchos poros (el sílice sólo es el 20% del volumen de la roca). Su densidad aparente es de 0.1. Se usa en fabricación de dinamita con la nitroglicerina. Es aislante del calor y del sonido.

3.3.-Rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas son productos del metamorfismo, es decir de la transformación de una roca preexistente (sedimentaria, ígnea o metamórfica) (**Figura 3.3.1**) por recristalización y por cristalización de nuevos minerales estables bajo las nuevas condiciones metamórficas manteniendo el estado sólido. La transformación es debida a un aumento de la temperatura (> 200 °C) y/o altas presiones. Como consecuencia de ello, la roca adquiere unas nuevas y notables características, por ejemplo, pizarras, esquistos, gneises, etc. Su composición química y mineralógica es similar a las de las rocas eruptivas y tienen cuarzo y silicatos. Tienen también talco, clorita, mica, serpentina...

Generalmente los procesos metamórficos actúan en profundidades relativamente altas con respecto a la superficie.

La temperatura es el factor más importante en procesos metamórficos, puesto que la mayoría de las reacciones metamórficas se debe a variaciones de la temperatura. Las variaciones de temperatura hacen necesario un aporte de calor a la roca. La fuente calorífica puede ser un cuerpo intrusivo cercano, un arco magmático relacionado con una zona de subducción o una fuente calorífica regional profunda como el calor derivado del manto por ejemplo.

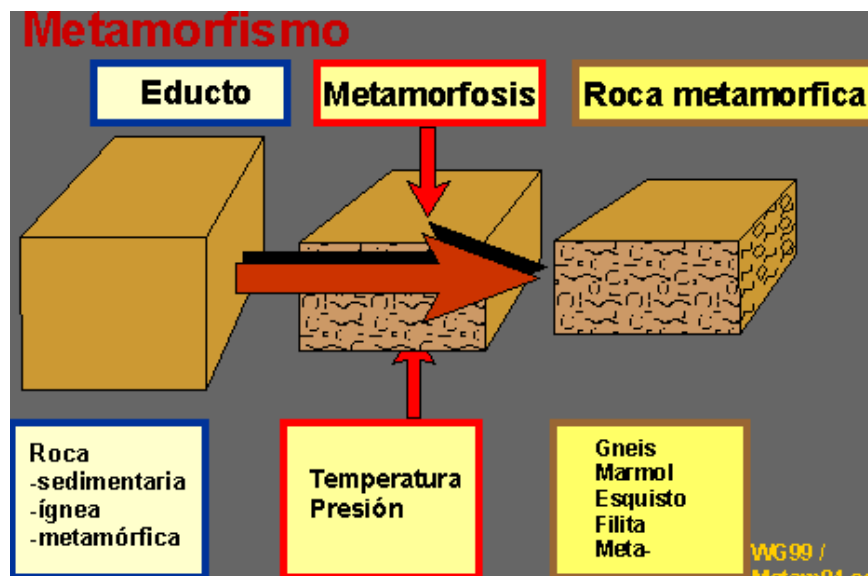


Figura 3.3.1.- Formación de las rocas metamórficas.

La presión de carga es el segundo factor importante, es causado por la masa de las rocas sobreyacentes y depende de la profundidad y de la densidad de las rocas sobreyacentes. Por ejemplo una pila rocosa de 1km de potencia de:

- granito ejerce una presión de carga de 264 bar,
- basalto ejerce una presión de carga de 294 bar,
- peridotita (ultramáfica, de olivino, típica para el manto superior) ejerce una presión de carga de 323 bar,
- agua ejerce una presión de carga de 98 bar.

En la tabla 3.3.1, puede verse el origen y la clasificación de las rocas metamórficas.

Tabla 3.3.1.- Origen y clasificación de las rocas metamórficas.

| Característica principal | Material constituyente (no consolidado) | Roca equivalente (consolidada) |
|--|--|---|
| Detríticas (selección mecánica) incluido volcánicas | | |
| Diamícticas | Arcilla con bloques | Tillita |
| De cantos | Cantos, grava (superior a 5mm) Canchal, emisiones volcánicas | Conglomerado*, aglomerado* (volcánico) Brecha*, brecha volcánica* |
| Arenosas | Arena (0.06-5.0mm) | Arenisca*, con variedades en función del cemento (silíceo, calcáreo, arcilloso, ferruginoso) o mezclas de otros minerales distintos del cuarzo (feldespato, fragmentos líticos = arcosa*, grauvaca*, toba*) |
| Lodosas | Limo (0.002-0.06 mm), loess Arcilla (menor de 0.002 mm) | Ganister, tierra para ladrillos Argilita, lodolita |
| Químicas y bioquímicas (orgánicas) | | |
| Calcáreas | Conchas, corales, crinoides CO ₂ Ca precipitado (CO ₂) ₂ CaMg precipitado o de reemplazamiento | Calizas* (conchífera, coralina, crinoidea) Caliza oolítica, estalactita, toba Dolomía* o caliza dolomítica* |
| Silíceas | Gel de sílice, fósiles silíceos | Pedernal*, sílex*, diatomita |
| Salinas | Precipitados salinos (lago) | Evaporitas, costras* |
| Carbonosas | Turba, hidrocarburos líquidos | Carbones, pizarras bituminosas |
| Ferruginosas | Carbonato de hierro, silicato de hierro | Menas de siderita y chamosita |

* Rocas con más probabilidad de ser aptas para su empleo como áridos (según Blyth & de Freitas 1984).

Las rocas metamórficas más importantes son:

Gneis: De composición granítica. Estructura hojosa y pizarrosa. Su densidad y dureza es análoga al granito. La resistencia a compresión es de 150 a 230 MPa. Se usa en pavimentación por ser áspera y dividirse en lajas.

PIZARRAS: Proceden de la metamorfosis de las arcillas.

Las Arcillas pizarrosas son sedimentarias arcillosas. Ligeramente metamórficas. Tienen arcilla, cuarzo, mica, feldespato, calcita... Su estructura laminar es compacta. No es dura y se puede clavar. Su densidad aparente es de 2 a 3.5. Su resistencia a flexión de 300 a 400 Kg/cm² y a compresión de 600 a 900 Kg/cm². Se usan para techar, siendo homogéneas y sin grietas y no conteniendo piratas ni carbonato cálcico que las hace alterables. Se usan también en pavimentos, para esmerilar y para afilar.

Las Pizarras cristalinas se diferencian del gneis por no tener feldespato. Entre estas están las Micacitas, que están compuestas de cuarzo y mica y se usan para techar y para pavimentos y las Talcocitas, compuestas de talco y cuarzo. Es refractaria y se usa en hornos y estufas.

La Filita (Pizarra satinada) es de cuarzo, mica, clorita y hierro. Fácilmente se divide en placas. Se usa en techos y zócalos.

CUARCITAS: Proceden de la arenisca. La componen el cuarzo con mica, turmalina, granates... Tiene color claro, son compactas y duras. Se usa en grava y balastro.

MÁRMOLES: Son rocas calizas metamórficas de caliza cristalizada y minerales como mica, serpentina, grafito en los oscuros y óxido de hierro en los rojos. Según su estructura son:

- sencillos (color uniforme).
- policromos (varios colores).
- Veteados.
- brechas (fragmentos).
- brocateles (pequeños).
- arborescentes (vegetales).
- lumaquelas (con conchas).

Según el uso se clasifican en:

- estatuarios (color uniforme, compactos y de fácil labra).
- arquitectónicos (resistentes, bello color, uso en chapas y pavimentos).

Se caracterizan por su color, brillo, bello pulimento y resistencia a los agentes atmosféricos. No se deben arrancar con explosivos porque se agrietan.

Propiedades:

- Dureza 3.
- Densidad aparente de 2 a 2.8.
- Densidad real de 2.6 a 2.8.
- Absorción de agua de 0.1 a 0.5 % en peso.
- Resistencia a compresión de 40 a 280 MPa.
- Desgaste a rozamiento de 20 a 40 cm³.

En cuanto a comportamiento químico, los mármoles son débiles a la acción de los ácidos, incluso al cítrico y al láctico, dependiendo de su contenido en carbonatos.

Es necesario destacar que los mármoles proceden del metamorfismo de calizas y dolomías, en cuyo proceso aumenta su grano, pierde la estratificación y elimina las impurezas que se convierten en otros minerales,

generalmente silicatos. Este fenómeno puede no completarse por lo que muchos de los pretendidos mármoles comerciales, no son sino calizas susceptibles de brillo y pulido.

Algunas variedades a destacar son en blancos: Carrara, Almería y Yugoslavia. Cremas: Morata, Visemar, Marfil, Emperador, Coralito. Grises: Macael, Rambla. Negros: Flandes, Calatorao, Marquina, Callosa y Paular. Rosas: Portugués y Valencia. Rojos: Aspe, Monóvar, Enguera, Granada y Rentería.

4.- CARACTERÍSTICAS Y UTILIZACIÓN DE LAS ROCAS.

4.1.- Rocas sedimentarias.

La diversidad de composición y de características de las rocas sedimentarias mencionadas, hace aconsejable un estudio separado de cada una de ellas.

4.1.1.- Características utilizadas de las rocas sedimentarias detríticas sueltas.

Las rocas sedimentarias detríticas sueltas están formadas por las gravas, arenas, limos y arcillas cuya separación se hace por tamaños. En las clasificaciones de suelos utilizados en Geotecnia se consideran gravas las partículas cuyos tamaños superan los 2 mm., mientras que cuando se considera el material como árido, gravas son los tamaños superiores a 5 mm.

La separación entre limos y arenas, también varía entre 0.05 y 0.08, siendo este último valor el adoptado por las normas UNE y en la E. H.

Por último, como fracción arcillosa unos consideran todas las partículas por debajo de 0.02 mm y otros este límite lo sitúan en 0.005 mm. Las cuatro fracciones de partículas, se suelen presentar conjuntamente, y según predomine uno u otro, así se denominan gravas arenosas, arenas arcillosas, etc, existiendo también gravas limpias, arenas limpias, limos y arcillas.

4.1.1.1.- Características de la utilización de las gravas.

Las gravas están formadas por los fragmentos de roca redondeados que han resistido sin disgregarse el proceso de erosión, transporte y sedimentación. Por tanto serán los elementos más resistentes de las rocas de que proceden. Aunque pueden tener una composición muy variable, las hay de granito, de esquistos, etc, las más comunes son las gravas silíceas y las gravas calizas.

Las gravas silíceas son duras, formadas por cuarzo que ocupa el puesto 7 en la escala de Mohs y resistentes. Son muy apreciadas como áridos para hormigones y mezclas asfálticas, si bien en estas últimas hay que tener en cuenta el carácter electronegativo de la sílice. A veces se necesitan que tengan caras de fractura, y entonces se machacan.

Las gravas cálcicas, son más blandas que las silíceas. La calcita ocupa el puesto número 3 en la escala de Mohs, y suele tener una resistencia menor, se utilizan también como áridos para hormigones y mezclas asfálticas, teniendo buena adhesividad con cementos y sobre todo con los ligantes bituminosos. Su baja dureza no permite utilizarlas como árido exclusivo en las mezclas asfálticas para capas de rodadura, pues se pulen fácilmente, dando firmes resbaladizos.

Además de esta utilidad como árido que es la principal, las gravas limpias se utilizan en las capas de filtro en las presas de materiales sueltos. Como rellenos estructurales por su buen comportamiento con una ligera compactación y como rellenos en zanjas drenantes.

4.1.1.2.- Características y utilización de las arenas.

Lo dicho para las gravas, es aplicable a las arenas, tanto en su composición como en su resistencia y comportamiento. También las más utilizadas son las silíceas y calizas, con los problemas que las primeras tienen en la fabricación de mezclas asfálticas.

4.1.1.3.- Características y utilización de los limos.

Los limos son partículas finas cuyo tamaño está comprendido entre 0.008 mm. (Tamiz 200 ASTM) y 0,002 mm. Están constituidos fundamentalmente por partículas de sílice o caliza o las dos. En algunas zonas se encuentran limos yesíferos, en los que también se hayan partículas de yeso, lo que los hace más peligrosos en las obras públicas, por la posibilidad de disolución.

Es un mal material para las obras públicas, aunque se ha usado para construir pantallas impermeables.

4.1.1.4.- Características y utilización de las arcillas.

Las arcillas son los silicatos alumínicos de diferentes elementos, Na, Ca, K, Mg, Fe, que proceden de la descomposición, de los minerales silicatados, feldespatos, plagioclasas, moscovita, biotita, etc. Aparte de su composición, distinta de la de los limos, las arcillas suelen tener propiedades coloidales y los limos no. También suelen tener mayor plasticidad, y en eso se basó Casagrande para diferenciar los limos de las arcillas.

Existen cuatro familias de arcillas más importantes, en función de su estructura, de ellas las más frecuentes en España son la clorita, illita y caolinita dentro de las no expansivas, y la montmorillonita y vermiculita dentro de las expansivas.

Como material para rellenos compactados se utiliza para construir núcleos impermeables en las presas de materiales sueltos. Cuando se excava en desmontes, se utiliza como material de relleno en los terraplenes, ya que está considerado en general como material tolerable salvo el caso de arcillas muy plásticas.

Se utiliza como materia prima en la fabricación de cemento y de productos cerámicos.

4.1.2.- Características y utilización de las rocas sedimentarias detríticas compactas.

4.1.2.1.-Características y utilización de conglomerados y areniscas.

Los conglomerados son rocas formadas fundamentalmente por gravas cementadas, y las areniscas están formadas por arenas cementadas. Estas gravas y arenas pueden ser calizas o silíceas. Pero una diferencia importante entre los tipos de conglomerados y areniscas, la marca la sustancia cementante de estos granos. El cemento puede ser silíceo, calizo o arcilloso o una mezcla de ellos. El cemento de peor calidad lo constituye el arcilloso, que da lugar a rocas disgregables.

Rocas intermedias, en particular cierto tipo de areniscas, son fácilmente trabajables y se utilizan en ornamentación, presentando el inconveniente de su facilidad de alteración.

En la ejecución de obras lineales, los estratos de arenisca normalmente están intercalados entre estratos de margas, y su colocación en obra se hace de forma conjunta con estas, formando parte de los pedraplenes.

4.1.2.2.-Características y utilización de limolitas y arcillitas.

Las limolitas, cuando no están cementadas, o el cemento es arcilloso, son rocas fácilmente desintegrables que se comportarán como limos. Si están bien cementadas con cemento silíceo o calcáreo, se comportarán como cuarcitas o calizas.

Las arcillitas, formadas por arcillas cementadas, también tendrán un comportamiento en función del tipo de cemento, pero al que hay que añadir el propio comportamiento de las arcillas que forman la matriz de la roca. En general es una roca que no se utiliza por su mala calidad como árido, ni en edificación, ni siquiera en escollera, y como relleno formando pedraplenes deben tomarse suficientes precauciones a la hora de compactar para que el comportamiento sea el adecuado.

4.1.2.3.-Características y utilización de las margas.

Las margas constituyen el grupo de rocas intermedias en las que existe una matriz detrítica arcillosa con un cemento calizo, mezclándose entonces los componentes detríticos y no detríticos. En función del contenido en carbonatos, así se distinguen varios tipos de margas (Figura 4.1.2.3.1).

El comportamiento de las margas depende no solamente del contenido de carbonatos, sino también del tipo de arcilla que integre la roca. Así si la arcilla es expansiva su sensibilidad al agua será mayor que si no lo es.

Además de arcilla y carbonatos, por las condiciones de la cuenca de sedimentación, es muy frecuente que las margas contengan yesos, lo que les confiere una particular agresividad frente a los hormigones.

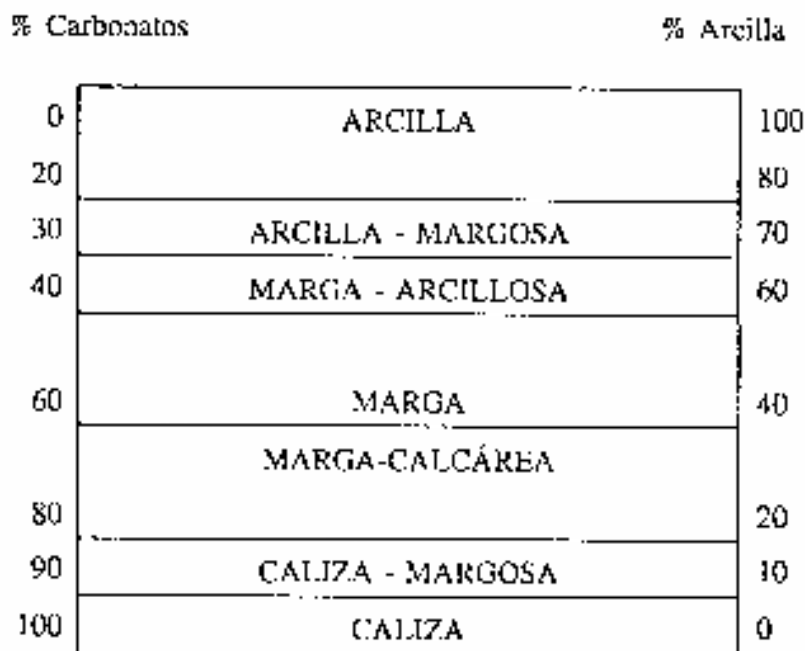


Figura 4.1.2.3.1.- Clasificación de las margas

Las margas, rocas arcillosas con carbonatos, se explotan en cantera principalmente para obtener la materia prima para las fábricas de cemento, ya que en ella se encuentran las arcillas y los carbonatos que se utilizan para la fabricación del material, aunque salvo raras excepciones se presenta la mezcla en los porcentajes adecuados.

La importancia de estas rocas en las obras públicas viene dada por su extensión y por la interferencia con las obras lineales que se realizan, en particular las grandes excavaciones en desmonte y los consiguientes rellenos que, dada la alterabilidad de estas rocas, hay que compactarlos de la forma adecuada. No suelen utilizar como rocas ornamentales, ni como mampostería, ni escollera, ni áridos, debido a que su componente arcilloso las hace muy sensibles al agua y, en general, no alcanzan las resistencias adecuadas.

4.1.2.4.-Características y utilización de calizas y dolomías.

La caliza está formada principalmente por cristales de calcita, si se ha formado por precipitación química del carbonato en disolución, o por cementación de caparzones cálcicos de animales marinos, si su procedencia es orgánica. Como rocas calizas se engloban aquellas que tienen más de un 90% de carbonato cálcico, pudiendo estar formado el 10 % restante por arcillas, dolomita, cuarzo, o una combinación de ellos.

Al estar formada en su mayor parte por carbonato cálcico, presenta efervescencia en frío con el ácido clorhídrico, CIH, lo que permite identificarla fácilmente en el campo y en laboratorio, y diferenciarla de la dolomita que solamente reacciona muy débilmente. También su dureza, 3 en la escala de Mohs, permite su identificación, sobre todo frente al yeso, que es rayado con la uña, mientras la caliza no.

Otra particularidad importante de caliza es su porosidad, que se mueve en un rango muy amplio, haciendo que sus densidades aparentes disminuyan respecto a la densidad de la calcita, que es de 2.72 g/cm^3 .

Respecto a su utilización, las calizas constituyen una de las rocas más importantes en las obras públicas y en la edificación. Con calizas se han construido escolleras en presas y diques de puertos, pedraplenes importantes y espaldones de presas. Es la roca de la que mayor consumo se hace para fabricar áridos de todo tipo. Tiene una composición que presenta muy buena adherencia para la fabricación de hormigones y de mezclas asfálticas. Su principal inconveniente radica en su baja dureza, lo que hace que aún en estado sano, presenta un elevado coeficiente de desgaste a la abrasión, y que en su uso en las capas de rodadura, da lugar a firmes fácilmente pulimentables, por lo que se utiliza con otras rocas con un mayor coeficiente de desgaste.

Además de ser, junto con las arcillas, las materias primas más importantes para la fabricación del cemento, es la materia prima fundamental para la fabricación de la cal.

Respecto de las dolomías, son rocas constituidas fundamentalmente por dolomita, carbonato cálcico y magnésico. Se diferencia de las calizas en que es más dura, entre 3 y 4 en la escala de Mohs, no produce efervescencia con el ácido clorhídrico, ya que es más resistente a los ácidos y tiene una densidad del orden de 2.85 gr/cm^3 , superior al de la caliza. Las rocas dolomíticas rara vez se presentan formadas por dolomita pura. En muchas ocasiones están formadas por dolomita y calcita. La denominación de estas rocas carbonatadas varía en función del porcentaje que tengan de uno u otro material. En [la figura 4.1.2.4.1](#) se recoge dicha clasificación.

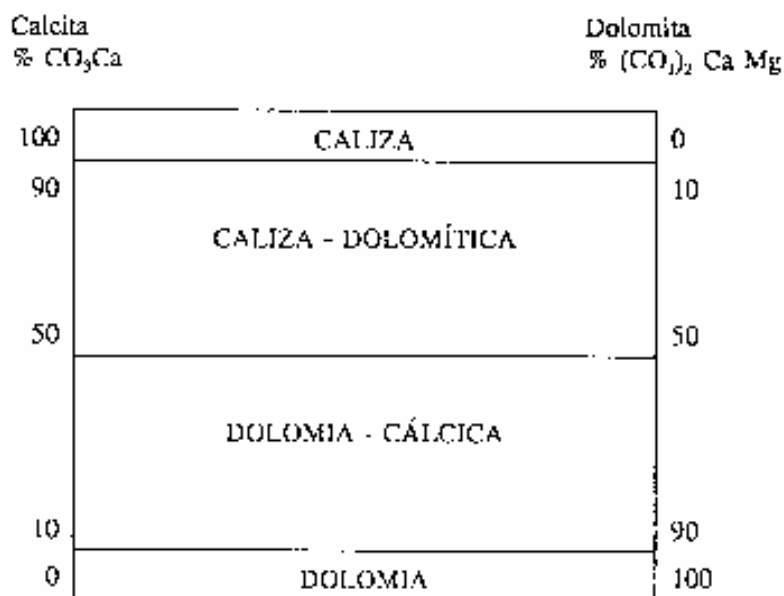


Figura 4.1.2.4.1.- Clasificación de las rocas carbonatadas.

Las características resistentes de las dolomías son similares a las de la caliza.

Su utilización es muy inferior a la de la caliza, siendo sus aplicaciones más importantes, el uso como rocas ornamentales y la fabricación de áridos para hormigón; al igual que las calizas, presentan buena adherencia con el mortero.

4.1.2.5.- Características y utilización de los yesos.

El yeso aparece en toda la zona de rocas sedimentarias en España. La forma de presentarse es, no solo como potentes estratos de yeso, sino en finas capas o nódulos diseminados en las rocas arcillosas.

En cuanto a sus características, cabe resaltar, que el yeso es un mineral blando. Ocupa el puesto número 2 en la escala de Mohs, pudiendo rayarse con la uña y tiene una densidad de 2.35 gr/cm^3 . Pero su principal característica, que lo hace prácticamente inservible como árido y como escollera, es su solubilidad, ya que al disolverse se descompone dando origen a iones SO_4^{2-} que se mantienen en el agua volviéndolas muy agresivas, en particular frente a los hormigones.

En cuanto a la utilización de los yesos, hay que decir que son la materia prima para fabricar en hornos el sulfato cálcico hemidratado, $\text{SO}_4 \text{ CaO} \cdot (1/2)\text{H}_2\text{O}$, también conocido con el nombre de yeso, que se utiliza en la edificación.

Por los inconvenientes citados anteriormente, solubilidad y agresividad frente a los hormigones, no es conveniente en rellenos.

4.2.- Características y utilización de los materiales pétreos de rocas metamórficas.

Al aumentar el metamorfismo, aumenta la resistencia.

4.2.1.- Características y utilización de las pizarras y esquistos.

Las pizarras y esquistos, como se ha mencionado anteriormente, son rocas arcillosas que han sufrido un metamorfismo bajo y medio. Dada la variedad de composición y características de estas rocas, así será variable la composición y características de las pizarras y esquistos, por lo que hablar de ellas con carácter general implica abarcar unos intervalos de variación en sus características muy amplios.

La composición de las pizarras está relacionada con las rocas de procedencia, pero el metamorfismo implica una transformación de los minerales arcillosos. En concreto la arcilla caolín se transforma en illita-clorita en las pizarras y con el grado de metamorfismo de los esquistos, la illita pasa a moscovita.

Otro aspecto que conviene destacar de pizarras y esquistos, es que algunos tipos pueden contener un elevado porcentaje de carbonatos, los derivados del metamorfismo de margas, y también que pueden presentarse sulfuros en cantidades en torno al 1 %, o superiores, que normalmente estarán en las pizarras de tonos oscuros que también tendrán materia orgánica.

En cuanto a las características físicas, la densidad del sólido de las pizarras y esquistos, depende de los minerales que la integran, y aunque el cuarzo tiene una densidad de 2.65 gr/cm^3 , la presencia de micas y arcillas, y de carbonatos cuando existan, llevará la densidad del conjunto, situándose normalmente por encima de 2.70 gr/cm^3 .

Las propiedades mecánicas son tan variables como el resto de las características ya mencionadas. Además, como debido a su estructura son rocas anisótropas, con características distintas en dirección a los planos de exfoliación y en dirección perpendicular, la dispersión de las propiedades resistentes es mayor que la de la densidad, porosidad.

El intervalo de variación de la resistencia a compresión simple en pizarras y esquistos sanos se sitúa entre 25 y 200 MPa.

Las pizarras y esquistos son rocas que, en general, tienen una resistencia baja, y su carácter exfoliable hace que los áridos que puedan fabricarse con ellas tengan forma lajosa que es la menos conveniente. Por ello no son rocas adecuadas para áridos de hormigón ni para escollera.

Debido a las cantidades que se excavan al hacer las carreteras, se construyen pedraplenes con ellas, requiriendo estudios más extensos que los de otras rocas, tanto frente a la alterabilidad como a su compactabilidad, tomando precauciones para construir rellenos compactos.

En edificación se utilizó de forma tradicional como mampostería para construir muros y como teja.

En cuanto a la alterabilidad de las pizarras, en sus utilizaciones, además de la debida a que la presencia de arcillas puede hacer sensibles algunos tipos a la acción de los agentes atmosféricos, el otro factor importante es la presencia de piritas, cuya alteración en condiciones normales es fácil, generando iones sulfato que no solamente atacan a la propia pizarra si tiene carbonatos, sino que además acidifican el agua que circula por ellas volviéndola agresiva para los hormigones.

4.2.2.- Características y utilización de gneis.

Los gneis, según se ha visto anteriormente, son el resultado de un mayor grado de metamorfismo de los esquistos. Según el grado de metamorfismo, se dividen en dos grupos: los gneis superiores, los menos metamorfizados, tienen abundancia de micas: moscovita y biotita, por lo que los hace inservibles para la fabricación de áridos y de bloques de escollera, mientras que los gneis inferiores, en los que la moscovita se ha transformado en ortosa, adquiriendo entonces la roca una composición similar al granito, aunque con una estructura esquistosa, se emplean, cuando sus condiciones resistentes son adecuadas, como materias primas para fabricar áridos, sillares y escolleras.

Las características de la roca sana de estos gneis inferiores son similares a las de los granitos.

4.2.3.- Características y utilización de las cuarcitas.

La cuarcita, derivada de la metamorfización de rocas sedimentarias silíceas, está constituida fundamentalmente por cuarzo. La esquistosidad que provoca el metamorfismo hace que los fragmentos de estas rocas sean más lajosos que las correspondientes cuarcitas sedimentarias

La cuarcita, por estar compuesta fundamentalmente de cuarzo, es una roca muy dura, le corresponde el puesto 7, en la escala de Mohs, y además muy resistente, de resistencia alta.

Se utiliza como árido para hormigón y para fabricar mezclas asfálticas, aunque su adherencia con los ligantes bituminosos presenta problemas que no se encuentran con los áridos calizos, pero su resistencia al desgaste las hace imprescindibles en las capas de rodadura para evitar que se conviertan en deslizantes al paso del tráfico.

4.2.4.- Características y utilización de los mármoles.

Los mármoles son el resultado de la metamorfización de rocas calizas. Son rocas constituidas por granos macroscópicos, todos cristalinos, de calcita, de tamaño igual o irregular, pero sin huecos, lo que hace que no sean heladizas.

Según se ha visto, la composición de las rocas calizas incluye en muchas ocasiones otra serie de minerales, por tanto los mármoles derivados de ellas también los contendrán, en muchos casos transformados también por el metamorfismo. El mármol puro, como los de Carrara y Paros, es completamente blanco y muy translúcido.

El mármol es una roca de resistencia media. Su utilidad principal es como roca ornamental.

5.-ÁRIDOS.

5.1.DEFINICIÓN. CAMPOS DE APLICACIÓN. IMPORTANCIA DE LOS ÁRIDOS.

En el ámbito de la industria de la construcción y de la obra civil se denomina comúnmente árido a una roca que, tras un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales, o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de machaqueo), se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante (Cemento portland, cales hidráulicas, yesos, alquitrán, etc.), de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub-bases para carreteras, balastos y sub-balastos para las vías de ferrocarril, o escolleras para la defensa y construcción de puertos marítimos. Es un material granular (pequeños trozos de roca) que, en la mayoría de los casos, ha de tener una distribución granulométrica adecuada

Los áridos, tal y como se han definido, son conjuntos de granos rocosos de muy diversos tamaños que, en su uso normal, pueden estar comprendidos entre el polvo casi impalpable, de 60 micras de diámetro, y los fragmentos mayores, cuya dimensión máxima puede alcanzar varios metros.

En la mayor parte de las aplicaciones industriales, el empleo del árido se justifica en razón a su comportamiento estable frente a la acción química de su posible continente o a los agentes externos, así como a su resistencia mecánica frente a cargas y vibraciones. No se deben considerar como áridos, por lo tanto, aquellas sustancias minerales utilizadas como cargas en diversos procesos industriales por sus características físico-químicas, que afectan sustancialmente al producto obtenido y a sus especificaciones (por ejemplo, calizas para cargas en la industria del papel), ni aquellas otras cuyo empleo en procesos industriales no tiene que ver con su estabilidad e inercia química o con su resistencia mecánica, sino con la aportación al proceso de unos determinados elementos químicos que hacen posible la elaboración del producto (caso de las calizas para cementos o para cales, arenas silíceas para fabricación de vidrio, etc.).

El árido debe ser, por los enormes volúmenes utilizados, un material barato y abundante, precisando además que los yacimientos estén situados cerca de los centros de consumo. Por otra parte, las características geológicas y litológicas de los yacimientos de áridos son muy variables, lo que implica técnicas de explotación y procesos de transformación muy diversos, no obstante lo cuál, cada vez son mayores las solicitudes de homogeneidad y calidad del producto final a poner en obra.

En resumen, los principales campos de aplicación de estas materias primas son:

- ÁRIDOS PARA LA PREPARACION DE HORMIGONES (CONSTRUCCION Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA) (Figura 5.1.1.a)
- ÁRIDOS PARA LA PREPARACION DE AGLOMERANTES ASFALTICOS (Figura 5.1.1.b)
- BALASTOS, SUB-BALASTOS Y GRAVILLAS (Figura 5.1.c)
- ESCOLLERAS PARA LA PROTECCION DE OBRAS PORTUARIAS, RIOS Y CANALES (Figura 5.1.1d)
- TALUDES DE SOSTENIMIENTO (PEDRAPLENES) (Figura 5.1.1e)
- RELLENOS Y APLICACIONES VARIAS (Figura 5.1.1.e).
- MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA (CEMENTO, VIDRIO, CAL, CERÁMICA, METALURGIA, SIDERURGIA, CARGAS, PLÁSTICOS. ARENAS PARA FILTROS, ETC.)



Figura 5.1.1.a.- Estructura de un edificio. Puentes soportados por cables.



Figura 5.1.1.b.- Firmes de carreteras



Figura 5.1.1.b.- Firmes de carreteras



Figura 5.1.1.c.- Construcción de vías férreas.



Figura 5.1.1.d.- Escolleras.



(b)

Figura 5.1.1.e.- (a).- Taludes de sostenimiento (Pedraplenes) (b).- Rellenos (Terraplenes).

En cuanto al consumo de las principales aplicaciones de los áridos, éstas se desglosan en la tabla 5.11.

Tabla 5.1.1.- Aplicaciones de los áridos.

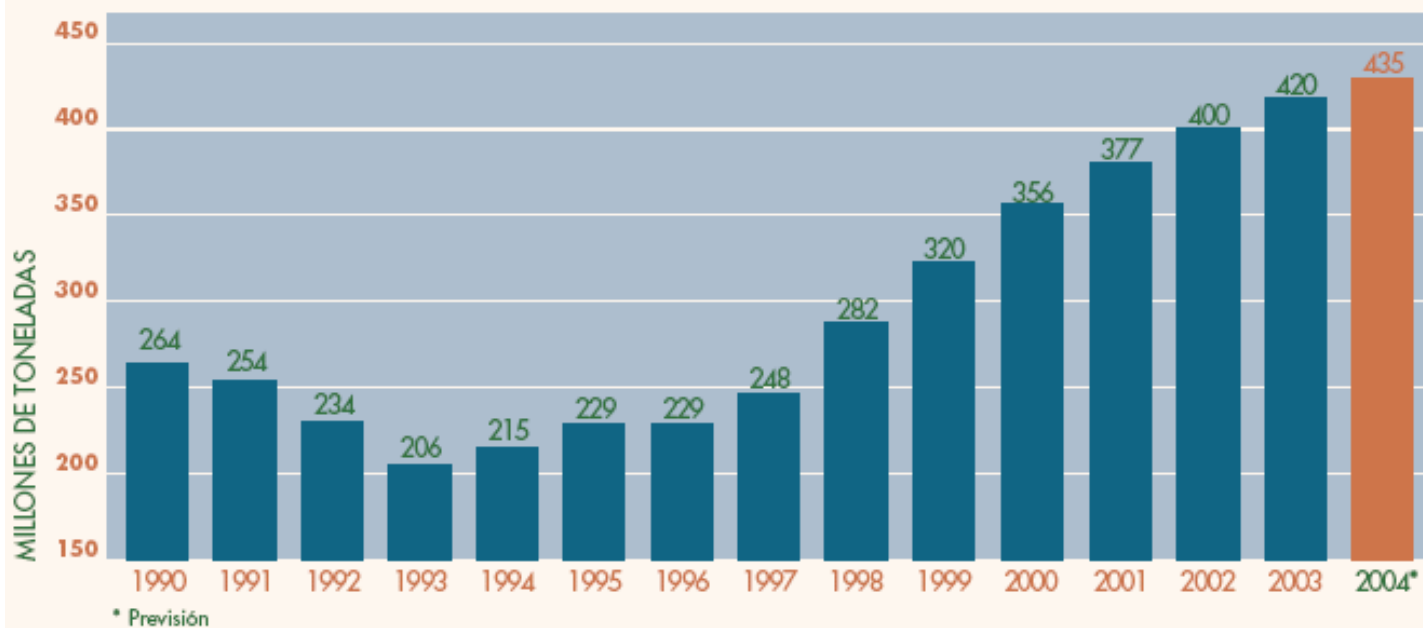
| ÁRIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN | % |
|---|--------------|
| HORMIGONES, MORTEROS Y PREFABRICADOS | 68,2 |
| CARRETERAS | 21,9 |
| BALASTO | 2,1 |
| ESCOLLERA | 3,7 |
| OTROS USOS | 4,0 |
| | 100,0 |
| ÁRIDOS INDUSTRIALES | % |
| FABRICACIÓN DE CEMENTOS | 79,6 |
| FABRICACIÓN DE CALES Y YESOS | 4,1 |
| INDUSTRIAS DEL VIDRIO | 4,5 |
| INDUSTRIA QUÍMICA BÁSICA | 3,2 |
| METALURGIA BÁSICA | 3,6 |
| ARENAS DE MOLDEO | 1,1 |
| CARGAS | 3,9 |
| | 100,0 |

IMPORTANCIA DE LOS ARIDOS.

Los áridos son unas materias primas minerales que están íntimamente relacionadas con el desarrollo socio-económico de un país y, consecuentemente, con la calidad de vida de la sociedad. Al utilizarse, fundamentalmente, en la construcción, (Viviendas, hospitales, escuelas, centros comerciales, etc.) y en las obras de infraestructura (Carreteras, vías de ferrocarril, puertos, embalses, aeropuertos, etc) constituyen un buen índice de la actividad económica de un país en cada momento. Así, la producción de áridos para obras civiles y para la construcción de edificios es una de las mayores industrias del mundo.

En la figura 5.1.2 puede verse la evolución del consumo de áridos para la construcción en España y en la tabla 5.1.2 la producción por Comunidades Autónomas durante los años 2001 y 2002, así como el consumo por habitante.

CONSUMO NACIONAL DE ÁRIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN 1990-2004



| CONSUMO DE ÁRIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN 1990-2003 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | % |
| ANDALUCÍA | 48,5 | 44,1 | 39,0 | 34,0 | 36,3 | 39,7 | 37,8 | 42,6 | 50,3 | 57,7 | 63,5 | 67,9 | 72,8 | 79,4 | 9,1 |
| ARAGÓN | 8,9 | 7,4 | 7,1 | 5,9 | 6,2 | 7,1 | 6,6 | 6,9 | 7,5 | 8,9 | 11,4 | 11,5 | 12,2 | 13,1 | 7,4 |
| ASTURIAS | 6,4 | 6,2 | 6,0 | 5,0 | 5,5 | 5,6 | 5,5 | 5,8 | 7,1 | 7,8 | 9,2 | 10,5 | 10,7 | 11,2 | 4,3 |
| BALEARES | 6,4 | 6,1 | 5,0 | 4,3 | 5,0 | 5,2 | 5,5 | 5,9 | 6,7 | 8,3 | 9,3 | 9,5 | 8,9 | 9,0 | 1,2 |
| CANARIAS | 11,1 | 12,3 | 11,4 | 10,5 | 10,5 | 10,7 | 11,0 | 12,4 | 13,9 | 16,9 | 19,2 | 19,9 | 20,2 | 18,3 | -9,2 |
| CANTABRIA | 4,8 | 4,7 | 4,3 | 4,0 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,5 | 5,1 | 5,4 | 6,5 | 7,4 | 6,7 | 6,9 | 3,1 |
| CASTILLA-LEON | 20,8 | 19,8 | 17,3 | 15,5 | 17,1 | 17,1 | 17,9 | 17,9 | 19,4 | 20,3 | 21,6 | 22,9 | 25,9 | 27,4 | 5,8 |
| CASTILLA LA MANCHA | 15,3 | 14,1 | 12,3 | 10,0 | 10,5 | 11,7 | 10,5 | 10,8 | 11,7 | 13,0 | 15,2 | 15,6 | 17,7 | 20,5 | 15,8 |
| CATALUÑA | 36,8 | 36,8 | 32,1 | 27,3 | 27,8 | 29,6 | 29,1 | 32,2 | 37,1 | 41,4 | 45,2 | 47,5 | 52,8 | 55,5 | 5,2 |
| C. VALENCIANA | 26,9 | 23,1 | 22,7 | 20,8 | 22,9 | 25,2 | 27,6 | 30,8 | 35,7 | 45,0 | 50,5 | 52,4 | 56,8 | 57,6 | 1,5 |
| EXTREMADURA | 5,8 | 7,2 | 7,3 | 5,9 | 6,2 | 6,4 | 5,3 | 6,0 | 7,3 | 8,3 | 8,9 | 8,8 | 8,3 | 8,2 | -1,2 |
| GALICIA | 16,5 | 17,4 | 16,5 | 15,5 | 16,4 | 18,8 | 18,2 | 18,6 | 19,2 | 20,2 | 22,0 | 23,6 | 24,1 | 25,4 | 5,5 |
| MADRID | 28,4 | 25,9 | 23,2 | 19,4 | 20,2 | 21,2 | 21,9 | 23,4 | 27,9 | 30,1 | 33,8 | 38,2 | 37,8 | 40,1 | 6,1 |
| MURCIA | 6,9 | 7,6 | 7,5 | 6,6 | 6,1 | 6,4 | 6,2 | 7,6 | 8,9 | 10,8 | 12,8 | 13,3 | 16,3 | 17,9 | 9,8 |
| NAVARRA | 6,2 | 8,0 | 7,2 | 6,0 | 6,3 | 6,4 | 6,4 | 7,0 | 7,3 | 7,4 | 8,0 | 8,3 | 8,1 | 8,4 | 3,4 |
| PAÍS VASCO | 12,1 | 11,3 | 13,3 | 14,1 | 12,9 | 12,4 | 13,3 | 14,0 | 14,8 | 15,9 | 16,3 | 16,9 | 17,2 | 17,3 | 0,8 |
| RIOJA | 1,7 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,3 | 3,7 | 10,8 |
| TOTAL ESTATAL | 263,6 | 254,1 | 233,8 | 205,7 | 215,3 | 229,3 | 228,7 | 248,2 | 282,0 | 319,6 | 356,0 | 377,0 | 399,6 | 419,9 | 5,1 |

Figura 5.1.2.- Evolución del consumo de áridos para la construcción en España.

Tabla 5.1.2.- Consumo de áridos para la construcción por Comunidades Autónomas y consumo por habitante.

(Millones de toneladas)

| | 2002 | 2003 | VARIACIÓN 03 - 02 % | CONSUMO TONELADAS POR HABITANTE |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------------|--|
| ANDALUCÍA | 72,8 | 79,4 | 9,1 | 10,8 |
| ARAGÓN | 12,2 | 13,1 | 7,4 | 10,8 |
| ASTURIAS | 10,7 | 11,2 | 4,3 | 10,5 |
| BALEARES | 8,9 | 9,0 | 1,2 | 10,7 |
| CANARIAS | 20,2 | 18,3 | -9,2 | 10,8 |
| CANTABRIA | 6,7 | 6,9 | 3,1 | 12,9 |
| CASTILLA Y LEÓN | 25,9 | 27,4 | 5,8 | 11,2 |
| CASTILLA LA MANCHA | 17,7 | 20,5 | 15,8 | 11,6 |
| CATALUNA | 52,8 | 55,5 | 5,2 | 8,8 |
| COMUNIDAD VALENCIANA | 56,8 | 57,6 | 1,5 | 13,8 |
| EXTREMADURA | 8,3 | 8,2 | -1,2 | 7,8 |
| GALICIA | 24,1 | 25,4 | 5,5 | 9,4 |
| MADRID | 37,8 | 40,1 | 6,1 | 7,4 |
| MURCIA | 16,3 | 17,9 | 9,8 | 14,9 |
| NAVARRA | 8,1 | 8,4 | 3,4 | 15,1 |
| PAÍS VASCO | 17,2 | 17,3 | 0,8 | 8,3 |
| LA RIOJA | 3,3 | 3,7 | 10,8 | 13,4 |
| TOTAL NACIONAL | 399,6 | 419,9 | 5,1 | 10,3 |

Todas las Autonomías han registrado variaciones interanuales positivas, a excepción de Canarias (-9,2 %) y Extremadura (-1,2 %). Baleares, la Comunidad Valenciana y el País Vasco han experimentado un ligero crecimiento, próximo al +1 %. Andalucía, la Comunidad Valenciana, Cataluña y Madrid representan el 55,2 % del total nacional. En la [figura 5.1.3](#) puede verse la distribución de la producción de áridos por comunidades autónomas en el año 2003.

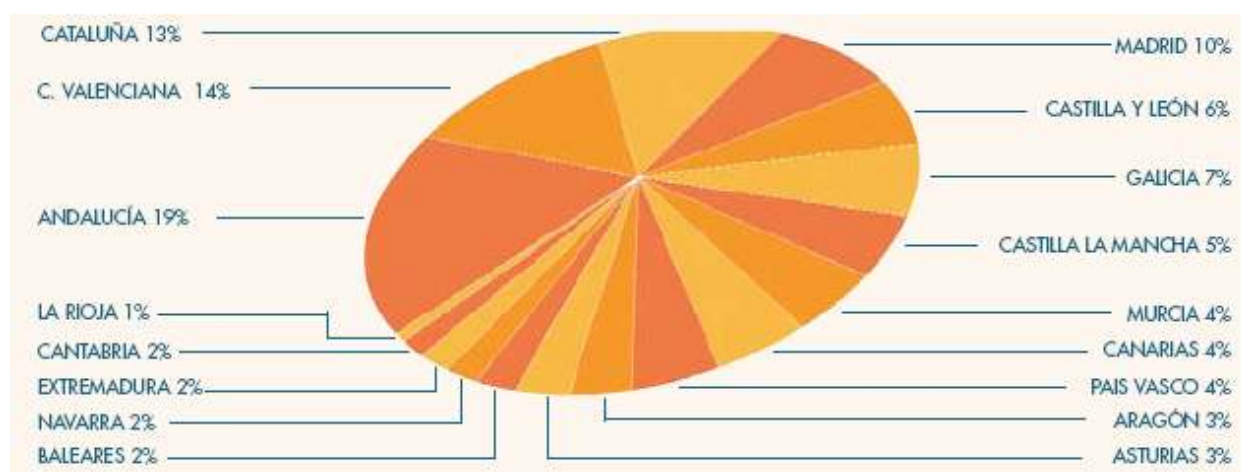


Figura 5.1.3.- Distribución de la producción de áridos para la construcción por comunidades autónomas.

El consumo per capita de áridos para la construcción, con 10,3 toneladas por habitante y año, supera ampliamente a la media europea, que se sitúa en torno a 8,0 toneladas por habitante y año. Es mínimo en la Comunidad de Madrid (7,4 t/habitante) y máximo en Navarra con (15,1 t/ habitante). En la [figura 5.1.4](#) se da el consumo anual por habitante de áridos para la construcción por comunidades autónomas en el año 2003.

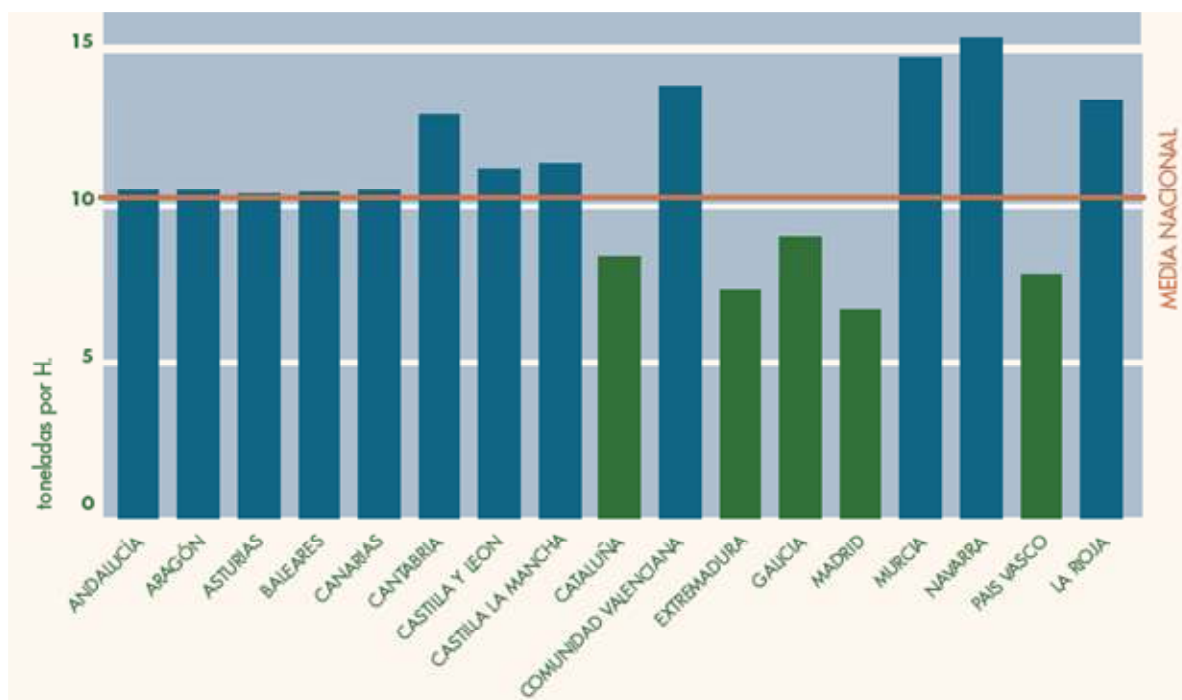


Figura 5.1.4.- Consumo anual por habitante de áridos para la construcción por comunidades autónomas.

Durante el año 2003 el consumo de áridos para aplicaciones industriales tales como cementos, vidrios, cargas, filtros, industria química, siderurgia y metalurgia, etc., se estima en unos 60 millones de toneladas, en consecuencia, el consumo total de áridos, en el año 2003, ha ascendido a unos 480 millones de toneladas (+ 6.3 %).

La evolución de la producción de áridos, en el periodo 1996-2000, desglosada por tipo de rocas extraídas (en t), puede verse en [la tabla 5.1.3](#). En [la figura 5.1.5](#) se da la producción de áridos según origen (Tipo de roca) durante el periodo 1998-2000.

Tabla 5.1.3.- Producción de áridos desglosada por el tipo de roca extraída.

| AÑO | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TIPO ROCA | | | | | |
| ARENA Y GRAVA | 55 062 643 | 59 137 909 | 69 129 874 | 71 090 124 | 77 854 563 |
| ARENAS SILICEAS | 540 804 | 679 350 | 962 315 | 573 338 | 786 852 |
| ARENISCA | 2 126 072 | 1 952 799 | 1 653 239 | 2 081 136 | 2 168 974 |
| BASALTO | 835 935 | 1 185 825 | 1 685 754 | 2 203 882 | 3 011 566 |
| CALIZA | 96 721 124 | 107 689 901 | 120 477 316 | 143 787 748 | 149 583 054 |
| CRETA | 24 014 | 37 491 | 86 501 | 39 420 | 41 635 |
| CUARCITA | 1 859 715 | 2 083 402 | 2 534 435 | 2 264 291 | 2 088 919 |
| DOLOMIA | 4 139 148 | 5 812 861 | 7 234 873 | 7 413 251 | 7 666 654 |
| FONOLITA | 845 000 | 1 098 000 | 1 149 810 | 1 486 250 | 1 478 500 |
| GRANITO | 15 236 273 | 15 199 409 | 16 210 260 | 18 072 708 | 18 386 278 |
| MARMOL | 214 027 | 168 521 | 188 269 | ----- | ----- |
| OFITA | 2 047 990 | 2 142 218 | 2 003 620 | 1 906 924 | 2 481 142 |
| PIZARRA | 1 266 275 | 1 182 205 | 1 270 835 | 1 152 482 | 1 320 414 |
| PORFIDO | 1 130 238 | 1 122 645 | 1 533 554 | 1 665 862 | 2 146 729 |
| SERPENTINA | 240 128 | 233 290 | 199 319 | 202 233 | 174 000 |
| OTROS | 1 139 923 | 1 848 628 | 1 875 610 | 2 329 145 | 2 530 245 |
| TOTAL | 183 429 309 | 201 574 454 | 228 195 584 | 255 097 860 | 270 509 720 |

PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS SEGÚN ORIGEN

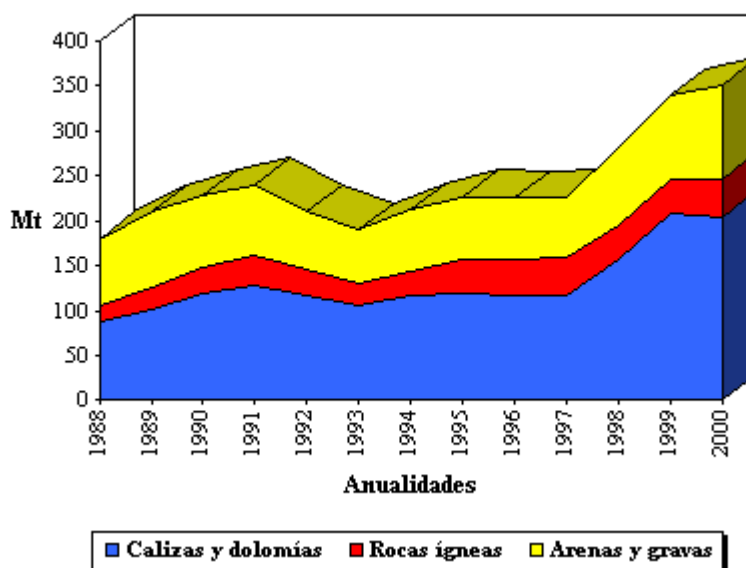


Figura 5.1.5.- Producción de áridos según origen.

El volumen de negocio del sector de áridos para la construcción, incluyendo transporte, ha ascendido, en el año 2003, a unos 3050 millones de euros.

Según los datos de la última Estadística Minera (año 2001), existen unas 1915 explotaciones de áridos, de las cuales aproximadamente el 54 % son canteras (1035) y el 46 % son graveras (880). Este número representa, aproximadamente, el 51 % del total de explotaciones mineras españolas. En la [figura 5.1.6](#) puede verse el número de explotaciones mineras por sectores.

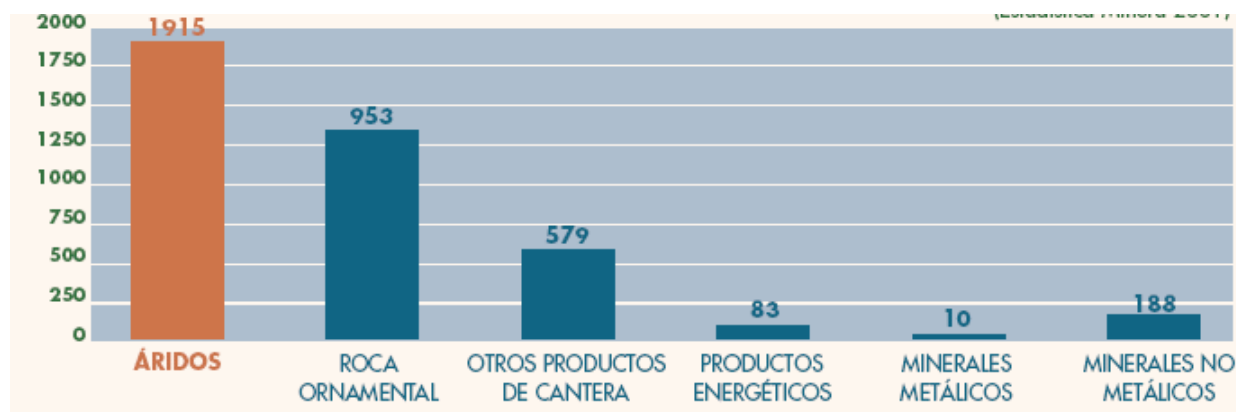


Figura 5.1.6.- Número de explotaciones mineras por sectores.

La producción media de las explotaciones activas está en torno a 250000 toneladas, considerando la producción total de áridos

El empleo total generado por el sector asciende, a unos 75.000 trabajadores distribuidos como sigue:

- Empleo directo: 12.000 trabajadores de las empresas titulares de explotaciones, el 65% en canteras y el 35% en graveras, lo que representa el 28,6% del total de trabajadores directos del sector extractivo. El empleo directo medio por explotación activa se sitúa en 6,3 trabajadores para el conjunto del sector, ascendiendo hasta 8,9 en el caso de las canteras y a 4,1 en las graveras

En la [figura 5.1.7](#) se da el empleo directo por sectores.

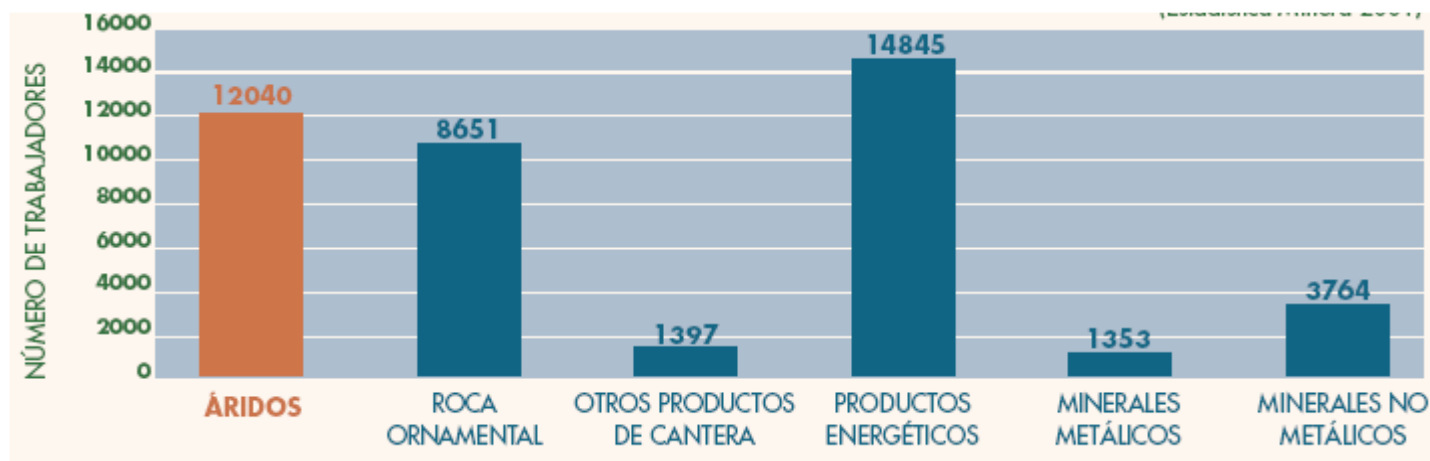


Figura 5.1.7.- Empleo directo por sectores.

- 30.000 trabajadores relacionados con la producción de áridos, no pertenecientes a las empresas titulares de las explotaciones
- 36.000 trabajadores en labores complementarias a la actividad, incluyendo el transporte de los productos

El empleo subcontratado supone un ratio de 5,25 trabajadores indirectos por cada trabajador directo

El precio medio nacional, estimado en 4,94 €/tonelada ha experimentado una subida del 2,2 % en términos constantes, respecto al año anterior. En cuanto a distribución geográfica, en términos generales se observa una disminución de los precios hacia el Sur, y en las cuencas de los grandes ríos y zonas con predominio de graveras. Estos datos, que tienen una finalidad meramente informativa, son valores medios que, lógicamente variarán entre otros aspectos, en función del producto de que se trate, de sus características y de la ubicación de cada explotación.

En la [figura 5.1.8](#) se da la evolución del precio medio nacional de la tonelada de áridos durante el período 2000 – 2004 y en la [figura 5.1.9](#) los precios medios en planta, en euros por tonelada, por provincias en el mes de abril de 2004.

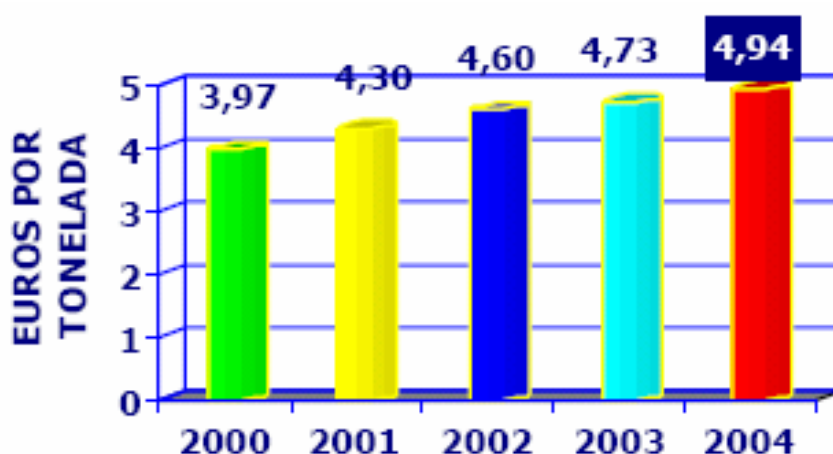


Figura 5.1.8.- Evolución del precio medio nacional de la tonelada de áridos

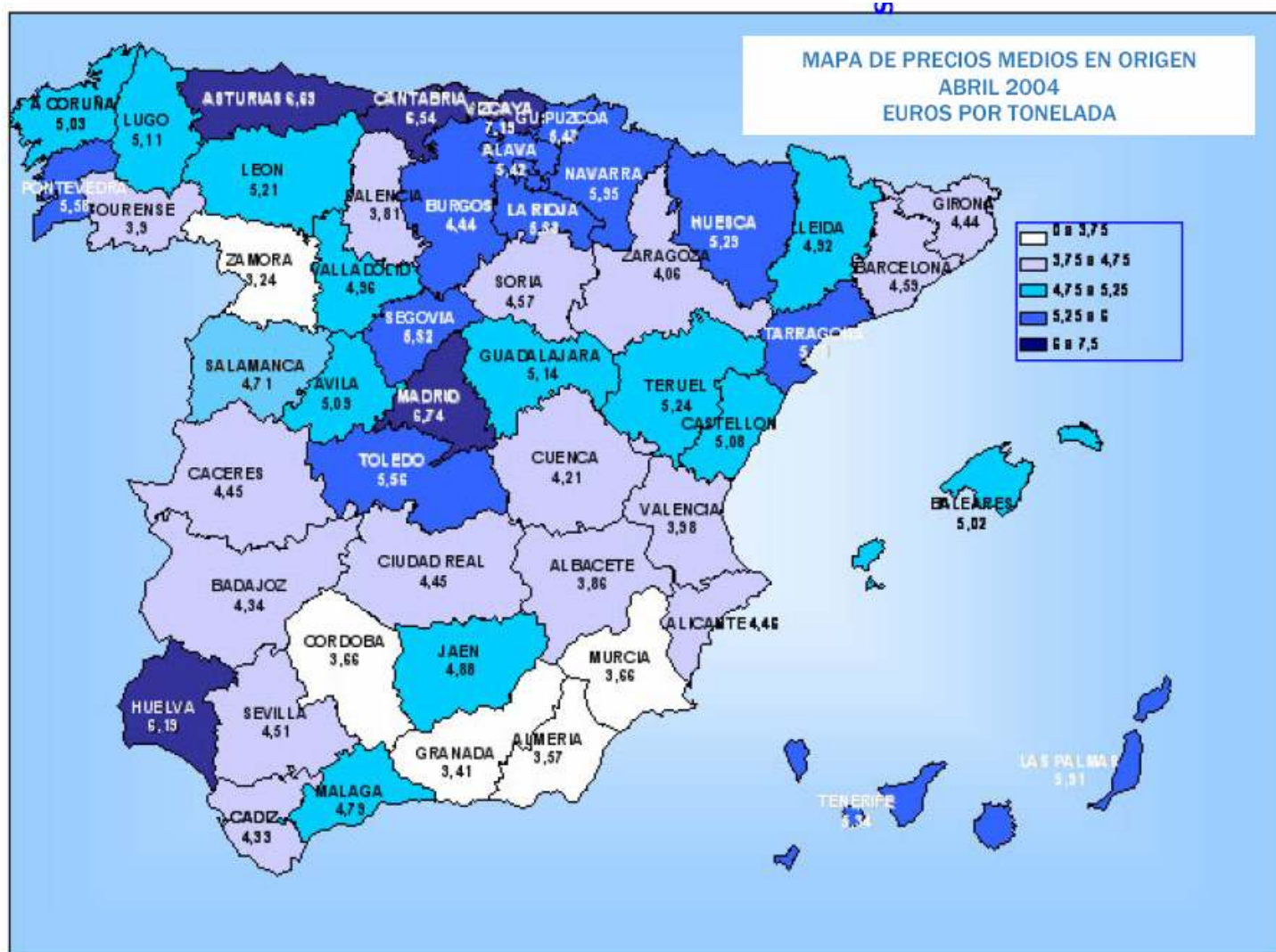
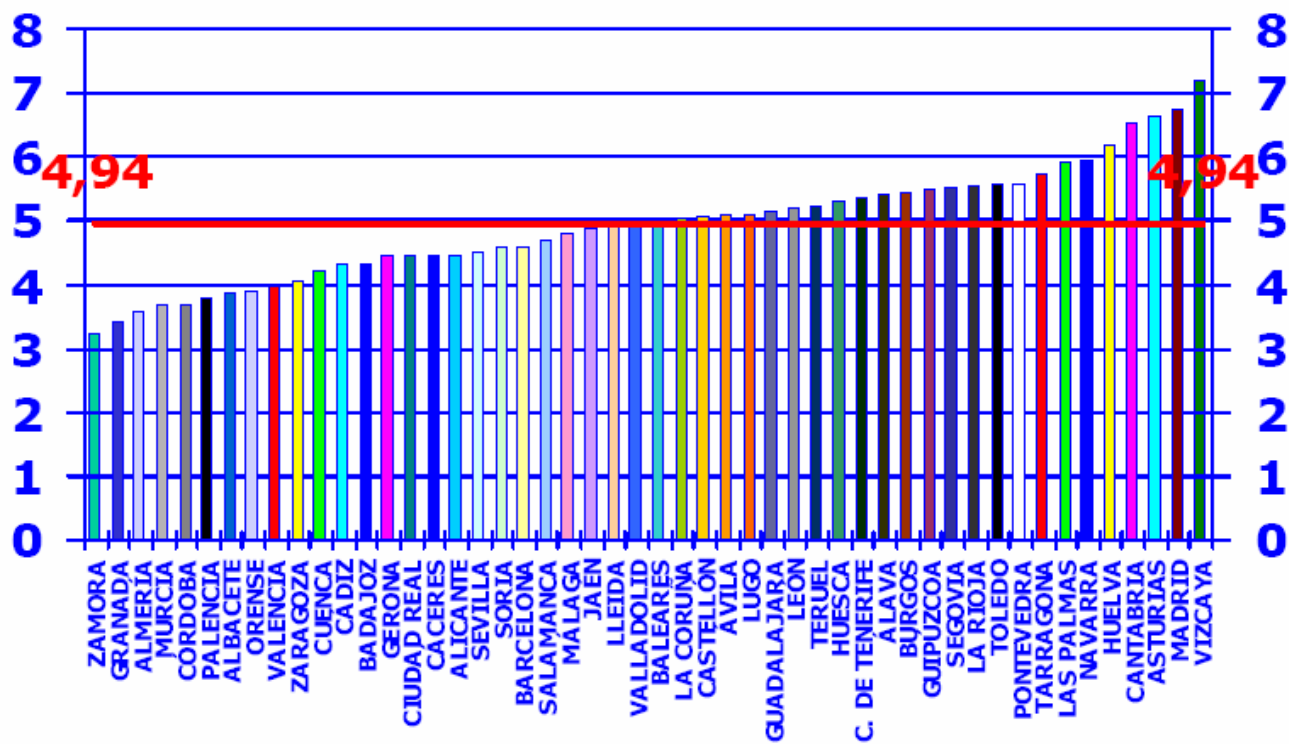


Figura 5.1.9.- Precios medios en planta por provincias en el mes de abril de 2004.

No se publican estadísticas de producción mundial de áridos, conociéndose solamente datos puntuales concernientes a algunos países occidentales; otros muchos indican su extracción de arenas, gravas y rocas, pero no diferencian las cantidades destinadas a usos ornamentales, industriales y áridos de construcción. A título indicativo, en la tabla 5.1.4 recoge la evolución reciente en Mt de la producción de áridos de machaqueo y arenas y gravas para construcción en EEUU, Reino Unido y España.

Tabla 5.1.4.- Evolución reciente en Mt de la producción de áridos de machaqueo y arenas y gravas para construcción en EEUU, Reino Unido y España.

| | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|-----------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estados Unidos | áridos machaqueo | 1 330 | 1 420 | 1 510 | 1 530 | 1 560 |
| | arenas y gravas | 914 | 952 | 1 070 | 1 110 | 1 120 |
| Reino Unido | áridos machaqueo | 132,9 | 133,8 | 134,0 | 132,6 | 130,3 |
| | arenas y gravas | 96,4 | 98,4 | 100,0 | 88,2 | 89,2 |
| España | áridos machaqueo | 157,0 | 178,2 | 196,2 | 227,4 | 252,9 |
| | arenas y gravas | 68,4 | 71,0 | 87,0 | 92,9 | 103,4 |

Fuentes: Min. Comm. Summ., USGS; UK Minerals Yearbook 2000, BGS; elaboración propia

La única referencia disponible es la de los precios medios en el mercado interior norteamericano que publica anualmente el *USGS*, y cuya evolución en los últimos cinco años es la recogida en la tabla 5.1.5.

Tabla 5.1.5.- Evolución, en los últimos cinco años, del precio de los áridos en EEUU.

| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001e |
|--|------|------|------|------|-------|
| - USA, arena y grava de construcción, \$ / t | 4,47 | 4,57 | 4,73 | 4,81 | 4,90 |
| - USA, áridos de machaqueo, \$ / t | 5,66 | 5,39 | 5,35 | 5,39 | 5,53 |

Fuente: Mineral Commodity Summaries 2002, USGS e: estimado

5.2.- TIPOS DE ARIDOS.

La tipología básica de los áridos es función de su procedencia y de la técnica utilizada en su aprovechamiento y, en este sentido, los áridos pueden clasificarse genéricamente de la forma siguiente:

(i).- ARIDOS NATURALES, los cuales a su vez se pueden subdividir en dos grupos:

--- ARIDOS GRANULARES (RODADOS), que son aquellos que se obtienen de yacimientos naturales (Areneros y graveras) y que se usan tras haber sufrido un LAVADO y una CLASIFICACION, es decir, se usan después de haber sufrido únicamente una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las especificaciones exigidas. Generalmente, son sedimentos detríticos actuales y paraactuales y rocas detríticas poco consolidadas.

--- ARIDOS DE MACHAQUEO, que son aquellos que se producen en canteras tras arrancar los materiales de los macizos rocosos y someterlos posteriormente a una trituración, molienda y clasificación. Aquí se incluirían todos los materiales canterables cuyas propiedades sean adecuadas.

- (ii).- ARIDOS ARTIFICIALES, que son aquellos que están constituidos por subproductos industriales, como son las escorias de la industria siderúrgica, las cenizas volantes procedentes de la combustión del carbón pulverizado en las centrales térmicas, estériles mineros, etc.
- (iii).- ARIDOS LIGEROS, que son aquellos productos naturales o artificiales cuya densidad aparente es inferior a 1000 kg/m^3 . En la práctica la densidad aparente oscila entre 400 y 800 kg/m^3 . Se usan para la obtención de piezas o elementos de obra de bajo peso y/o aislantes.
- (iv).- ARIDOS RECICLADOS, que son los procedentes de derribos de edificaciones (DEMOLICIONES), estructuras de firmes antiguos, etc. Estos constituyen, en cualquier ciudad importante, un volumen realmente grande y pueden ser empleados tanto para relleno en vías de comunicación, como incluso de materia prima para áridos de machaqueo.

5.3.-CLASIFICACION DE LOS ARIDOS SEGÚN LA NOMENCLATURA DE LAS GRANULOMETRIAS.

Según sus usos los áridos se pueden clasificar, de forma sintética y genérica, del siguiente modo:

- ARIDOS PARA HORMIGONES Y MORTEROS.
 - Arenas : 0-5 mm.
 - Gravas : 6-12 mm, 12-20 mm y 20-40 mm.
- ARIDOS PARA PREFABRICADOS.
 - Arenas: 0-3 mm y 0-5 mm.
 - Gravilla: 6-12 mm y 12-18 mm.
- ARIDOS PARA CARRETERAS.
 - Material de relleno y plataforma.
 - Sub-base .
 - Base de gravas 14-60 mm y arena (0 - 4 mm.)
 - Capa de rodadura (Aglomerado asfáltico): 40 % arena (0-5 mm.), 60% de grava (6-12 mm.)
- BALASTO PARA LA CONSTRUCCION DE VIAS FERREAS.
 - Gravas : 10 - 25 mm.
 - Balasto fino : 16 - 31.5 mm.
 - Balasto grueso : 25 - 50 mm.

La nomenclatura de las diferentes fracciones granulométricas varía según las zonas, Ortega (1993) cita la que se recoge en la tabla 5.3.1. En general, se denominan finos todos los elementos de tamaño inferior a 0.075 mm.

TABLA 5.3.1.- Nomenclatura de las diferentes fracciones granulométricas

| NOMBRE | INTERVALO (mm) |
|--------------|----------------|
| Mozza | 80 - 150 |
| Grava gruesa | 50 - 80 |
| Grava media | 40 - 60 |
| Grava menuda | 30 - 50 |
| Gravilla | 20 - 30 |
| Garbancillo | 5 - 20 |
| Arena gruesa | 2 - 5 |
| Arena fina | 0,05 - 2 |

5.4.-YACIMIENTOS DE ARIDOS.

Los áridos naturales pueden provenir de dos tipos de yacimientos:

- YACIMIENTOS DE ARENAS, GRAVAS Y CONGLOMERADOS (Figura 5.4.1).

- YACIMIENTOS DE ROCAS CANTERABLES PARA ARIDOS DE MACHAQUEO (Figura 5.4.2).

Basándonos en los tres grupos principales de rocas, de acuerdo con su origen (Más que con su composición o resistencia) los yacimientos de rocas canterables darán lugar a:

- ARIDOS DE ROCAS IGNEAS.
- ARIDOS DE ROCAS METAMORFICAS.
- ARIDOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS.

En general los áridos naturales se agrupan, en cuanto a su origen, en tres grandes familias:

- Los aluviales, triturados o no.
- Las calizas
- Los ígneos y metamórficos

La figura 5.4.3 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo general de una planta de tratamiento de arenas y gravas. El depósito se explota con dragalina, pala y retro y el material es transportado mediante volquetes y cargado a través de una tolva, a un sistema de cintas transportadoras. En este punto se suele utilizar una criba de barras para rechazar las partículas muy grandes tales como los bloques «erráticos» que suelen aparecer en los depósitos glaciares. La cinta alimenta un acopio previo a la planta.

El material se carga con palas de ruedas (en operaciones pequeñas) o cintas en túnel, y alimenta una criba que suele estar equipada con pulverizadores de agua, donde se eliminan las partículas de arena probablemente menores de 5 mm. En los casos en que el depósito contenga grandes cantidades de arcillas y limos, los tamaños superiores pasan a un trómel desenlodador donde se desintegra cualquier aglomerado.

Las arenas, gravas, limos y arcillas lavados y en forma de pulpa, se descargan sobre cribas múltiples (Figura 5.4.4) y son clasificados según los distintas fracciones vendibles. Para los materiales que contengan pocos aglomerados y muy poco limo y arcillas, por ejemplo los áridos marinos, se puede omitir el desenlodador

Los pulverizadores de agua de las cribas son, sin embargo, mucho más importantes y aportarán el agua dulce para reducir el contenido en cloruros de los áridos. Los áridos gruesos calibrados se almacenan y escurren en silos o montones.

No obstante, la demanda de arenas y gravas de la fracción de 5 a 20 mm puede exceder la producción natural de estos materiales. Por lo tanto, se suele hacer una previsión para triturar fracciones más gruesas, especialmente los “precibados” mayores de 40 mm, para incrementar la producción de esos productos. Se representa un triturador de cono, como el más adecuado para triturar precibados muy gruesos al rango de tamaños deseable para áridos de hormigón. Para aumentar la producción de arena, se puede utilizar una trituradora de rotores de eje vertical o incluso un molino de barras.

La fracción de arena menor de 5 mm, se procesa de acuerdo con el mercado local y el análisis granulométrico de dicho material. El diagrama de flujo muestra una criba de una luz de 1 mm, para eliminar la fracción gravilla, seguida de un hidrociclón para rechazar el limo. La fracción arenosa intermedia se clasifica para producir una arena gruesa y una arena fina.

La arena gruesa se desagua con una criba agotadora y la arena fina con un hidrociclón montado en una torre encima de un montón de escurrido. Las diversas fracciones arenosas se pueden vender separadamente o mezcladas para cumplir los requisitos de las arenas para hormigones, mortero o arena asfáltica.



Retroexcavadora hidráulica y volquete utilizado para eliminar el recubrimiento y excavar arenas y gravas.



Dragalina con sistema de transporte por cintas descargando sobre un volquete.

Figura 5.4.1.- Procedimientos de extracción en yacimientos de arenas, gravas y conglomerados.



Cantera



Voladura



Pala cargadora sobre ruedas cargando un volquete. Pala hidráulica sobre orugas cargando un dumper.



Perforadora a rotopercusión.



Figura 5.4.2.- Procedimientos de extracción en yacimientos canterables para áridos de machaqueo.

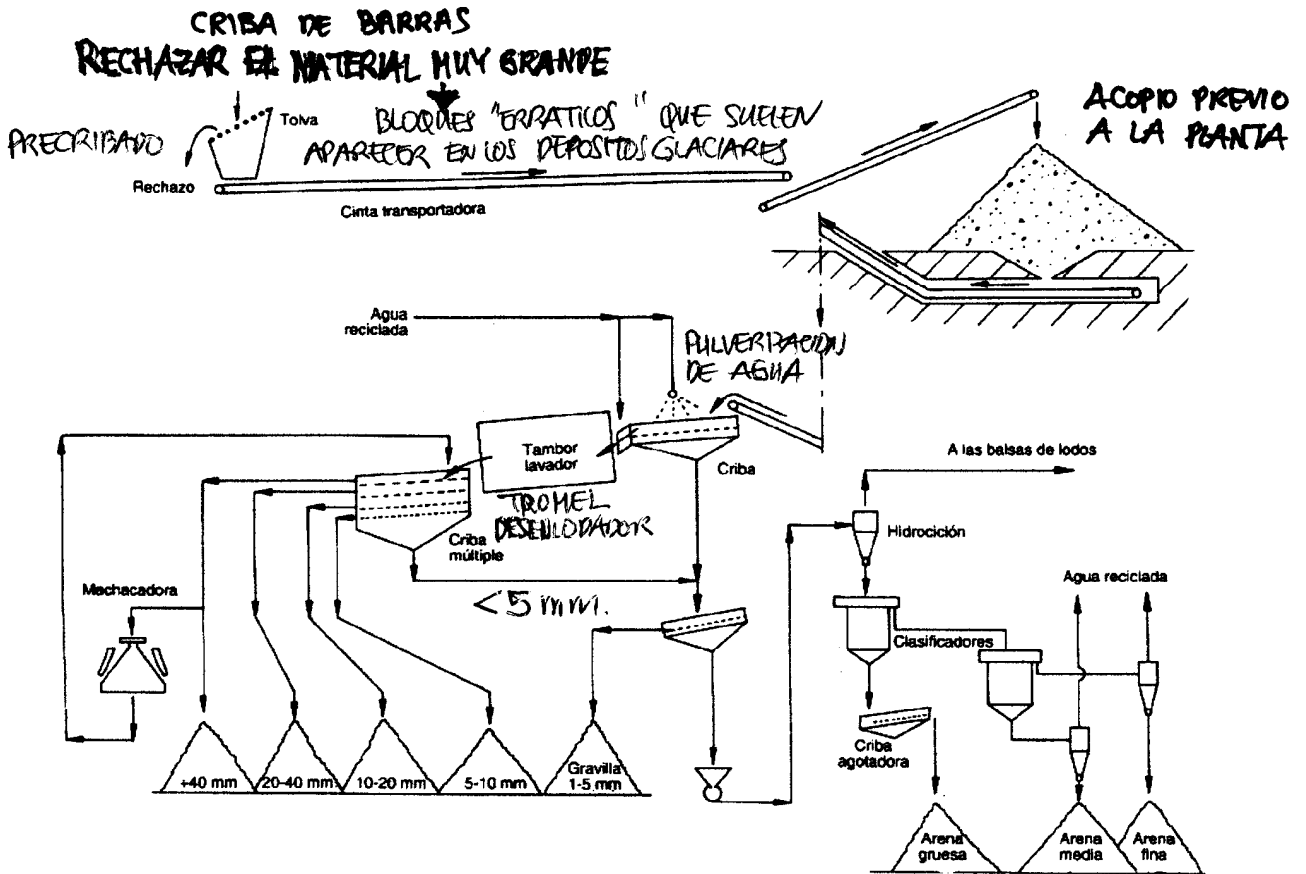


Figura 5.4.3.- Esquema de una planta típica de arenas y gravas.

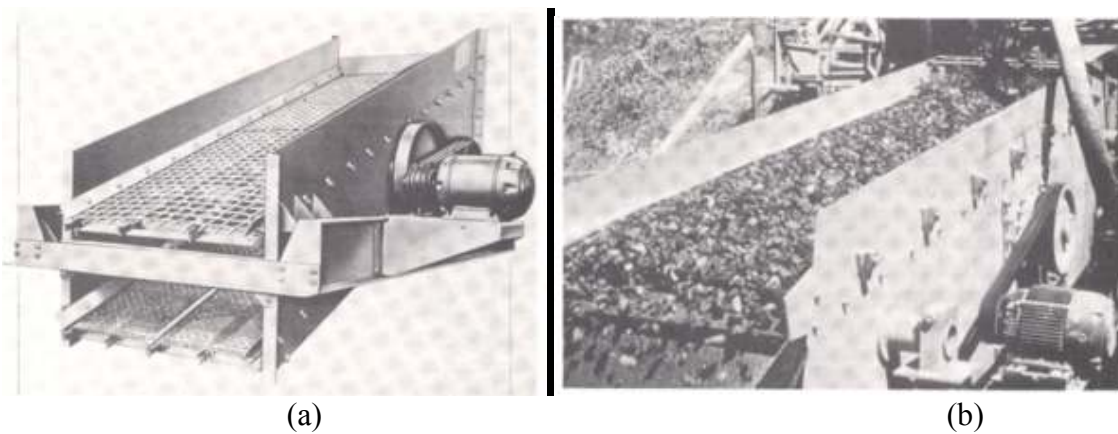
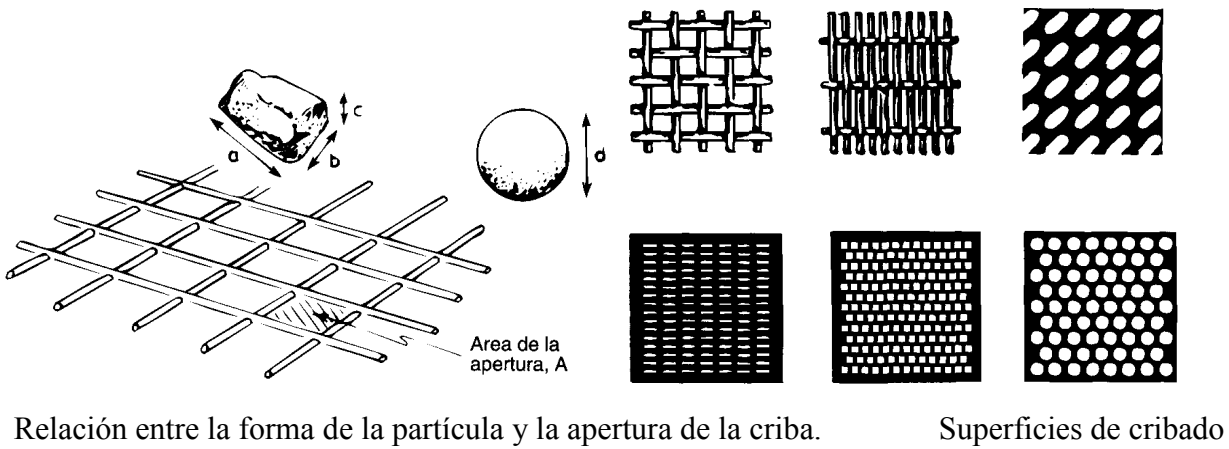


Figura 5.4.4.- (a).- Criba múltiple (b).- Criba en funcionamiento

La [figura 5.4.5](#) muestra el diagrama de flujo de una planta típica de roca triturada que produce varios tipos de áridos. La piedra extraída se descarga sobre una criba de barras que elimina el “escalpado” y se alimenta con el rechazo a una machacadora de mandíbulas de doble articulación para su trituración. El “escalpado” se vuelve a cribar con una criba más fina para aumentar la producción de roca limpia.

Cuando se procesa una caliza blanda (que contenga poca sílice en forma de pedernal o sílex), la machacadora primaria también puede ser una machacadora de mandíbulas, normalmente del tipo de articulación única, si bien son corrientes las trituradoras de rotores de eje horizontal. En otros puntos del diagrama de flujo se utilizarán trituradoras de impacto en lugar de los trituradores de cono.

Cuando la producción de la planta exceda las $1000 \frac{t}{h}$, en especial en rocas ígneas, la machacadora de mandíbulas se reemplaza por una trituradora giratoria primaria. En dicho caso, los volquetes suelen descargar directamente en la trituradora y el precibado se realiza sobre el producto de la trituradora primaria.

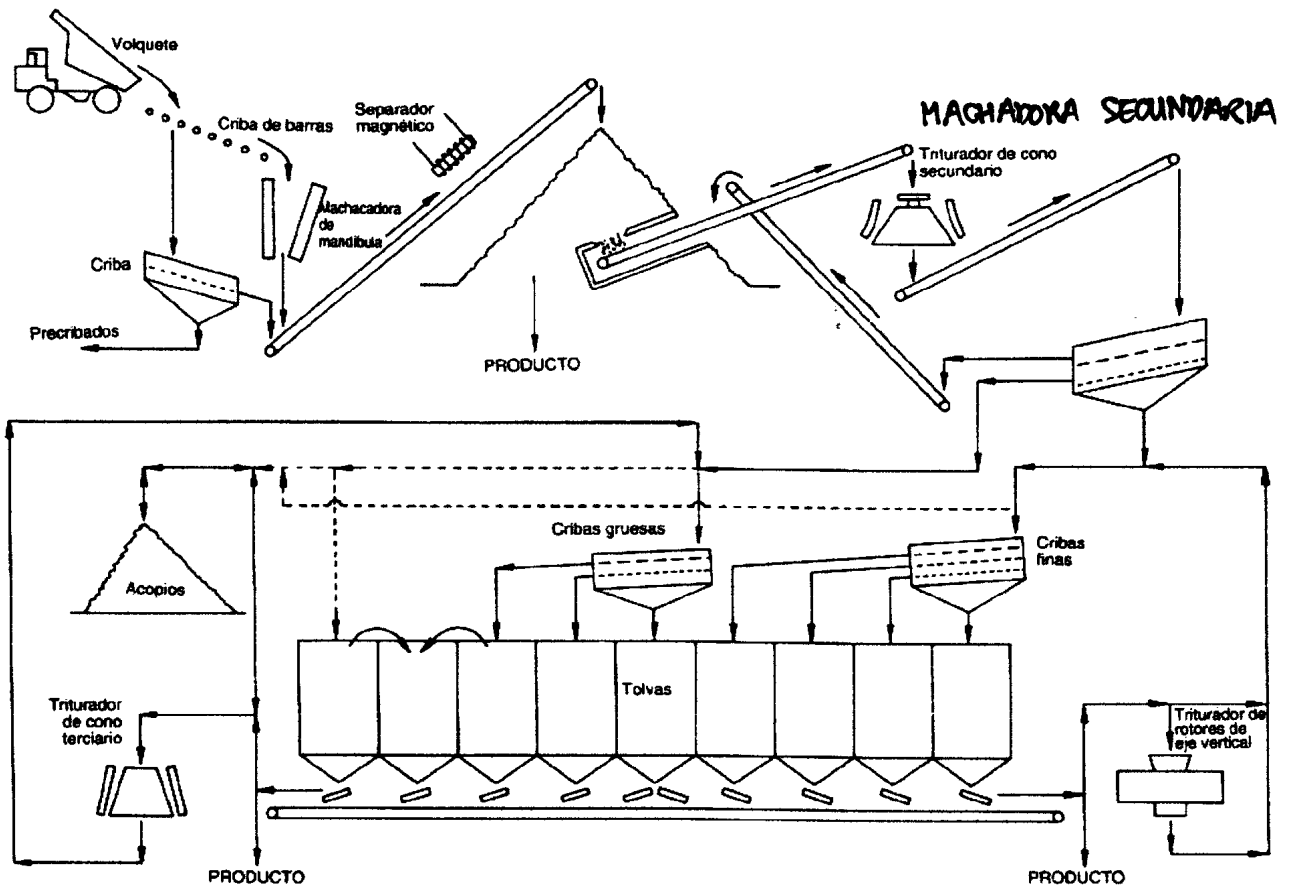
La roca triturada se acopia en una pila frente a la planta de tratamiento principal, de donde es recogida por una cinta en túnel: Esta disposición permite a la planta funcionar en horario distinto al de la cantera y durante la interrupción de las operaciones de extracción. También puede haber un mercado para este material simplemente triturado. La piedra de la cinta, pasa a una trituradora de cono secundaria, pero puede utilizarse una trituradora giratoria secundaria.

Para aumentar la capacidad de la planta se puede instalar una criba primaria antes de la trituración secundaria, para eliminar material más fino que la regulación de la trituradora, que escapa a esta fase de la conminución. El material se criba después y el rechazo se recicla a la machacadora secundaria.

Para el cribado de los áridos triturados, para separarlos en calibres estrechos, se utilizan cribas vibrantes múltiples, muchas veces montadas directamente encima de las respectivas tolvas de almacenado/despacho. No obstante, es poco probable que el cribado de los productos de la machacadora secundaria proporcione la piedra calibrada, en las proporciones que solicitan los mercados, que suelen ser mayores para los áridos más finos. Se prevé el retriturado de las fracciones más gruesas por medio de un triturador de cono terciario. De hecho, el sistema de tolvas se puede diseñar de tal modo, que cuando las tolvas que contienen los tamaños más gruesos estén llenas, el rebose automáticamente alimente el circuito de retriturado.

El árido fino se puede también retriturar y recircular a las cribas finas. Las máquinas adecuadas para este propósito, que se pueden encontrar en diversas combinaciones, son entre otras, trituradores de cono para finos, trituradores de rotores de eje vertical (en la ilustración) y trituradores de disco giratorio o giradiscos para la fabricación de arenas. También se puede utilizar en esta etapa, impactadores o trituradores de cono, para impartir formas cúbicas al producto que se pretende utilizar para gravillas de rodadura.

Las trituradoras industriales pueden clasificarse tomando como criterio el modo en que trabajan. Así, en la [tabla 5.4.1](#) se relacionan los tipos principales de trituradoras, así como sus características y aplicaciones.



Maquinaria trabajando en Cantera



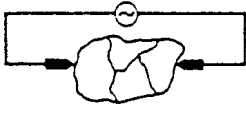
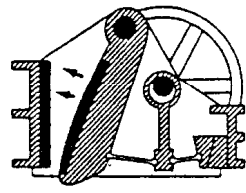
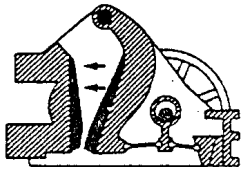
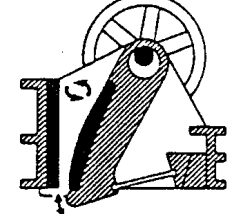
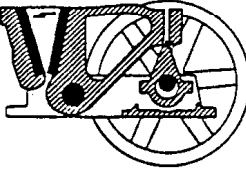
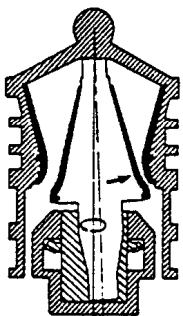
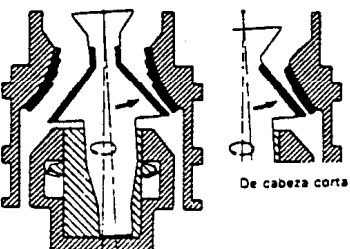
Acopio Intermedio y Primario



Planta de Trituración y Clasificación

Figura 5.4.5.- Esquema de una planta típica de roca triturada

Tabla 5.4.1.- Tipos principales de trituradoras. Características y aplicaciones.

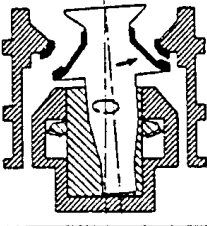
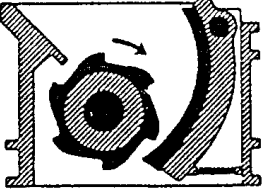
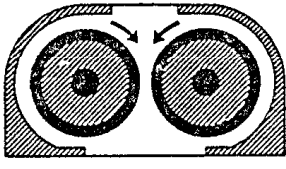
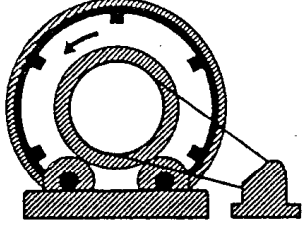
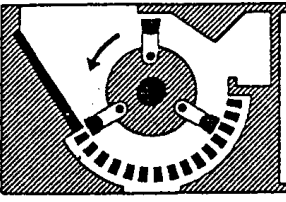
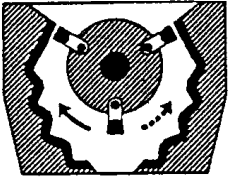
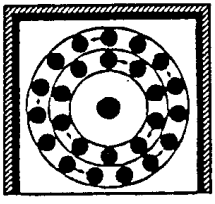
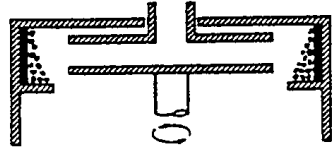
| | | Tamaño (mm) | Potencia (kw) | Velocidad (r.p.m) | Relación de reducción | Características y aplicaciones | |
|------------------------|---|---|--|---------------------------------------|-----------------------|--|--|
| QUEBRADORA DE QUIJADAS | ELECTRO-ENERGÉTICAS |  | hasta 250 | 2 a 3' mir. para trozos de 5 a 10 t.m | | Se emplean principalmente para quebrar rocas de sobremedida antes de pasar a una quebradora primaria | |
| | Blake (Doble conexión articulada) |  | 125 abertura de entrada > 150 anchos a 1600 > 2100 | 2.25 a 225** | 3000 a 100 | Promedio 7:1 Intervalo 4:1 a 9:1 | Es la quebradora original estándar de quijadas utilizada para la trituración primaria y secundaria de rocas duras, tenaces y abrasivas, así como para materiales pegajosos. Producto relativamente grueso con planos de separación, o lajas, con mínimo de finos. El volante hace uniforme el consumo de potencia. |
| | De pivote elevado (Doble conexión articulada) |  | 180 a 305 a 1220 x 1525 | 11 a 150** | 390 a 257 | Promedio 7:1 Intervalo 4:1 a 9:1 | Aplicaciones similares a las de la Blake. Pivote elevado: con éste se reduce el rozamiento contra las caras de la quebradora, se reduce el atascamiento, se logran mayores velocidades y por tanto mayores capacidades. Es mayor la eficiencia de aprovechamiento de energía porque la quijada y la carga no se elevan durante el ciclo. |
| | De excéntrico elevado (Una conexión articulada) |  | 125 a 150 a 1600 x 2100 | 2.25 a 400** | 300 a 120 | Promedio 7:1 Intervalo 4:1 a 9:1 | Originalmente estuvo restringida a los tamaños más pequeños por limitaciones estructurales. Actualmente se fabrica en los mismos tamaños que la Blake, a la cual tiende a sustituir, porque el excéntrico elevado ayuda a la alimentación y a la descarga, permitiendo lograr mayores velocidades y capacidad; tiene en cambio alto desgaste, más roturas por fatiga y ligeramente menor eficiencia de aprovechamiento de energía. Inadecuada para roca muy dura, tenaz y abrasiva. Se fabrica a veces con mordazas oscilantes gemelas. |
| | Dodge |  | 100 a 150 a 280 a 380 | 2.25 a 11** | 300 a 250 | Promedio 7:1 Intervalo 4:1 a 9:1 | El pivote ubicado abajo motiva un producto con mejor control de tamaños que la Blake, pero la quebradora Dodge es difícil de fabricar en tamaños grandes y tiene tendencia a atascarse. Generalmente se le limita a uso de laboratorio. |
| QUEBRADORAS GIRATORIAS | De campana |  | 760 (ancho de abertura) > 1400 diámetro máximo de la campana: a 2135 x 3050 | 5 a 750 | 450 a 110 | Intermedio 8:1 Intervalo 3:1 a 10:1 | Estas quebradoras se caracterizan por tener sus superficies de trituración divergentes (la superficie externa o del tazón tiene inclinación hacia adentro y hacia el fondo). Se usa para trituración primaria y secundaria, con mínimo de finos. Son más altas, de mayor capacidad y más adecuadas para alimentaciones lajas que la quebradora de quijadas. |
| | De cono |  | 600 (diámetro del cono) a 3050 | 22 a 600 | 290 a 220 | Trituración secundaria 6:1 a 8:1 Trituración terciaria 4:1 a 6:1 | Las quebradoras de cono se caracterizan por sus superficies de trituración convergentes (la superficie externa tiende a ser paralela a la superficie del cono). Se emplean para trituración secundaria y terciaria. Generalmente al disminuir el tamaño de las partículas (por ejemplo en la trituración terciaria) la superficie externa de trituración se vuelve más recta y más paralela a un cono de inclinación más fuerte (a menudo se le llama quebradora de "cabeza corta"). Las quebradoras terciarias se alimentan a veces favoreciendo el atascamiento. |

* Estos datos tienen por objeto únicamente indicar la capacidad. Deben consultarse los catálogos de los fabricantes y aplicarse la Ley de Bond para obtener información confiable.

** Para roca muy dura, la potencia puede ser hasta 50% mayor, contando con que se refuerce la máquina.

® Marca comercial registrada, Rexnord Inc.

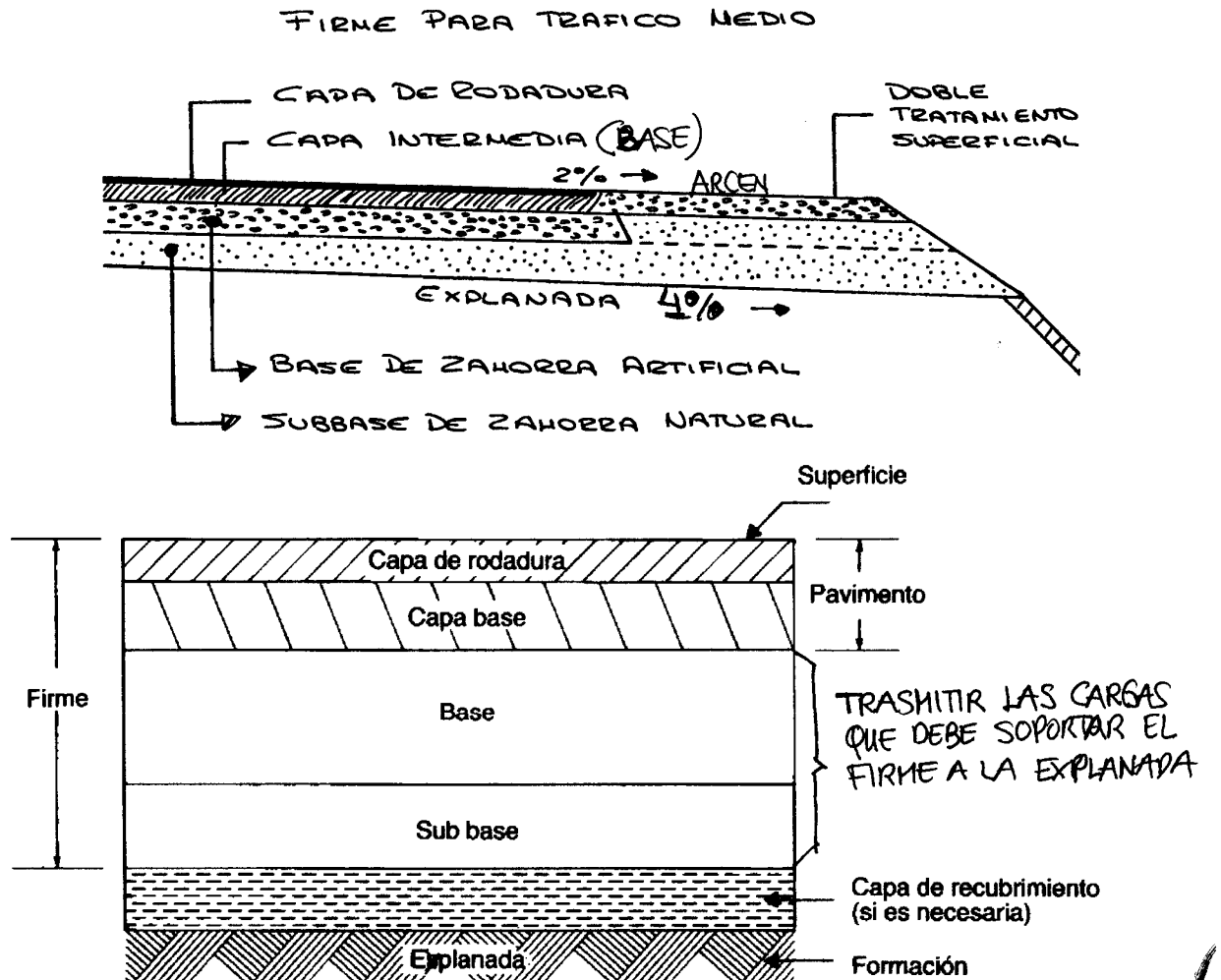
Tabla 5.4.1.- Tipos principales de trituradas. Características y aplicaciones (CONTINUACION).

| | | Tamaño (mm) | Potencia (kW) | Velocidad (r.p.m.) | Capacidad (t/h) | Relación de reducción | Características y aplicaciones |
|------------------------|------------------------------|--|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--|---|
| QUEBRADORAS GIRATORIAS | Gyradac* |  <p>900 (diámetro del cono) a 2100</p> | <p>100 a 400</p> | <p>325 a 260</p> | | <p>2:1 a 4:1</p> | <p>Para trituración muy fina o cuaternaria. La alimentación en condiciones de atascamiento y el bajo ángulo del cono ocasionan la fractura entre las capas de partículas, reducen el desgaste y dan una forma más cúbica a las partículas. Se emplean para reducir agregados (en lugar del molino de barras), o para asegurar una alimentación de tamaño uniforme para un molino de barras. Son inadecuadas para material pegajoso.</p> |
| | De un solo rodillo |  <p>500 (diámetro) x 450 (ancho) a 1500 x 2100</p> | <p>15 a 300</p> | <p>60 a 23</p> | <p>20 a 1500</p> | <p>hasta 7:1</p> | <p>Es básicamente una quebradora primaria o secundaria, adecuada para materiales blandos, delezneables y no abrasivos, tales como carbón mineral o caliza. Es superior a las quebradoras de quijadas y las giratorias para materiales mojados o pegajosos.</p> |
| QUEBRADORAS DE RODILLO | De dos rodillos |  <p>750 (diámetro) x 350 (ancho) hasta 1800 x 900 o bien 850 x 2100</p> | <p>27 a 112</p> | <p>150 a 50</p> | <p>20 a 2000</p> | <p>3:1</p> | <p>A bajas relaciones de reducción el producto es relativamente bajo en finos. Todavía se utilizan en algunas plantas como quebradoras terciarias (de roca), pero se ha visto desplazada por las quebradoras de cono. Para la trituración de carbón se utilizan rodillos dentados (con ancho - dos veces el diámetro).</p> |
| QUEBRADORAS ROTATORIAS | |  <p>2100 (diámetro) x 3650 (longitud) a 4300 x 9750</p> | <p>7 a 112</p> | <p>18 a 12</p> | <p>400 a 2000</p> | <p>Carbon mineral como sale de la mina hasta producto de 40 a 150 mm</p> | <p>Quebra el carbón tal como sale de la mina a un tamaño superior predeterminado (con un mínimo de finos) y a la vez separa el desecho grueso.</p> |
| QUEBRADORAS DE IMPACTO | Molinos de martillo |  <p>Abertura de alimentación 160 x 230 a 640 x 1470</p> | <p>11 a 375</p> | <p>1800 a 600</p> | <p>hasta 2500</p> | <p>hasta 20:1 en circuito abierto hasta 40:1 en circuito cerrado</p> | <p>Se caracterizan por tener una parrilla de barras cubriendo la salida. Las hay de muchas formas de caja reversible/no reversible, de caja ajustable/no ajustable, inatacable, de granulador de anillo. La mayoría de la fractura se efectúa por impacto, algo por fricción. Se utilizan para trituración primaria, secundaria y terciaria, para formas cúbicas y máximo de finos. Alimentación no dura ni abrasiva.</p> |
| | Impactoras |  <p>Abertura de alimentación a 1400 x 2300</p> | <p>hasta 450</p> | <p>hasta 900</p> | <p>hasta 1200</p> | <p>hasta 40:1 en circuito cerrado</p> | <p>Se caracterizan por sus placas quebradoras y su descarga abierta. Se usan para trituración primaria, secundaria o terciaria de materiales blandos y delezneables. Se recomiendan para alta relación de reducción, alta capacidad, formas cúbicas, producto bien graduado y mínimo de finos. Pueden usarse a velocidades mayores para producir más finos.</p> |
| | Desintegradoras de "impacto" |  <p>750 (diámetro) a 1300</p> | <p>22 a 260</p> | <p>1500 a 480</p> | <p>5 a 80</p> | | <p>Pueden tener 1, 2, 4 ó 6 jaulas instaladas concéntricamente. La alimentación entra por el centro de la jaula interior, y se centrifuga hacia afuera, sujetándose a fuerzas de impacto crecientemente mayores en cada etapa. Por lo demás es semejante a las impactoras.</p> |
| | De eje vertical |  <p>685 (diámetro del rotor) a 990</p> | <p>55 a 150</p> | <p>2300 a 1400</p> | <p>200 a 100</p> | <p>2:1</p> | <p>El rotor centrifuga al material que se alimenta. El anillo quebrador está protegido contra el desgaste por una capa permanente del producto. Es en esencia una quebradora terciaria para roca muy dura. Su desgaste es menor y su producción en volumen es mayor en relación con los molinos de martillos.</p> |

5.5.- ÁRIDOS PARA CARRETERAS (CAPAS GRANULARES).

Los áridos se utilizan de muy diversas formas en los pavimentos de las carreteras y de los aeropuertos constituyendo, un tanto por ciento, por lo general, superior al 90 %, de la mayoría de las capas de los firmes de carreteras. Esos elevados volúmenes condicionan económicamente su selección, limitándose necesariamente las distancias de transporte, con lo que el empleo de cada tipo de árido depende fundamentalmente de las disponibilidades de materiales en las zonas relativamente próximas a la obra.

En la [figura 5.5.1](#) puede verse una carretera y la sección constructiva típica de las capas de un pavimento flexible (Firme), siendo la zona que va a soportar las cargas de tráfico y se construye con materiales colocados de tal manera que sean estables frente a las sollicitaciones a que va a estar sometido.



CARRETERAS

1. Explanada.
2. Lámina geotextil **DANOFELT PY 500***.
3. Capa drenante permeable.
4. Lámina geotextil **DANOFELT PY 500***.
5. Subbase.
6. Base.
7. Pavimento bituminoso drenante.
8. Tubo de drenaje.
9. Cuneta.

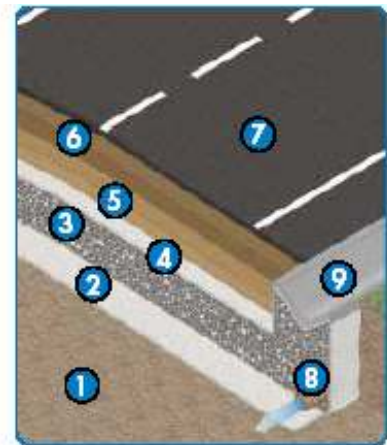


Figura 5.5.1.- Sección constructiva típica de las capas de un pavimento flexible.

Las capas granulares entre otras tienen las siguientes funciones:

Tanto las bases como las sub - bases, tienen la función principal de transmitir las cargas que debe soportar el firme a la explanada. Las sub - bases, además de lo mencionado juegan un papel de capa anticontaminante y filtrante, al tiempo que desempeñan la función de elemento drenante.

Las exigencias para el material granular utilizado en bases son superiores a las que se piden para sub - bases, los materiales naturales utilizados en estas capas de firme de carreteras son zahorras naturales, zahorras artificiales preparadas mediante machaqueo y en menor medida, el macadam con su recebo correspondiente.

Aunque de cada tipo de roca se pueden preparar sus áridos característicos, la realidad es que en capas granulares se suelen utilizar rocas abundantes, resistentes y no sensibles al agua, prescindiendo ya de las rocas arcillosas.

5.5.1.- PROCEDENCIA.

Los áridos para carreteras pueden ser:

- ÁRIDOS NATURALES.
- ÁRIDOS ARTIFICIALES.

ÁRIDOS NATURALES.

Los áridos naturales, procedentes de la disgregación de las rocas, son los más habituales en la técnica de carreteras. Pueden proceder de rocas eruptivas, metamórficas o sedimentarias.

ÁRIDOS CALIZOS.

La caliza es el tipo de roca más común de España, siendo Galicia la única zona con escasez de dicho material. Por esta abundancia y mayor economía en las operaciones de reducción de tamaño, su empleo está generalizado en todas las capas de los firmes, exceptuándose únicamente su empleo como árido grueso en las capas de rodadura, pues se trata de una roca fácilmente pulimentable y con tráfico intenso puede dar lugar a superficies deslizantes en un período de tiempo corto.

Además es el tipo de árido que, debido a su carácter básico, presenta en general menores problemas de adhesividad (Afinidad con los ligantes hidrocarbonados). Se utiliza por ello para mejorar dicha característica en mezclas bituminosas cuando se emplean otro tipo de áridos, más duros, pero también más ácidos (Silíceos, pórfidos, etc.).

En general, se puede decir que los áridos calizos son áridos blandos (dureza 3 en la escala de Mohs), y tienen un coeficiente de desgaste elevado (superior a 25 el valor del coeficiente de Los Angeles, C.A.).

ÁRIDOS SILICEOS.

El árido silíceo procedente de la trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en todas las capas de los firmes por su abundancia en España, habiendo zonas en las que se emplean para las obras sólo gravas trituradas al ser éste prácticamente el único material existente. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y partir de ellas por reducción de tamaño se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. El número mínimo de caras de fractura requerido queda garantizado cuanto mayor sea el tamaño del "Bolo" de partida.

Este tipo de áridos puede no aportar una adhesividad suficiente con los ligantes hidrocarbonados. Sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo, incluso, en mezclas bituminosas sometidas a la acción directa del tráfico.

Los áridos silíceos son áridos duros (dureza 7 en la escala de Mohs) y tienen un coeficiente de desgaste pequeño (inferior a 25 el valor del coeficiente de Los Angeles, C.A.).

ÁRIDOS IGNEOS Y METAMORFICOS.

Se trata de materiales que por sus características son especialmente adecuados para su empleo como árido grueso en capas de rodadura. Sus cualidades de resistencia al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria durante un período de tiempo dilatado, incluso con tráficos intensos.

Dentro de este grupo tan amplio, los áridos de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes hidrocarbonados, pero en la mayoría de los casos el problema se puede solucionar con activantes o eventualmente con emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas bituminosas con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

En la utilización de éste tipo de áridos tienen un gran peso los criterios económicos, debido a su mayor dificultad de trituración y a las distancias de transporte.

Son los áridos de granitos, cuarcitas, basaltos, etc. Estos áridos están compuestos por sílice y silicatos. Son duros (6 en la escala de Mohs) y con un coeficiente de desgaste que suele ser alto.

ÁRIDOS ARTIFICIALES.

La mayor de los áridos utilizados en la construcción de firmes procede de la fragmentación de las rocas. Sin embargo, determinadas consideraciones (Ambientales, energéticas, escasez de áridos naturales, necesidad de características especiales, etc.) pueden conducir en ocasiones a la utilización de áridos artificiales. Estos áridos pueden proceder de:

Subproductos de procesos industriales.

Entre los áridos artificiales que son subproductos de procesos industriales podemos citar:

Estériles de explotaciones mineras, escorias cristalizadas de horno alto y acería, cenizas volantes, residuos de la industria cerámica y del vidrio, etc. También cabría incluir aquí los obtenidos a partir de la trituración y clasificación de productos de demolición y reciclado de firmes antiguos.

Áridos manufacturados.

Proceden del tratamiento industrial de áridos naturales y con ellos se pretende conseguir alguna característica especial, por ejemplo una elevada resistencia al deslizamiento en la capa de rodadura, como ocurre con los tres tipos de estos áridos artificiales más conocidos

- Arcillas expandidas.
- Sílice calcinada.
- Bauxita calcinada.

En los tres casos se trata de áridos porosos, lo que hace que su microtextura se esté renovando continuamente con la acción abrasiva del tráfico, sin que su superficie llegue a estar pulida. Además, algunos de ellos son de color blanco lo que los hace idóneos para zonas iluminadas (Vías urbanas), pues en ellas interesa que la capa de rodadura sea de color suficientemente claro para conseguir ahorros de energía en iluminación.

5.5.2.- CARÁCTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS PARA CARRETERAS.

Las características físicas de los áridos que se requieren para su empleo en firmes son una consecuencia lógica de la naturaleza mineralógica de la roca de procedencia. Aunque puede parecer clara la aptitud de determinados materiales pétreos (Basaltos, ofitas, pórfidos, cuarcitas, etc.), los criterios económicos son los que más influyen al final, con lo que el empleo de cada tipo de árido depende, fundamentalmente, de las disponibilidades de materiales en las zonas relativamente próximas a la obra. Por ello, es normal que en cada zona se utilicen casi siempre los áridos locales.

El tamaño de los áridos pueden clasificarse en: GRUESOS, FINOS Y POLVO MINERAL.

Las especificaciones de la Dirección General de Carreteras definen como árido grueso al retenido por el tamiz 2.5 UNE (2.5 mm), como árido fino al comprendido entre los tamices 2.5 UNE y el 0.8 UNE (0.08 mm) y como polvo mineral a la fracción que pasa por el último tamiz, es decir lo menor de 80 micras.

Las principales características que se deben tener en cuenta en los áridos para carreteras son las siguientes:

- PROPIEDADES GEOMETRICAS.

- Distribución granulométrica. Compacidad y capacidad portante.
- Forma y angulosidad.

- PROPIEDADES MECANICAS.

- Resistencia al desgaste.
- Resistencia al pulimento.

- AUSENCIA DE IMPUREZAS.

- INALTERABILIDAD.

- ADHESIVIDAD.

5.5.2.1.- Granulometría. Compacidad y capacidad portante.

La granulometría del árido (Conjunto de partículas) influye de forma importante sobre la compacidad de una capa granular, que es una propiedad importante al estar directamente relacionada con la resistencia mecánica, deformabilidad, estabilidad e impermeabilidad del firme. La práctica ha determinado, para las diferentes unidades de obra, una serie de husos granulométricos en los que debe encajarse la distribución granulométrica.

Se suelen utilizar distribuciones granulométricas sensiblemente continuas, con el fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías uniformes, caso del macadan, o discontinuas como en algunas mezclas bituminosas.

El tamaño máximo de los áridos viene limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, a la trabajabilidad, a la segregación, etc. Por otro lado, la influencia de las partículas finas obliga a limitar su contenido y su plasticidad. En las mezclas bituminosas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a 80 micras, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y el ligante.

Para obtener los valores de compacidad de una capa granular, se realiza el Ensayo Proctor (Proctor en honor a quien lo desarrolló) (Figura 5.5.2.1.1), que es un ensayo de compactación de suelo que tiene como finalidad obtener la humedad óptima con que se debe realizar su compactación, para una determinada energía de compactación.

La humedad óptima de compactación es aquella humedad (% de agua) para la cual la densidad del suelo es máxima, es decir que cantidad de agua le hemos de añadir a un suelo para poderlo compactar la máximo con una energía concreta.

Para encontrar este parámetro lo que hacemos es realizar 4 ensayos con un mismo suelo (uno por saco de muestra preparada) pero con diferentes humedades de forma que después de haber realizado las compactaciones obtendremos 4 densidades de este suelo para 4 humedades diferentes, no obstante lo más fácil es que ninguna de esas sea la humedad óptima, pero si que podemos usarlas para obtener la humedad óptima mediante interpolación. Es decir que situando los 4 valores obtenidos en una gráfica de la densidad frente al % agua obtendremos 4 puntos que nos permitirán trazar una curva, de manera que el punto más alto de la curva será el de mayor densidad y por tanto el de la humedad óptima.

Para la compactación se disponen tres capas consecutivas del material a compactar sometiendo a cada una de ellas a 25 golpes de un pistón de peso 2.5 Kg, que se deja caer desde una altura de 30.5 cm. y tiene un diámetro de 5 cm.

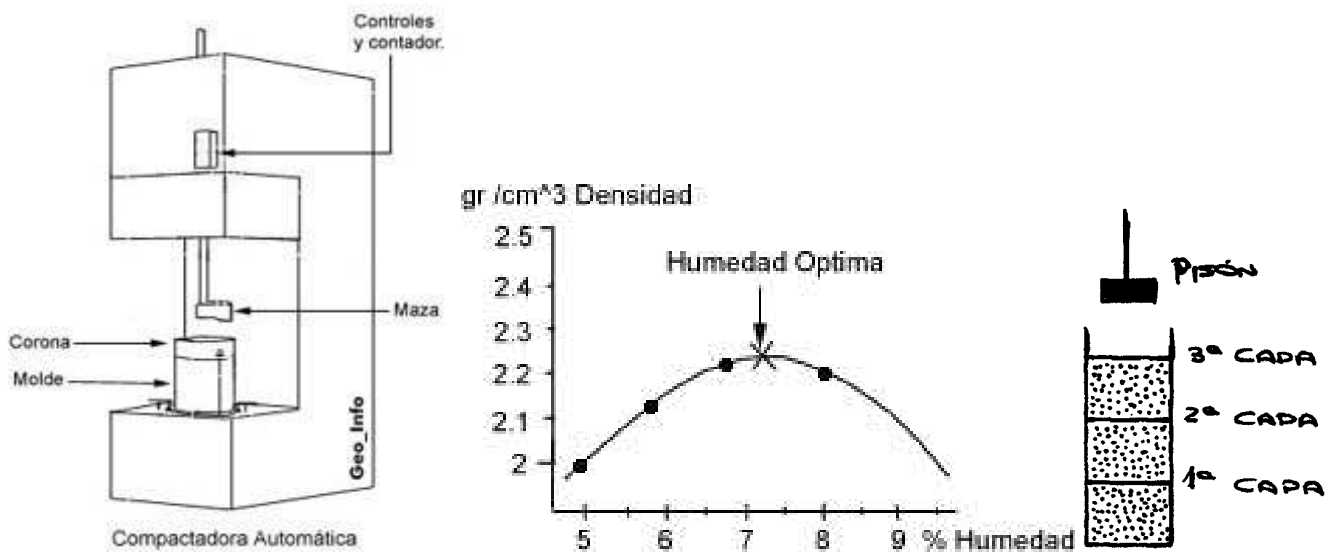


Figura 5.5.2.1.1.- Ensayo PROCTOR .

La capacidad portante determina el cimiento del firme y es la base para obtener su dimensionamiento. Para ello se realiza el Ensayo CBR (California Bearing Ratio) (Figura 5.5.2.1.2)

El ensayo CBR mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas, por ejemplo circular de área 19.35 cm^2 , a una velocidad de penetración previamente fijada, por ejemplo de $1.27 \frac{\text{mm}}{\text{minuto}}$, en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento. El hecho de sumergir la muestra se debe a que así podemos prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción.

Por tanto después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, lo penetramos con un pistón el cual va conectado a un pequeño "plotter" que nos genera una gráfica donde se nos representa la carga unitaria ($\frac{\text{Fuerza}}{\text{Unidad .de .area}}$) respecto a la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra (Figura 5.5.2.1.3). Esta gráfica suele ser una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo (si el tramo inicial no es recto se corrige). Una vez tenemos la gráfica miramos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón había penetrado 2.54 mm (0.1 pulgada) y 5.08 mm (0.2 pulgadas).

La curva puede tomar, ocasionalmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que la tangente corta la abscisa.

El CBR es la relación expresada en % entre la carga así determinada y la que se obtiene por el mismo procedimiento para una muestra tipo de piedra machacada. La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Carga..del.ensayo}}{\text{Carga..patron}} 100 = \frac{F_{\text{MUESTRA..ENSAYO}}}{F_{\text{MUESTRA..PATRON}}} 100$$

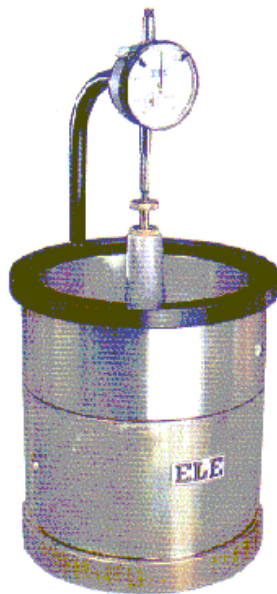
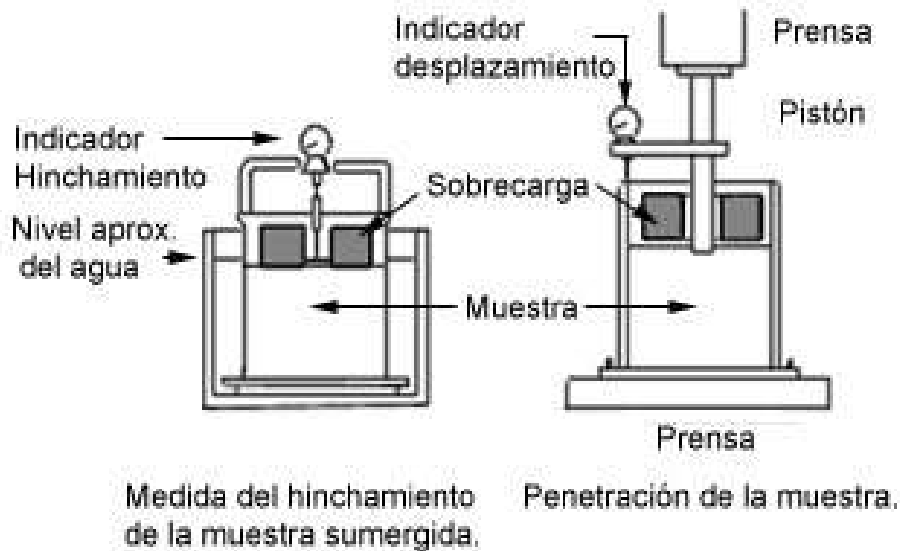


Figura 5.5.2.1.1.- Ensayo CBR (California Bearing Ratio).

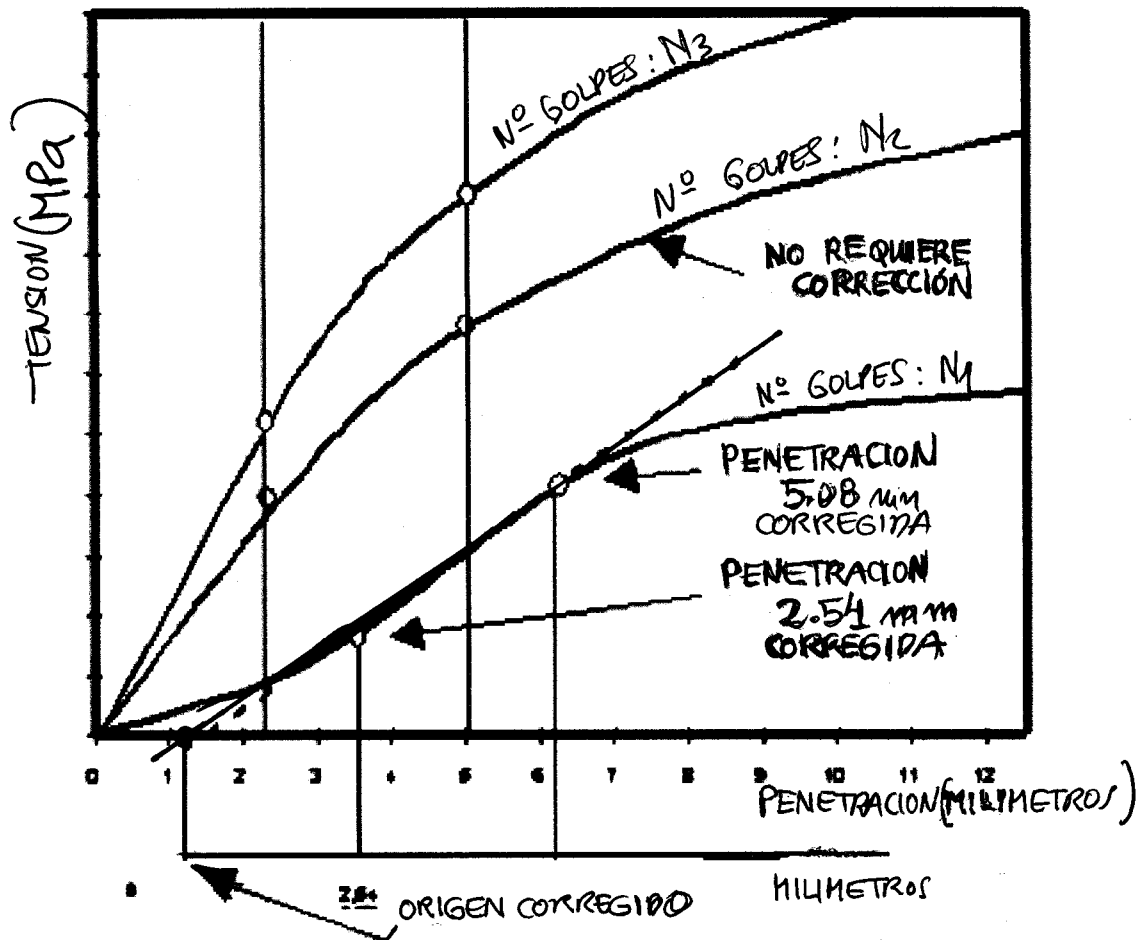


Figura 5.5.2.1.3.- Corrección de Curvas Tensión- Penetración

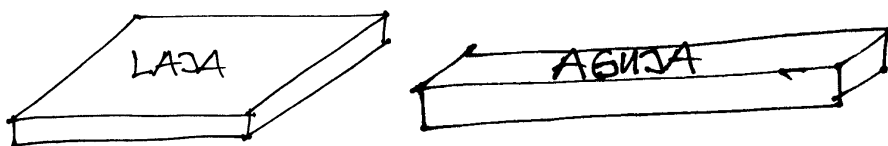
En la tabla 5.5.2.1.1 puede verse la clasificación y uso del material granular según el valor de CBR.

Tabla 5.5.2.1.1- Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR.

| CBR | Clasificación cualitativa del suelo | Uso |
|----------|-------------------------------------|-------------|
| 2 - 5 | Muy mala | Sub-rasante |
| 5 - 8 | Mala | Sub-rasante |
| 8 - 20 | Regular - Buena | Sub-rasante |
| 20 - 30 | Excelente | Sub-rasante |
| 30 - 60 | Buena | Sub-base |
| 60 - 80 | Buena | Base |
| 80 - 100 | Excelente | Base |

5.5.2.2.-Forma y angulosidad.

La forma de las partículas del árido grueso afecta, fundamentalmente, al esqueleto mineral del árido. Las lajas y las agujas pueden romperse con más facilidad durante la compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría original del árido. En consecuencia, deben imponerse limitaciones al contenido de partículas de forma no adecuada, como son las lajas y las agujas



Se definen los índices de lajas y agujas como las relaciones en peso entre las partículas que son, respectivamente, lajas y agujas y la muestra total.

$$\text{INDICE DE LAJAS} = \frac{P_{LAJAS}}{P_{TOTAL}}$$

$$\text{INDICE DE AGUJAS} = \frac{P_{AGUJAS}}{P_{TOTAL}}$$

El ensayo para determinar el índice de lajas consiste en dos operaciones de tamizado. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones granulométricas $\frac{d_i}{D_i}$, tal y como se indica en

la tabla 5.5.2.2.1. Cada una de las fracciones granulométricas $\frac{d_i}{D_i}$ se criba a continuación empleando para

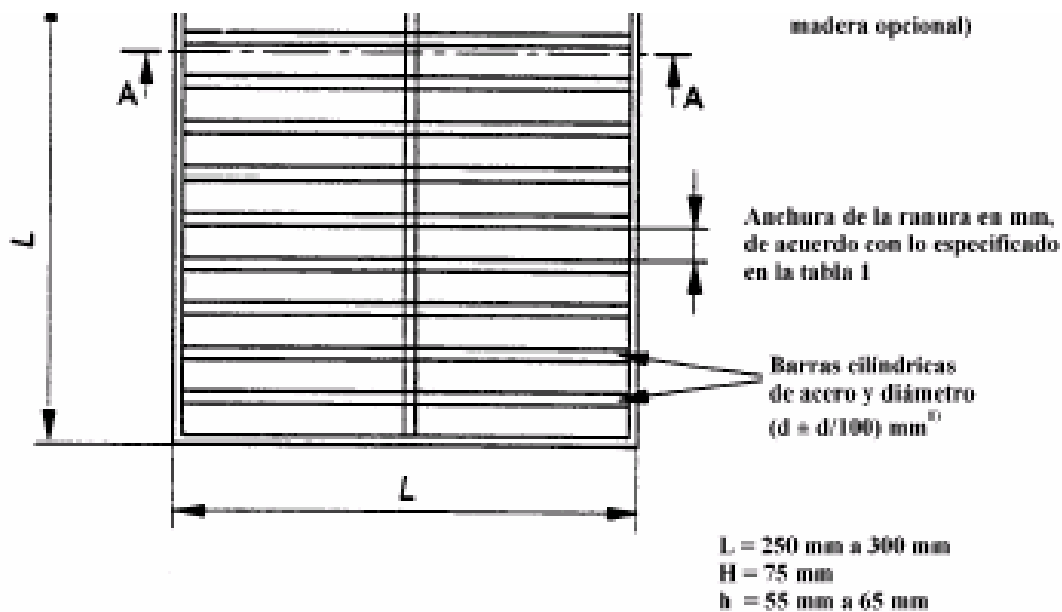
ello tamices de barras paralelas y separadas $\frac{D_i}{2}$

El índice de lajas global se calcula a partir de la masa total de las partículas que pasan por los tamices de barras expresado como porcentaje del total de la masa seca de las partículas sometidas a ensayo. Si es necesario, se calculará el índice de lajas para cada fracción granulométrica $\frac{d_i}{D_i}$ como la masa de las partículas que pasan por su correspondiente tamiz de barras, expresado como porcentaje de la masa de esa fracción granulométrica.

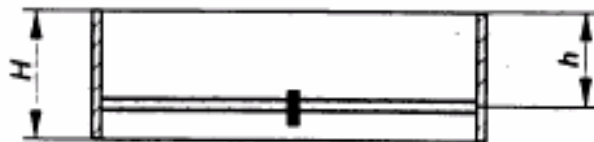
Tabla 5.5.2.2.1.- Tamices de barras.

| Fracción granulométrica d_i/D_i , mm | Anchura de la ranura del tamiz de barras mm |
|--|---|
| 63/80 | 40 ± 0,3 |
| 50/63 | 31,5 ± 0,3 |
| 40/50 | 25 ± 0,2 |
| 31,5/40 | 20 ± 0,2 |
| 25/31,5 | 16 ± 0,2 |
| 20/25 | 12,5 ± 0,2 |
| 16/20 | 10 ± 0,1 |
| 12,5/16 | 8 ± 0,1 |
| 10/12,5 | 6,3 ± 0,1 |
| 8/10 | 5 ± 0,1 |
| 6,3/8 | 4 ± 0,1 |
| 5/6,3 | 3,15 ± 0,1 |
| 4/5 | 2,5 ± 0,1 |

Los tamices de barras están formados por barras cilíndricas paralelas de acuerdo con la figura 5.5.2.2.1.



1) Los valores de los diámetros oscilan entre 5 mm y 15 mm en función de la anchura de la ranura.



Sección A - A'

Figura 5.5.2.2.1.- Tamices de barras

Primero se tamiza la muestra de ensayo utilizando los tamices mencionados, a continuación se pesa y se rechaza las partículas que pasen por el tamiz de 4 mm y que sean retenidas por el de 80 mm. También se pesa y se conserva por separado las partículas de cada fracción granulométrica $\frac{d_i}{D_i}$ comprendida entre 4 mm y 80 mm.

Se criba cada fracción granulométrica d_i/D_i obtenida con los correspondientes tamices de barras que se indican en la tabla 5.5.2.2.1. Este cribado se realizará manualmente y se considerará terminado cuando el rechazo no varíe en más del 1 % durante 1 minuto de cribado. Para cada fracción granulométrica, se pesará el material que pasa por el tamiz de barras correspondiente.

Los resultados se anotarán en las hojas de ensayo (Figura 5.5.2.2.2). Se calcula la suma de las masas de las fracciones granulométricas d_i/D_i y se anota como M_1 .

Se calcula la suma de las masas de las partículas de cada fracción granulométrica que pasan por los tamices de barras correspondientes con separación $D_i/2$ y se anota como M_2 .

El índice de lajas global IL_G se calcula como sigue:

$$IL_G = \frac{M_2}{M_1} 100$$

donde:

M_1 = Suma de las masas de las fracciones granulométricas d_i/D_i , en gramos;

M_2 = Suma de las masas de las partículas que pasan por los tamices de barras de anchura $D_i/2$ correspondientes a cada fracción granulométrica, en gramos.

El índice de lajas global (IL_G) se registrará redondeando al número entero más próximo.

El índice de lajas para cada fracción granulométrica IL_i se calculará, cuando sea necesario, como sigue:

$$IL_G = \frac{m_i}{R_i} 100$$

donde:

R_i = Masa de cada fracción granulométrica $\frac{d_i}{D_i}$, en gramos;

m_i = Masa del material de cada fracción granulométrica $\frac{d_i}{D_i}$ que pasa a través del tamiz de barras correspondiente de anchura $\frac{D_i}{2}$, en gramos.

Cuando la suma de las masas R_i junto con la masa de las fracciones descartadas difiera en más del 1 % de la masa total de la muestra de árido, M_0 , el ensayo se repetirá utilizando otra muestra de ensayo.

| Índice de lajas: | | Laboratorio: | | |
|---|--|---|--|------------------------------------|
| EN 933-3 | | Operador: | | |
| Identificación de la muestra: | | Fecha: | | |
| Masa de la muestra $M_0 =$ g | | Masa retenida por el tamiz de 80 mm = | g | |
| | | Masa que pasa por el tamiz de 4 mm = | _____ g | |
| | | Suma de las masas rechazadas = | g | |
| Tamizado con tamices de ensayo | | Cribado con tamices de barras | | |
| Fracción granulométrica d/D_i | Masa (R_i) de la fracción granulométrica d/D_i | Anchura nominal de las ranuras de los tamices de barras | Masa que pasa por el tamiz de barras (m_i) | IL_i = $(m_i/R_i) \times 100$ |
| mm | g | mm | g | |
| 63/80 | | 40 | | |
| 50/63 | | 31,5 | | |
| 40/50 | | 25 | | |
| 31,5/40 | | 20 | | |
| 25/31,5 | | 16 | | |
| 20/25 | | 12,5 | | |
| 16/20 | | 10 | | |
| 12,5/16 | | 8 | | |
| 10/12,5 | | 6,3 | | |
| 8/10 | | 5 | | |
| 6,3/8 | | 4 | | |
| 5/6,3 | | 3,15 | | |
| 4/5 | | 2,5 | | |
| $M_1 = \sum R_i =$ | | $M_2 = \sum m_i =$ | | |
| $IL = (M_2/M_1) \times 100 =$ | | | | |
| $100 \times \frac{M_0 - \{\sum R_i + \sum(\text{masas rechazadas})\}}{M_0} =$ | | | | < 1% |

Figura 5.5.2.2.2.- Ejemplo de hoja de resultados para la determinación del índice de lajas.

La angulosidad, junto con la textura superficial, influye en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno. En España se evalúa la angulosidad por el tanto por ciento de partículas con dos o más caras de fractura. Este requerimiento, a veces, se piensa que es insuficiente y sería necesario exigir más de dos caras o incluso todas.

$$ANGULOSIDAD = \frac{P_{PARTICULAS..CARAS..DE.FRACTURA.. \geq .2}}{P_{TOTAL}}$$

Las caras de fractura son las superficies de una partícula de grava producidas por machaqueo o rotura debido a fuerzas naturales y que están limitadas por aristas vivas. Si las aristas de las superficies de una partícula de grava triturada están desgastadas o meteorizadas por acción de la intemperie, sus superficies se deben considerar como redondeadas.

Las partículas pueden ser:

- Totalmente triturada: Partícula con más del 90% de caras de fractura (tc).
- Triturada: Partícula con más del 50% de caras de fractura (c).
- Redondeada: Partícula con el 50% o menos de caras de fractura (r).
- Totalmente redondeada: Partícula con más del 90% de las superficies redondeadas (tr).

5.5.2.3.- Resistencia al desgaste.

Las capas del firme están sometidas a un proceso de carga y descarga en áreas pequeñas debido al paso del tráfico. Este proceso implica el desarrollo del rozamiento entre partículas que es lo que da trabazón a todo el esqueleto. La acción continuada de estas cargas, puede producir un desgaste del material grueso, aflojando el esqueleto que se había colocado compactado, perdiendo, por tanto, capacidad soporte la grava.

Un árido grueso a utilizar en capas del firme debe tener una resistencia al desgaste alta, en particular cuanto más próxima a la superficie esté la capa.

La evaluación de dicha resistencia se determina mediante diversos ensayos de laboratorio. Los basados en la determinación de la resistencia intrínseca de la roca no ofrecen resultados satisfactorios, por lo que se han puesto a punto una serie de ensayos que tienden a simular el comportamiento que luego tendrán los áridos en servicio. Para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a utilizarse en la práctica, sometiéndolas a un desgaste que, de forma indirecta, proporciona información sobre la resistencia mecánica del material.

Los ensayos más habituales son:

- Ensayo de desgaste de Los Angeles.
- Ensayo de friabilidad.
- Ensayo Deval y micro - Deval.

Los dos primeros presentan como ventajas su sencillez y rapidez de ejecución. El ensayo Deval se utiliza en Francia y en España ocasionalmente. En cuanto al micro - Deval, de amplia utilización en Francia, no se utiliza en España, pero sería interesante su aplicación para caracterizar el árido fino, lo que no es posible hacer de manera directa con la máquina del ensayo Los Angeles.

En España, el ensayo más utilizado para medir la resistencia al desgaste es el ensayo de Los Angeles, que toma su nombre de la ciudad americana donde comenzó a utilizarse. En [la figura 5.5.2.3.1](#) puede verse la máquina de desgaste del ensayo Los Angeles. La manera de realizarlo viene dada por la norma NLT- 149/72 o la UNE 83-116 - 90.

Dicho ensayo se realiza con un aparato formado por un cilindro hueco de acero de 711 mm de diámetro interior, con una abertura para introducir la muestra junto con bolas de acero.

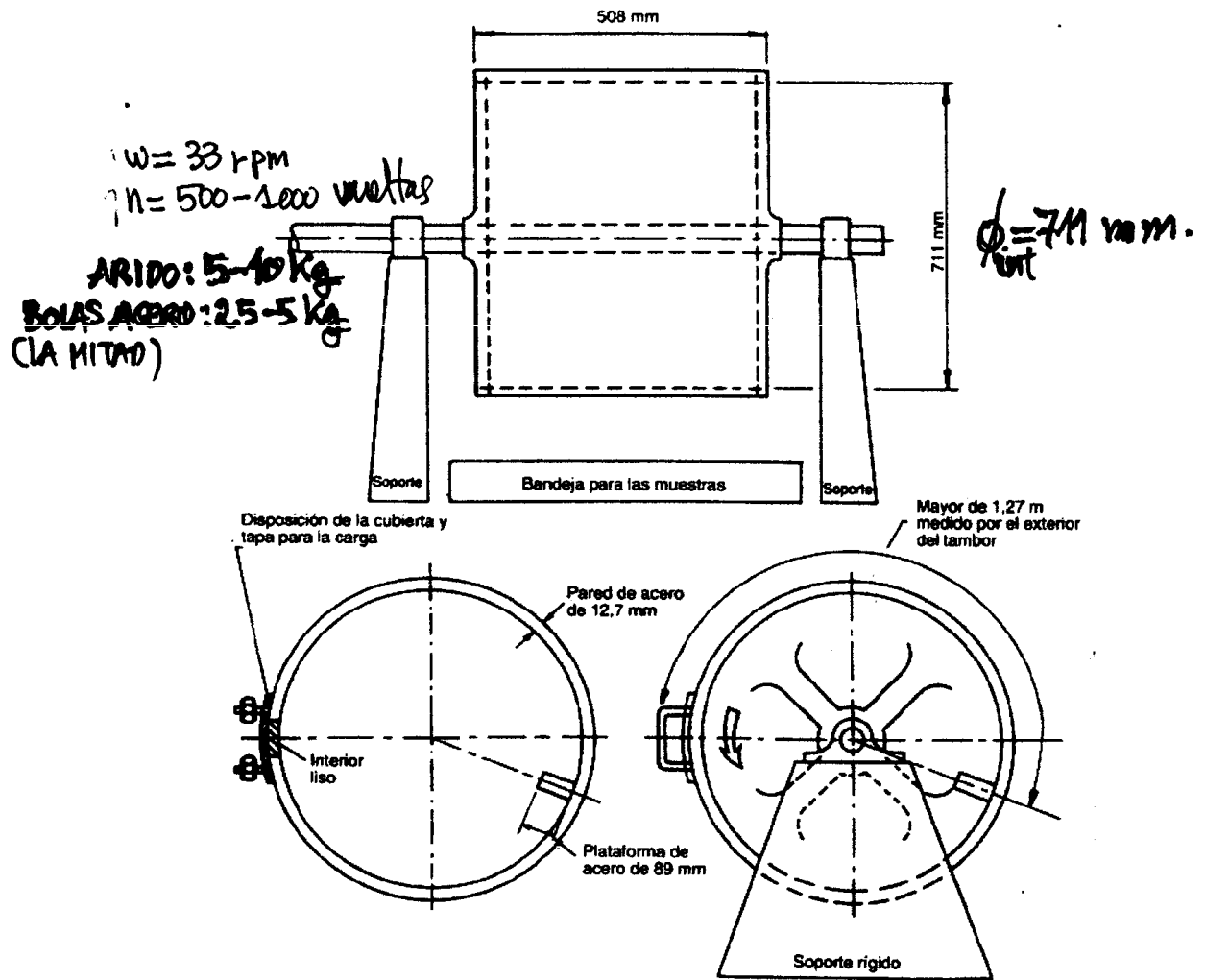


Figura 5.5.2.3.1.- Máquina de desgaste de Los Angeles .

El ensayo consiste en hacer girar el cilindro a una velocidad determinada, 33 r.p.m., con la muestra de árido de peso 5 o 10 kg., y las bolas de acero correspondientes a su interior, con un peso total entre 5 y 2.5 Kg. en función de la granulometría ensayada. El número de vueltas que da la mezcla de muestra y bolas es de 500 o 1000.

Finalizada la prueba se tamiza la muestra por el tamiz 1.6 UNE pesando el material retenido M_p . El resultado del ensayo se denomina coeficiente de desgaste de Los Angeles, e indica el porcentaje en peso del material que pasa por el tamiz 1.6 UNE, respecto del peso de la muestra inicial.

$$\text{Coeficiente de Los Angeles} = C. A. = \frac{M_i - M_f}{M_i} 100$$

donde:

M_i = Peso inicial de la muestra (5000 o 10000 gr.)

M_f = Peso final de muestra retenida por el tamiz 1.6 UNE (1.6 mm).

Valores del ensayo Los Angeles superiores a 50 corresponden a áridos de muy mala calidad, no aptos para la construcción de capas de firme. Por el contrario, valores inferiores a 20 corresponden a áridos excelentes, con resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación y, en particular, para capas de rodadura bituminosas.

El ensayo Micro – Deval determina el coeficiente Micro-Deval, que es el porcentaje de la muestra original que se reduce a tamaños inferiores a 1.6 mm por rotación en un cilindro. Consiste en medir el desgaste producido, bajo condiciones bien definidas, por fricción entre los áridos con una carga abrasiva dentro de un cilindro en rotación.

Cuando se termina la rotación, se calcula el coeficiente Micro-Deval a partir del porcentaje de árido retenido por el tamiz de 1.6 mm.

Se realiza con áridos secos y en presencia de agua, para la obtención de un valor M_{DE} . También se puede realizar el ensayo sin adición de agua para la obtención de un valor M_{DS} .

Los equipos necesarios son:

- Balanza capaz de pesar la fracción de muestra para ensayo y la carga abrasiva con una exactitud de 0.1% de la masa de la muestra de ensayo
- Serie de tamices: 1.6 mm; 8 mm; 10 mm; 11.2 mm (ó 12-5 mm) y 14 mm
- Probeta(s) de vidrio graduada(s), conformes con la ISO 4788:1980 u otro medio de medida para un volumen de agua de $(2.5 \pm 0,05)$ l
- El aparato Micro-Deval (Figura 5.5.2.3.1), que se compondrá de uno a cuatro cilindros huecos, cerrados por un extremo, con un diámetro interior de (200 ± 1) mm y una longitud útil, medida desde el fondo hasta el interior de la tapa de (154 ± 1) mm. Los cilindros estarán fabricados con acero inoxidable de espesor superior o igual a 3 mm. Se apoyarán sobre dos soportes cilíndricos de eje horizontal.

El interior de los cilindros no debe presentar ninguna rugosidad debida a la soldadura o al modo de fijación. Los cilindros se cerrarán con una tapadera plana de unos 8 mm de espesor, y mediante una junta que asegure la estanquidad al agua y al polvo.

- La carga abrasiva debe estar constituida por bolas esféricas de $(10 \pm 0,5)$ mm de diámetro, de acero inoxidable, de acuerdo con la ISO 3290:1975.

- Un motor (de alrededor de 1 kW en general) capaz de producir en los cilindros una velocidad de rotación regular de (100 ± 5) r/min. La velocidad de rotación debe ser controlada regularmente.

- Un contador u otro dispositivo que permita la parada automática del motor después de alcanzar el número de revoluciones indicado.

El ensayo debe realizarse con áridos de granulometría comprendida entre 10 mm y 14 mm. La curva granulométrica de la muestra debe responder a una de las exigencias siguientes:

- a).- Entre el 60% y el 70% de los áridos pasan a través del tamiz de 12.5 mm,
- ó
- b).- Entre el 30% y el 40% de los áridos pasan a través del tamiz de 11.2 mm.

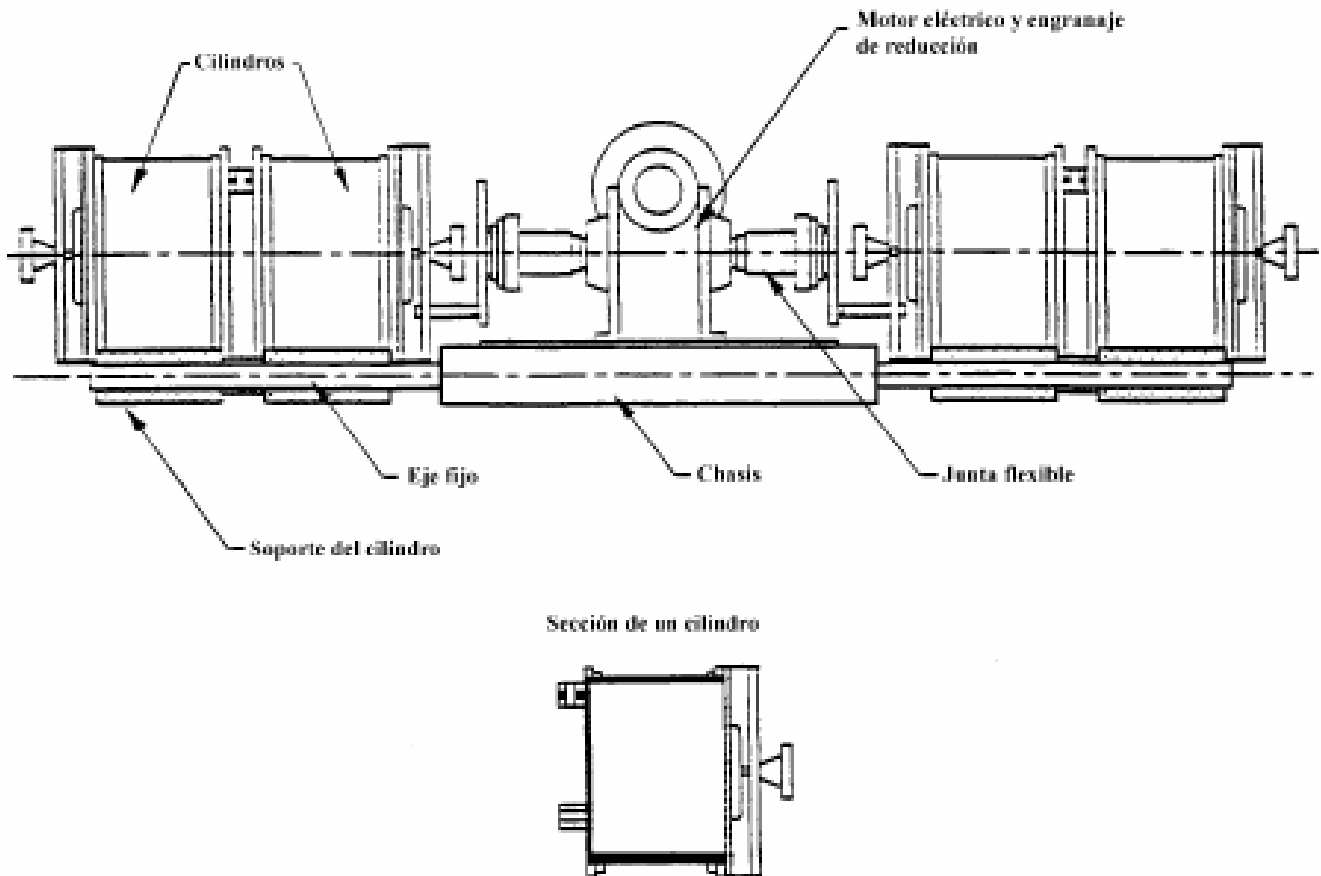


Figura 5.5.2.3.1 – Croquis y figura de un aparato tipo Micro - Deval

Tamizar la muestra de laboratorio con los tamices de 10 mm; 11.2 mm (ó 12.5 mm) y 14 mm, con el propósito de obtener fracciones granulométricas diferenciadas, comprendidas entre 10 mm y 11.2 mm (ó 12.5 mm) y entre 11.2 mm (ó 12.5 mm) y 14 mm. Lavar las fracciones por separado y secar en la estufa a $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hasta masa constante.

Dejar enfriar las fracciones hasta temperatura ambiente. Mezclar las dos fracciones para obtener una muestra de laboratorio modificada con una granulometría comprendida entre 10 mm y 14 mm, que sea conforme con las exigencias de las fracciones correspondientes indicadas anteriormente.

La muestra de ensayo debe consistir en dos fracciones de masa de (500 ± 2) g cada una.

Introducir en cada cilindro una fracción de muestra para ensayo. Añadir un número suficiente de bolas de acero para obtener una carga de $(5\ 000 \pm 5)$ g. Añadir (2.5 ± 0.05) l de agua en cada cilindro. Colocar cuidadosamente la tapadera de cada cilindro y situarlos sobre los dos árboles. Poner en rotación los cilindros con una velocidad de (100 ± 5) min⁻¹ durante $(12\ 000 \pm 10)$ vueltas.

Tras el ensayo, recoger el árido y las bolas de acero en un recipiente, evitando cualquier pérdida. Lavar cuidadosamente con un matraz el interior y la tapa del cilindro y recuperar el agua de lavado. Verter el material, así como el agua de lavado, sobre un tamiz de 1.6 mm, protegido por otro de 8 mm. Lavar los materiales bajo un chorro de agua limpia.

Separar cuidadosamente los áridos retenidos por el tamiz de 8 mm de las bolas de acero, procurando no perder ninguna partícula de árido. Para esto, se pueden recoger manualmente los áridos o bien retirar las bolas por medio de un imán.

Colocar las partículas de árido retenidas por el tamiz de 8 mm sobre un platillo. Añadir el material retenido por el tamiz de 1.6 mm sobre ese mismo platillo. Secar el contenido del platillo en la estufa a $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ y obtener la determinación de la masa retenida por el tamiz de 1.6 mm. Anotar la masa (m) retenida por el tamiz de 1.6 mm con aproximación de un gramo.

Para cada fracción de muestra, calcular el coeficiente Micro-Deval M_{DE} a partir de la siguiente ecuación:

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5}$$

Donde:

M_{DE} = Coeficiente Micro-Deval del ensayo en presencia de agua.

m = Masa del rechazo del tamiz de 1.6 mm, en gramos.

Calcular el valor medio del coeficiente Micro-Deval obtenido para cada una de las dos fracciones de muestra. Expresar el valor medio redondeado al número entero más próximo. Un valor pequeño del coeficiente Micro-Deval indica una mejor resistencia al desgaste.

5.5.2.4.- Resistencia al pulimento. Coeficiente de pulido acelerado (CPA).

La resistencia al pulimento de las partículas de árido, es decir, la resistencia a perder aspereza en su textura superficial, tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura.

El coeficiente de pulimento acelerado (CPA) es una medida de la resistencia del árido grueso a la acción de pulimento de los neumáticos de los vehículos en condiciones similares a las que se dan en la superficie de una carretera. El ensayo se realiza con un árido que pase el tamiz de 10 mm y que quede retenido en el tamiz de 7.2 mm. El ensayo consta de dos partes:

a).- se somete las probetas a la acción de pulimento producido por una máquina de pulimento acelerado.

b).- el grado de pulimento sufrido por cada probeta se determina realizando un ensayo de fricción. A continuación, se determina el coeficiente de pulimento acelerado (CPA) a partir de los resultados del ensayo de fricción.

En España, para los áridos gruesos que se emplean en capas de rodadura de naturaleza bituminosa se exigen valores mínimos del C.P.A. de 0.40, 0.45 o 0.50, según la mayor o menor intensidad del tráfico previsto.

En la figura 5.5.2.4.1 puede verse la máquina utilizada para el ensayo de pulido acelerado. El procedimiento operatorio se describe en la norma EN 1097 – 8.

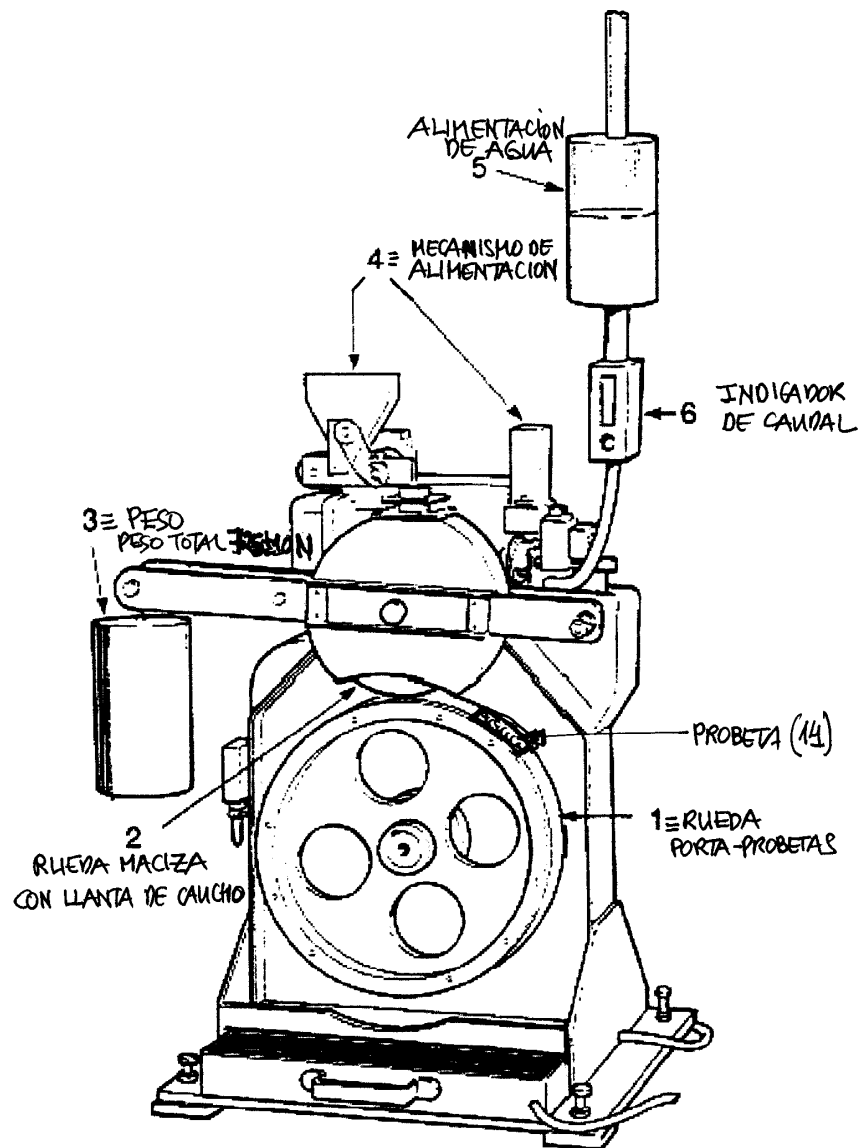


Figura 5.5.2.4.1.- Máquina de pulido acelerado

Se fijan las probetas en la periferia de la rueda porta-probetas. Se marcan las probetas de modo que se pueda determinar posteriormente la dirección de giro de la rueda. La superficie de ensayo de las probetas deberá formar una banda continua de partículas dispuestas sobre la circunferencia de un círculo de diámetro (406 ± 3) mm, sobre el que la rueda con llanta de caucho pueda rodar libremente sin chocar o patinar. Se rellenan los huecos con piezas de relleno apropiadas, nivelando con la superficie de las probetas contiguas.

Se pone en movimiento la rueda porta-probetas de color oscuro (Grano de esmeril grueso $0.300/0.600$), hasta que alcance una velocidad de $(320 \pm 5) \text{ min}^{-1}$ y se lleva, mediante un brazo de palanca, la rueda maciza con llanta de caucho hasta que se apoye en la superficie de las probetas. Se empleará un mecanismo de alimentación adecuado para alimentar continuamente el grano de esmeril a un ritmo de $(27 \pm 7) \text{ g/min}$, con agua, sobre la rueda porta-probetas, durante $(180 \pm 1) \text{ min}$. El caudal de agua debería ser suficiente para hacer llegar el grano de esmeril a la rueda. En condiciones normales, el caudal de agua es aproximadamente el mismo que el del grano de esmeril. Este se debería de emplear una sola vez.

Se interrumpirá la prueba del ensayo a los $(60 \pm 5) \text{ min}$ y a los $(120 \pm 5) \text{ min}$ para limpiar el exceso de grano de esmeril que se haya acumulado en la base. Transcurridos los $(180 \pm 1) \text{ min}$, se desmonta la rueda porta-probetas de la máquina. Se lavan y limpian a fondo la máquina y las probetas para eliminar cualquier resto de grano de esmeril.

Se ajusta la rueda con llanta de caucho de color claro (Grano de esmeril fino, $< 0.050 \text{ mm}$) y el dispositivo de alimentación de polvo de esmeril. Se vuelve a montar la rueda porta-probetas y se hace funcionar la máquina durante otros $(180 \pm 1) \text{ min}$, pero sin hacer interrupciones.

Se alimentará continuamente el polvo de esmeril a un ritmo de $(3.0 \pm 1.0) \text{ g/min}$, acompañado de agua a un caudal doble del ritmo de alimentación del polvo de esmeril, $\pm 1.0 \text{ g/min}$.

Una vez finalizado el pulimentado, se desmonta la rueda porta-probetas y se limpia la máquina. Se desmontan las probetas de la rueda y se lavan a fondo con un chorro de agua para eliminar todo resto de polvo de esmeril. Se limpian los intersticios entre las partículas de piedra cepillando con un cepillo de cerdas.

Tras el lavado, se guardan las probetas boca abajo, sumergidas en agua a una temperatura de $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ durante un tiempo anotado entre 30 minutos y 120 minutos. Transcurrido este tiempo, las probetas se extraen del agua y se realiza el ensayo de fricción inmediatamente. No se debe dejar que las probetas se sequen antes del ensayo.

Las probetas pulidas se colocan y afianzan en el péndulo (Figura 5.5.2.4.2) de fricción con su dimensión mayor sobre el recorrido del péndulo y centrada respecto al patín de caucho y al eje de suspensión del péndulo. Se coloca de modo que el patín del péndulo la recorra en sentido opuesto al sentido de rotación que tenía en la rueda porta-probetas.

Se ajusta la altura del brazo del péndulo antes de proceder al ensayo de cada probeta, de modo que cuando recorra la probeta, el patín esté en contacto con la probeta en una longitud de $(76 \pm 1) \text{ mm}$ y sobre toda su anchura. Se mantiene el ajuste durante todas las medidas de fricción de la probeta.

Se humedecen las superficies de la probeta y del patín de caucho con abundante agua limpia. No mover el patín de su posición de ajuste. Se libera el brazo del péndulo y la aguja indicadora de su posición horizontal y se anota el número entero más próximo a la posición donde la aguja indicadora se apoye sobre la escala F. Se devuelve la aguja indicadora a la posición horizontal.

Se realiza esta operación cinco veces, volviendo a humedecer la probeta cada vez. Se anota la media de las tres últimas lecturas, redondeadas a la décima (0.1).

Se calcula la media de los coeficientes anotados de las dos probetas de la piedra de referencia del CPA de cada prueba del ensayo, redondeada a la décima (0.1), dando dos resultados. El intervalo especificado para la piedra de referencia del CPA tipo TRL es 49.5 – 55.5.

Se calcula el valor medio S de los valores anotados de las cuatro probetas de árido (dos en cada prueba), sumando la media de cada ensayo y dividiendo por dos. Se anota el resultado redondeado a la décima (0.1).

Se calcula el valor medio C de los valores anotados de las cuatro probetas de la piedra de referencia del CPA (dos en cada prueba), sumando la media de cada ensayo y dividiendo por dos. Se anota el resultado redondeado a la décima (0.1).

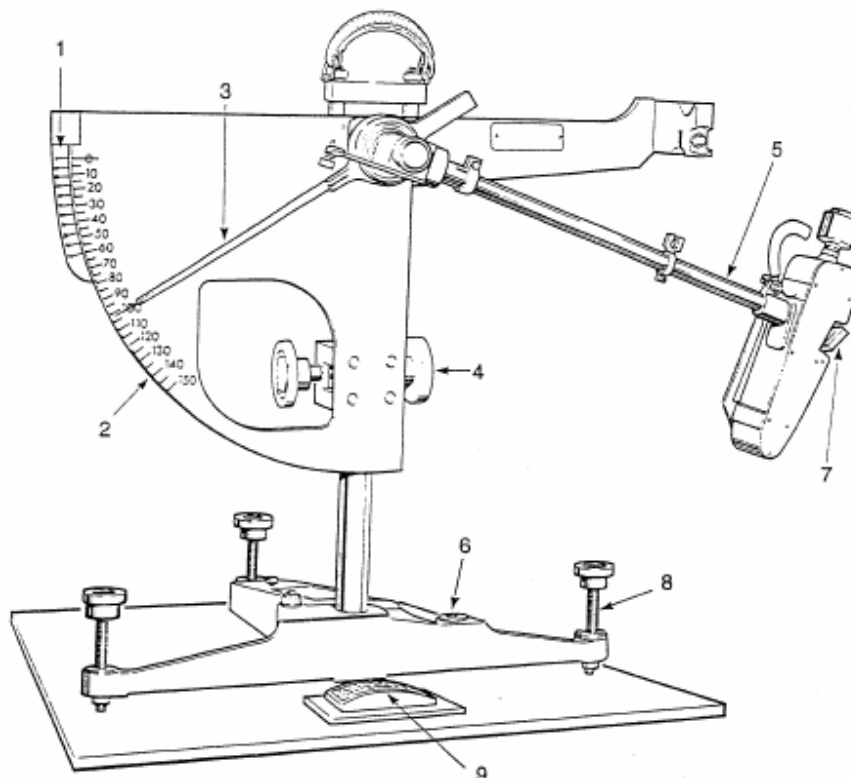
Se calcula el coeficiente CPA, redondeado al número entero más próximo, a partir de la siguiente ecuación:

$$CPA = S + 52.5 - C$$

donde:

S = Media de los valores obtenidos con las cuatro probetas de árido.

C = Media de los valores obtenidos con las cuatro probetas de la piedra de referencia del CPA.



Legenda:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1 Escala de fricción (F) | 6 Nivel de burbuja |
| 2 Escala graduada | 7 Patín de caucho |
| 3 Aguja indicadora | 8 Tornillo de nivelación |
| 4 Tornillo de ajuste vertical | 9 Porta-probeta |
| 5 Péndulo | |

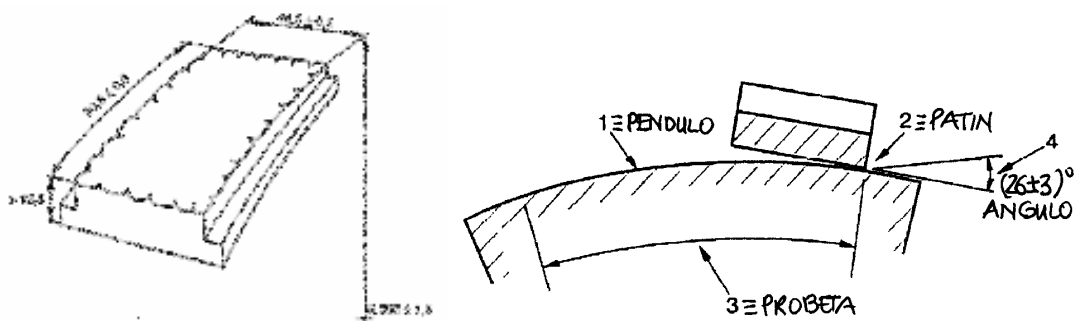


Figura 5.5.2.4.2.- Péndulo de fricción. Dimensiones de la probeta. Posición del péndulo, el patín y la probeta

5.5.2.5.- Rozamiento interno.

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el ligante o conglomerante.

El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera (Árido de machaqueo). También influye de forma importante la distribución granulométrica y el tanto por ciento de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden, en general, mayores resistencias mecánicas, de ahí la importancia de la compactación y de la distribución granulométrica.

La cohesión debe confiarse exclusivamente al ligante o conglomerante, ya que la cohesión entre partículas suele ser despreciable. Cuando existe se debe a la plasticidad de la fracción fina, que suele ser más nociva que útil. Sólo interesa una cierta plasticidad, reducida de todas formas, cuando se trata de capas granulares no revestidas en caminos de baja intensidad de tráfico.

5.5.2.6.- Limpieza. Ausencia de impurezas. Importancia de los elementos finos.

Un buen comportamiento de los áridos en cualquier capa de un firme exige su limpieza, no debiendo estar contaminados por partículas de naturaleza orgánica, ni por polvo, ni por partículas limosas y arcillosas y ni por finos procedentes del propio machaqueo. Estas impurezas son capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. Así, unos áridos sucios pueden ser causa más que suficiente para provocar la degradación de un firme de una carretera. Si los áridos tienen depositados sobre sus superficies partículas finas la adherencia con el ligante bituminoso es deficiente.

Los finos que puede haber en las arenas, fracción que pasa por el tamiz 0.08 UNE (80 micras), deben estar en una pequeña proporción. Si se van a utilizar en capas de base, pueden estar comprendidos entre el 10 y el 30% de la arena. Además estos finos deben ser "no plásticos", es decir, no deben tener características de arcillas, por la repercusión que tiene sobre la permeabilidad y la estabilidad de la capa.

Las especificaciones establecen que los finos tengan una plasticidad reducida o incluso que no sean plásticos en la mayor parte de los casos. Por su parte, las fracciones gruesas deben estar exentas de polvo, fijándose los límites admisibles a través del denominado coeficiente de limpieza.

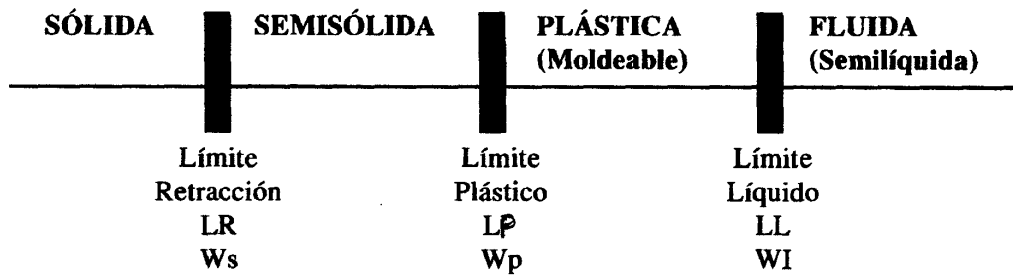
El carácter arcilloso o no de los finos se determina obteniendo los límites de Atterberg. La técnica experimental de la determinación de los límites está basada en los trabajos realizados por el mismo, completados posteriormente por Casagrande. Puede usarse para el estudio del comportamiento de las mezclas de cualquier material de granulometría fina con agua.

Para el estudio del problema se considera una pasta de agua y material que se seca progresivamente, pasando del estado líquido al plástico y finalmente al sólido. Es fácil intuir que existirán unos puntos en los que se pasa de un estado a otro, al menos en teoría, es decir, límites de cada estado. Estos son los definidos por Atterberg como Limite líquido (LL) y Limite plástico (LP).

El limite líquido es el punto de paso del estado líquido al plástico y se mide por la cantidad de agua que contiene el material en el momento en que se pierde la fluidez de un líquido denso.

El limite plástico es el punto en el que se pasa del estado plástico al semisólido, y se mide por la cantidad de agua que contiene un material en el momento en que se pierde la plasticidad y deja de ser moldeable. El límite plástico indica el punto en el cual el suelo empieza a perder cohesión por falta de humedad.

Es decir, se tiene:



Estos límites plástico y líquido, dan el índice de calidad de los finos.

El límite líquido se determina utilizando la Cuchara de Casagrande y valor grande implica suelos coherentes.

Utilizando ambos límites, obtenemos el índice de plasticidad del siguiente modo:

$$I.P = L.L. - L.P$$

A medida que se incrementa el índice de plasticidad, disminuye la permeabilidad del suelo.

A veces, aún no siendo plástico, el árido fino puede estar contaminado por partículas no arcillosas (No detectables mediante los límites de Atterberg), pero igualmente nocivas. Un ensayo muy utilizado para caracterizar desde el punto de vista práctico el árido fino (finos de materiales para bases y sub - bases) es el denominado EQUIVALENTE DE ARENA (Norma UNE 83 - 131 -90), cuyo resultado está relacionado con la cantidad de finos y con su plasticidad.

Dicho ensayo se realiza con una probeta cilíndrica de vidrio de 32 mm de diámetro y 430 mm de altura (Figura 5.5.2.6.1), que se rellena con una solución floculante (agua más cloruro cálcico, glicerina y formaldehído). En ella se introduce una muestra de 110 g. de arena. Se agita durante 30 segundos y se deja sedimentar durante 20 minutos. En la probeta la muestra aparecerá en dos capas, abajo una capa de arena y encima la capa de finos. Se mide la altura a que se encuentra la superficie de arena, h_1 , y la altura a que se encuentra la superficie de los finos h_2 . El equivalente de arena viene dado por la siguiente expresión:

$$E.A. = \frac{h_1}{h_2} 100$$

Equivalentes de arena inferiores a 20-25 corresponden a áridos muy contaminados con una proporción alta de finos que pueden impedir el buen funcionamiento de la capa granular, en particular en lo que se refiere a su permeabilidad. En materiales para bases, se admite que la arena tenga equivalentes superiores a 30. Equivalentes de arena superiores a 50 dan un grado de limpieza suficiente e indican un material con bajo contenido en finos que tendrá una buena función drenante y que es adecuado para la mayor parte de las aplicaciones.

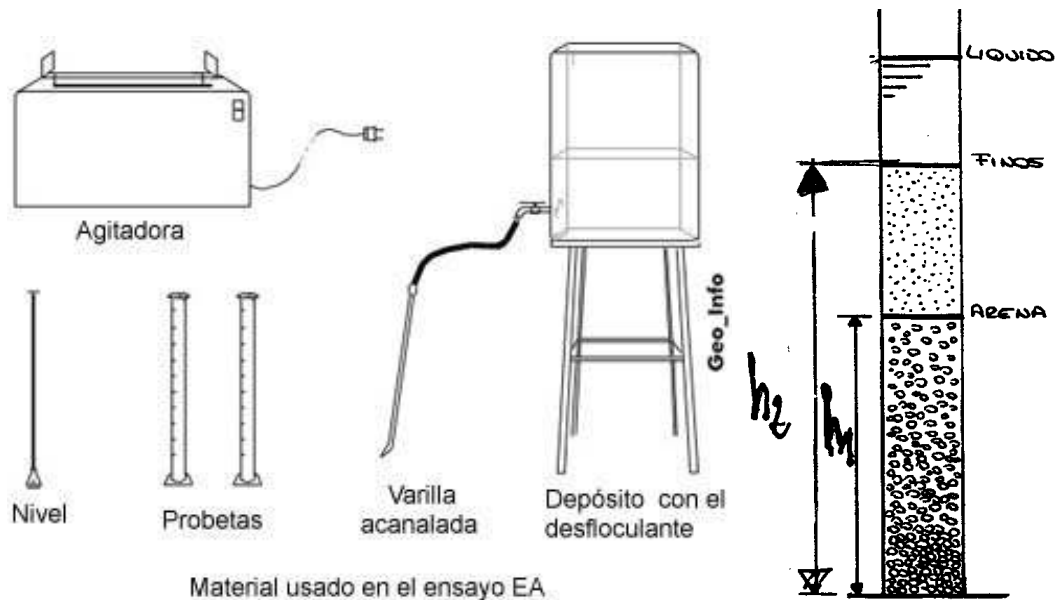


Figura 5.5.2.6.1.- Material usado en el ensayo del EQUIVALENTE DE ARENA

5.5.2.7.- Adhesividad y resistencia al desplazamiento.

En la adhesividad de los áridos con los ligantes hidrocarbonados, que es un fenómeno complejo, intervienen tanto factores físicos (Textura superficial y porosidad del árido, viscosidad y tensión superficial del ligante, espesor de la película de ligante, etc.) como químicos (Relativos al árido y al ligante, como por ejemplo, afinidad polar del árido por el ligante, etc.).

Si los áridos están secos se dejan mojar fácilmente por los ligantes hidrocarbonados o los líquidos aceitosos. Sin embargo, la situación es muy diferente con algo de humedad, ya que la superficie del árido se polariza con un signo u otro según sea su naturaleza. Atendiendo a este criterio los áridos se clasifican en: ACIDOS Y BASICOS.

La acidez es, en general, consecuencia de un alto contenido en sílice y determina una gran afinidad del árido por el agua (Hidrofilia) y una polaridad negativa. La adhesividad entre los áridos silíceos o ácidos en general y los ligantes hidrocarbonados no es buena, pudiendo llegar a ser necesaria la disminución de la tensión superficial del ligante mediante procesos de activación en los que se carga electropolarmente para crear una adhesividad.

Por su parte, los áridos básicos son menos hidrofílicos que los silíceos y se cargan positivamente en presencia de agua. Por ello pueden presentar cierta atracción por los ácidos libres en los ligantes y, en consecuencia, una mejor adhesividad con los mismos.

En los pavimentos asfálticos no sólo hay que considerar el hecho de que el ligante moje al árido, sino que también hay que prestar atención a la posibilidad de que el agua, en combinación con la acción de los vehículos y, a veces, con el polvo y suciedad existentes, perturbe la adhesividad, desplazando el ligante de la superficie del árido (STRIPPING), que quedará de nuevo descubierta o lavada. La adhesividad pasiva o resistencia al desplazamiento dependerá de los mismos factores físicos y químicos anteriormente citados.

Un ensayo empleado para determinar la adhesividad pasiva entre las partículas de árido grueso y el ligante consiste en apreciar visualmente si las partículas de árido envueltas con el ligante se mantienen cubiertas por el mismo después de un período de inmersión en agua. Para que sea positivo, se exige que más del 95 % de las partículas permanezcan perfectamente cubiertas al final del ensayo.

En el caso del árido fino su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

El ensayo específico que se utiliza para determinar la adhesividad del árido fino con los ligantes hidrocarbonados es el de Riedel - Weber, que consiste en introducir el árido envuelto por el ligante en diversas soluciones de carbonato de sodio con concentraciones crecientes, observando cuál de ellas produce el desplazamiento del ligante.

5.5.2.8.- Capas granulares de un firme. Características.

La exigencia de calidad de los materiales pétreos que se utilizan en las capas del firme, aumenta a medida que aumenta la proximidad de la capa a la superficie de rodadura. Esta calidad de los materiales, en el caso de gravas viene definida por su granulometría, coeficiente de forma, caras de fractura y coeficiente de desgaste de Los Angeles. En cuanto a las arenas, está definido por el contenido en finos, plasticidad y equivalente de arena.

Capas anticontaminante o filtro.

Se colocan cuando el suelo de la explanada es plástico, pudiendo existir peligro de contaminación para las capas superiores.

Se utilizan para conformar estas capas, arenas naturales o de río. Dicha arena debe cumplir la "condición de filtro de Terzaghi" para que no exista efecto de contaminación.

$$D_{15} < 5d_{85}$$

donde:

D_{15} = Dimensión del tamiz por el que pasa el 15 % del material de la capa a no contaminar o proteger.

d_{85} = Dimensión del tamiz por el que pasa el 85 % de los materiales contaminantes.

Estas capas anticontaminantes deben tener un espesor mínimo de 10 cm. y no se cuentan a efectos de dimensionado o espesor del filtro.

Debe cumplir las siguientes características:

$$L. L. < 30.$$

$$I. P. < 10.$$

$$E. A. > 25.$$

Explanada mejorada.

Su objeto es proporcionar un cimiento con cualidades portantes, drenantes y uniformes. El tamaño (espesor) máximo debe ser < 7.5 cm.

Los finos que pasan por el tamiz 200 han de ser < 25 %.

Hay que destacar las siguientes características:

$$C. B. R. > 8$$

$$L. L. < 30$$

$$I. P. < 10$$

$$E. A. > 25$$

Sub - bases granulares.

Su objeto es repartir las cargas de tráfico a la explanada y drenante.

Entre las características de los áridos distinguimos:

- Debe tener una granulometría estudiada.
- El contenido en finos debe ser muy estricto.
- Los áridos deben ser duros y naturales.
- Los materiales a emplear son del tipo grava-zahorra.

Características:

| | |
|----------|-----------------------|
| C.A. | < 50 |
| C. B. R. | > 20 |
| L. L. | < 25 |
| I. P. | < 6 |
| E.A. | > 30 (Tráfico pesado) |
| E.A. | > 25 (Tráfico ligero) |

Las sub - bases granulares deben tener un espesor mínimo de 10 a 15 cm, y el contenido de finos debe ser escaso, ya que produce una dificultad en la compactación.

Bases granulares.

Los áridos para estas capas han de tener:

- Alta capacidad portante.
- Insensibilidad al agua.
- Inalterabilidad de propiedades ante el tráfico y el tiempo.

Entre los tipos de bases granulares distinguimos:

Macadam:

Se define como macadam el material constituido por un conjunto de áridos de granulometría discontinua, que se obtiene extendiendo y compactando un árido grueso cuyos huecos se rellenan con un árido fino, llamado recebo.

El árido grueso procederá del machaqueo y trituración de piedra de cantera, o grava natural; en cuyo caso deberá contener, como mínimo, un setenta y cinco por ciento (75 %), en peso, de elementos machacados que presenten dos o más caras de fractura. Se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

La curva granulométrica del árido grueso estará comprendida dentro de uno de los husos indicados en la tabla 5.5.2.8.1. El huso a emplear será el indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el que, en su defecto, señale el Director de las obras.

Tabla 5.5.2.8.1.- Husos granulométricos del macadán.

| CEDAZO UNE | CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%) | | | |
|------------|--------------------------------|----------|----------|---------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 |
| 100 | 100 | - | - | - |
| 90 | 90 - 100 | - | - | - |
| 80 | - | 100 | - | - |
| 63 | - | 90 - 100 | 100 | - |
| 50 | - | - | 90 - 100 | 100 |
| 40 | 0 - 10 | 0 - 10 | - | 80 - 90 |
| 25 | - | - | 0 - 10 | - |
| 20 | 0 - 5 | 0 - 5 | - | 0 - 10 |
| 12,5 | - | - | 0 - 5 | 0 - 5 |

El coeficiente de desgaste, medido por el ensayo de Los Angeles (C.A.), será inferior a treinta y cinco (35).

El recebo será, en general, una arena natural, suelo seleccionado, detritus de machaqueo o material local.

La totalidad del recebo pasará por el cedazo 10 UNE (10 mm). La fracción cernida por el tamiz 5 UNE (5 mm) será superior al ochenta y cinco por ciento (85 %), en peso. La fracción cernida por el tamiz 0.080 UNE (0.080 mm) estará comprendida entre el diez por ciento (10 %) y el veinticinco por ciento (25 %), en peso.

El recebo cumplirá la condición de ser no plástico y el equivalente de arena será superior a treinta (30).

Zahorras naturales.

Se define como zahorra natural el material formado por áridos no triturados, suelos granulares, o una mezcla de ambos, cuya granulometría es de tipo continuo. Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Preparación y comprobación de la superficie de asientos.
- Aportación del material.
- Extensión, humectación, si procede, y compactación de cada tongada.
- Refino de la superficie de la última tongada.

Los materiales serán áridos no triturados procedentes de graveras o depósitos naturales, o bien suelos granulares, o una mezcla de ambos. También podrán utilizarse productos inertes de desecho industrial, en cuyo caso las condiciones para su aplicación vendrán fijadas en el pliego de prescripciones técnicas particulares o, en su defecto, serán determinadas por el Director de las obras.

El cernido por el tamiz 80 µm UNE será menor que los dos tercios (2/3) del cernido por el tamiz 400 µm UNE. La curva granulométrica estará comprendida dentro de los husos reseñados en [la tabla 5.5.2.8.2](#). El huso ZNA sólo podrá utilizarse en calzadas con tráfico T3 ó T4, o en arcenes.

El coeficiente de desgaste Los Angeles será inferior a cuarenta (40), excepto para el huso ZNA, en que deberá ser menor de cincuenta (50).

Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas y el equivalente de arena será mayor de treinta (30), excepto para el huso ZNA, en que deberá ser mayor de veinticinco (25).

Tabla 5.5.2.8.2.- Husos granulométricos de la zahorra natural.

| Tamices UNE | Cernido ponderal acumulado (%) | | | | |
|-------------|--------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| | ZN (50) | ZN (40) | ZN (25) | ZN (20) | ZNA |
| 50 | 100 | - | - | - | 100 |
| 40 | 80-95 | 100 | - | - | - |
| 25 | 50-90 | 75-95 | 100 | - | 60-100 |
| 20 | - | 60-85 | 80-100 | 100 | - |
| 10 | 40-70 | 45-75 | 50-80 | 70-100 | 40-85 |
| 5 | 25-50 | 30-55 | 25-65 | 50-85 | 30-70 |
| 2 | 15-35 | 20-40 | 25-50 | 30-60 | 15-50 |
| 400 m | 6-22 | 6-25 | 8-30 | 10-35 | 8-35 |
| 80 m | 0-10 | 0-12 | 0-12 | 0-15 | 0-18 |

La zahorra natural tendrá un CBR no inferior a veinte (20), para las condiciones de humedad máxima y densidad mínima de puesta en obra.

Cuando la zahorra natural se utilice bajo calzada con tráfico T0, T1 o T2, el material será «no plástico». Para tráfico T3 o T4, o en arcenes, deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Límite líquido inferior a veinticinco (25).
- Índice de plasticidad inferior a seis (6).

En la tabla 5.5.2.8.3 se definen cinco categorías de tráfico pesado, en función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp), en el carril de proyecto y en el año de la puesta en servicio.

Tabla 5.5.2.8.3.- Categorías de tráfico pesado

| CATEGORIAS DE TRAFICO PESADO | IMDp |
|------------------------------|--------------------|
| T0 | IMDp > 2.000 |
| T1 | 2.000 > IMDp > 800 |
| T2 | 800 > IMDp > 200 |
| T3 | 200 > IMDp > 50 |
| T4 | IMDp < 50 |

La categoría de tráfico pesado a considerar en el dimensionamiento del firme de la calzada principal en autopistas y autovías de nueva construcción en ningún caso será inferior a la definida como T1.

Zahorras artificiales.

Se define como zahorra artificial el material granular formado por áridos machacados, total o parcialmente, cuya granulometría es de tipo continuo. Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Preparación y comprobación de la superficie de asiento.
- Aportación del material.
- Extensión, humectación, si procede, y compactación de cada tongada.
- Refino de la superficie de la última tongada.

Los materiales procederán de la trituración de piedra de cantera o grava natural. El rechazo por el tamiz 5 UNE (5 mm) deberá contener un mínimo del setenta y cinco por ciento (75%), para tráfico T0 y T1 o del cincuenta por ciento (50%), para los demás casos, de elementos triturados que presenten no menos de dos (2) caras de fractura.

El cernido por el tamiz 80µm UNE será menor que los dos tercios (2/3) del cernido por el tamiz 400 µm UNE. La curva granulométrica estará comprendida dentro de los husos reseñados en la tabla 5.5.2.8.3.

Tabla 5.5.2.8.3.- Husos granulométricos de la zahorra artificial.

| Tamices UNE | Cernido ponderal acumulado (%) | |
|-------------|--------------------------------|---------|
| | ZA (40) | ZA (25) |
| 40 | 100 | - |
| 25 | 75-100 | 100 |
| 20 | 60-90 | 75-100 |
| 10 | 45-70 | 50-80 |
| 5 | 30-50 | 35-60 |
| 2 | 16-32 | 20-40 |
| 400 m | 6-20 | 8-22 |
| 80 m | 0-10 | 0-10 |

El tamaño máximo del árido será inferior a la mitad del espesor de la tongada y su granulometría se encontrará dentro de un mismo huso.

El índice de lajas deberá ser inferior a treinta y cinco (35) y el coeficiente de desgaste Los Angeles será inferior a treinta (30) para tráfico T0 y T1, y a treinta y cinco (35) en los demás casos.

Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas. El equivalente de arena, será mayor de treinta y cinco (35) para tráfico T0 y T1, y a treinta (30) en los demás casos. El material será «no plástico»

En el cuadro 5.5.2.8.1 se recogen las exigencias de los materiales para capas granulares de firmes.

CUADRO 5.5.2.8.1.- Exigencias de los materiales para capas granulares de firmes.

| GRAVAS | SUBBASES | ZAHOR.ARTF. | MACADAM |
|---|----------|-------------|---------|
| De machaqueo % | --- | 50 | 75 |
| Tamaño máximo en mm. | 50 | 50 | 100 |
| Los Angeles % | 50 | 35 | 35 |
| Resistencia compresión Kg/cm ² | --- | --- | --- |
| ARENAS | | | |
| Plasticidad LL-LP | < 25 - 6 | NP | NP |
| Equivalente de arena % | > 25 | > 30 | > 30 |

5.6.- ÁRIDOS PARA HORMIGONES.

5.6.1.- Introducción.

El hormigón es un material de construcción constituido básicamente por áridos (Rocas), de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones en cuanto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidos por una pasta aglomerante formada por un conglomerante hidráulico (Cemento) y agua. A este material básico y en el momento de su amasado, pueden añadirse otros productos o materiales (Aditivos) para mejorar algunas características determinadas.

Los áridos que entran en la composición del hormigón son materiales granulares inertes, de tamaño comprendido entre 0 y 100 mm que contribuyen a la estabilidad de volumen, resistencias y economía. Aunque no toman parte en el fraguado y endurecimiento del hormigón, los áridos desempeñan un papel económico y técnico muy importante en él, ya que, aproximadamente, constituyen el 75 - 80 % del volumen del hormigón e influyen notoriamente en sus propiedades físicas, térmicas, químicas y mecánicas. El resto del volumen es pasta de cemento, que rellena los huecos existentes entre el empaquetamiento de los áridos, creando una capa que envolviendo a los granos los mantiene unidos.

En la figura 5.6.1.1 pueden verse las proporciones volumétricas del hormigón en una mezcla de proporciones 1:2:4 en peso con razón (Agua/Cemento) de 0.55 y aire incorporado de 2.3%: (a) Antes de la hidratación, y (b) Cuando el grado de hidratación es 0.7.

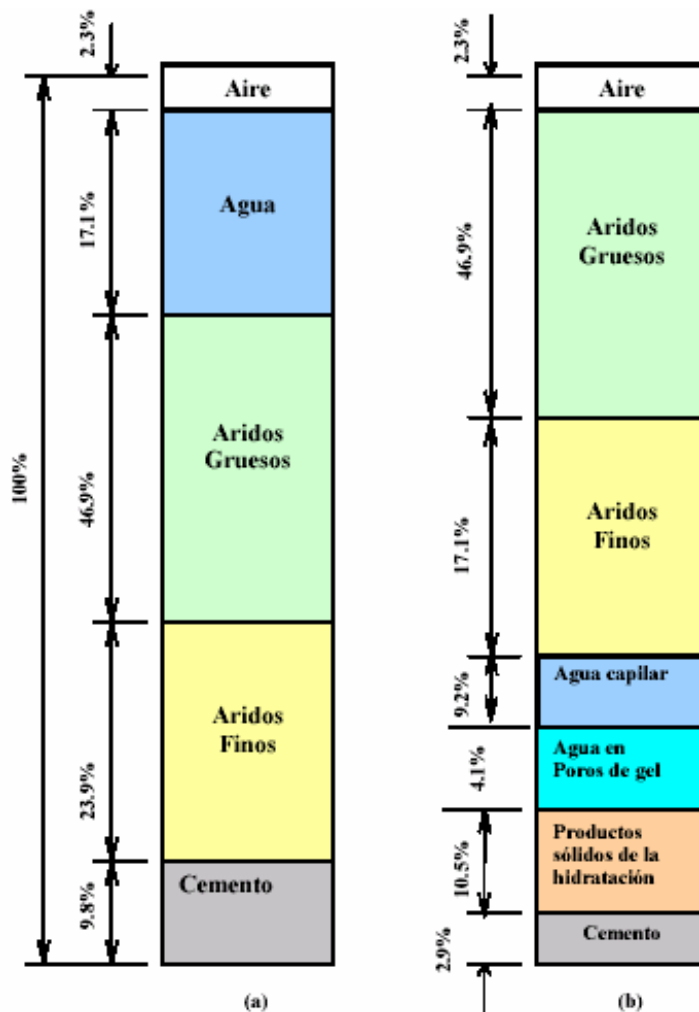


Figura 5.6.1.1.- Proporciones volumétricas del hormigón en una mezcla de proporciones 1:2:4 en peso con razón agua/cemento de 0.55 y aire incorporado de 2.3%: (a) Antes de la hidratación, y (b) Cuando el grado de hidratación es 0.7.

En la [figura 5.6.1.2](#) puede verse la macroestructura de un hormigón, en la que pueden distinguirse las dos fases, los áridos de varias formas y tamaño y el sistema ligante, que consiste en una masa incoherente de pasta de cemento hidratada.

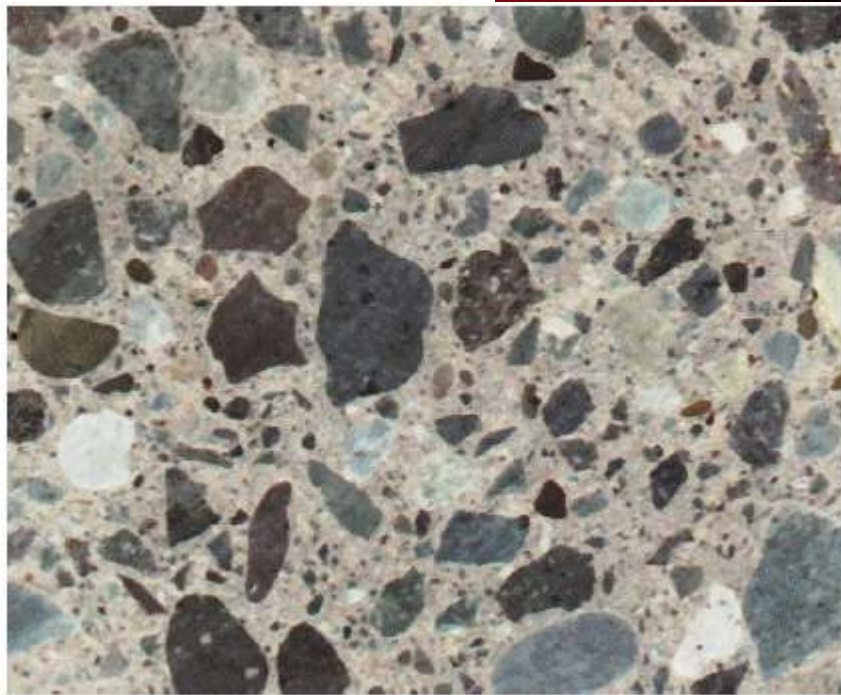
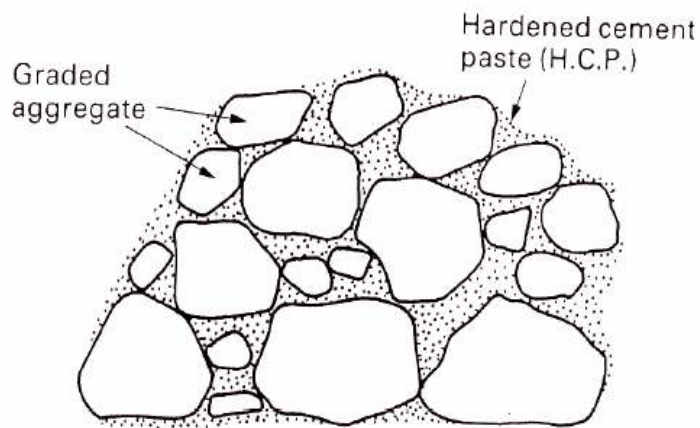


Figura 5.6.1.2.- Macroestructura es la estructura gruesa de un material que es visible por el ojo humano. En la macroestructura del hormigón se distinguen claramente dos fases: los áridos de varios tamaños y formas, y en medio el material cementante, que consiste en una masa incoherente de pasta de cemento hidratada.

Los áridos al ser de menor costo que la pasta de cemento se desprende que cuanto mayor sea su proporción más económico será el hormigón, pero la misión de los áridos no se limita a la de ser un material de relleno barato, sino que también ejercen una influencia muy positiva en las resistencias mecánicas, la retracción, la abrasión, la durabilidad, etc.

Por ello, el estudio del origen y del comportamiento de los áridos es de gran importancia en la tecnología del hormigón, ya que de su conocimiento pueden deducirse importantes conclusiones en cuanto a las características y a la durabilidad del hormigón una vez puesto en servicio.

El requisito esencial de un árido para hormigón, es que permanezca estable dentro del hormigón y en cada entorno particular durante la vida de diseño del hormigón. La estabilidad general de los áridos para hormigón se puede definir como la aptitud de las partículas individuales para mantener su integridad y no sufrir cambios físicos, químicos o mecánicos, que puedan influir de manera adversa en las propiedades o comportamiento del hormigón, tanto en su aspecto estructural como estético. Por tanto, la estabilidad de los áridos no se puede separar de la durabilidad del hormigón. Así, debemos exigirle al árido estabilidad física y química.

Estabilidad física: resistir a los agentes atmosféricos sin descomponerse, ya que de lo contrario, disminuye la resistencia y durabilidad.

Estabilidad química: ya que si contienen sustancias reactivas, dificultan el fraguado y endurecimiento del hormigón o afectan a la masa por variaciones de volumen.

Las características del árido no deben afectar negativamente al comportamiento o al coste del hormigón, tanto en el estado fresco como en el endurecido.

Muchas de las propiedades de los áridos dependen de las rocas de las que proceden, como ocurre con su composición química, estructura petrográfica, resistencia, dureza, color, etc., otras propiedades, por el contrario, van a ser consecuencia de las operaciones de obtención del árido como ocurre con su tamaño, forma, limpieza en términos de contenido en finos y arcillas, textura superficial, etc.

Los áridos empleados en los hormigones no deben ser activos frente a los componentes del cemento o frente a los agentes externos: aire, agua, hielo, etc.

Los áridos friables y quebradizos no son adecuados por dar lugar a hormigones débiles. De igual forma, no deben usarse áridos procedentes de calizas blandas, feldespatos, yesos o rocas excesivamente porosas.

En general, no deben utilizarse en hormigones:

- Granitos en avanzado estado de descomposición.
- Areniscas friables.
- Calizas margosas.
- Áridos de cualquier naturaleza que contengan piritas oxidables.
- Áridos que tengan como impurezas sulfatos cálcico o magnésico.
- Áridos de naturaleza silíceo (Ópalos, calcedonias, pedernales, etc.), que puedan reaccionar con los álcalis del cemento, si es el caso.
- Áridos que contengan sustancias solubles en agua.
- Escorias siderúrgicas con silicatos inestables o compuestos ferrosos.
- Rocas heladizas.

5.6.2.- Naturaleza y procedencia de los áridos. Clasificación petrológica.

Según su origen pueden clasificarse en:

| | | |
|--------------|---|------------|
| | | Rodados |
| Naturales | { | |
| | | Machacados |
| Artificiales | | |

Naturales rodados (Figura 5.6.2.1): proceden de la desintegración natural y erosión de rocas y son, en general, redondeados con superficies lisas sin aristas. Su composición es variable según el origen de los sedimentos. Los áridos rodados, arenas y gravas silíceas, son las de uso más extendido y las más económicas. A veces, su calidad es muy variable, así como su granulometría, lo que obliga a que tengan que lavarse y tamizarse para clasificarlos en fracciones de tamaños adecuados al uso que se vaya a hacer de ellos. Estos áridos proporcionan hormigones dóciles y trabajables con una cantidad de agua discreta.

Cabe distinguir las siguientes clases:

- Mina: son bastante angulosas. Contienen arcillas y restos orgánicos que se deben eliminar.
- Río: los más redondeados. Son muy apropiados por estar limpios.
- Playa: tienen buena forma. Deben ser lavadas con agua dulce para su empleo, eliminando las sales que formarían eflorescencias.
- Duna: excesivamente finas y redondeadas producidas por la acción eólica. Aconsejables en enlucidos exteriores.

Naturales machacados (Figura 5.6.2.2): obtenidos por trituración y molienda de las rocas, lo que produce su desintegración. Son muy uniformes en su composición y poseen superficies rugosas y aristas vivas.

Los áridos machacados dan hormigones agrios aunque con mayores resistencias a flexotracción y abrasión que los rodados, siendo, por tanto, muy adecuados para pavimentos. Por otra parte, los áridos machacados dan lugar a hormigones más cerrados y resistentes física y químicamente.

Los áridos graníticos, calizos, basálticos, etc., suelen tener esta procedencia.

Artificiales: son los obtenidos mediante un proceso industrial a partir de materiales inorgánicos u orgánicos como ocurre, en el primer caso, con las arcillas expandidas o las escorias dilatadas y en el segundo, con las microesferas de poliestireno expandido, por ejemplo.

Según su naturaleza.

- Silíceos: son los más idóneos por su dureza y estabilidad química (DURABILIDAD) frente a los medios agresivos.
- Calizos: muy empleadas por su compatibilidad química con el cemento y la cal, aunque atacables por agentes externos. Tienen buen comportamiento mecánico.
- Graníticos: poco homogéneas y alterables. Se deben utilizar las ricas en cuarzo.
- Arcillosos: poco apropiadas. Son utilizables las que tienen un contenido inferior al 3 % de arcilla.

La gran variedad de tipos de rocas hace necesario reunir a los áridos utilizados en hormigones en grupos de comportamiento similar con objeto de facilitar su estudio sistemático, se obtiene así la clasificación petrológica.

Los criterios utilizados para establecer la clasificación petrológica de los áridos suelen basarse en una característica intrínseca de los áridos como es su naturaleza, de modo que cada grupo está representado por una roca tipo que le da nombre, y a la que pueden ser referidas la mayor parte de las propiedades esenciales de los materiales en él incluidos. La tabla 5.6.2.1 recoge la clasificación propuesta por Salinas y col (1978), que es una modificación de la establecida por la norma BS 812 (1975) y que se da en la tabla 5.6.2.2.

Tabla 5.6.2.1.- Clasificación petrológica de los áridos.

| | | |
|------|-------------------------------|--|
| I | Grupo de la arenisca | Arcosa, arenisca, grauvaca, toba volcánica, conglomerado. |
| II | Grupo del basalto | Andesita, basalto, diabasa, ofita, lamprófidio, traquita. |
| III | Grupo de la caliza | Caliza, dolomía, mármol. |
| IV | Grupo de la cuarcita | Cuarcita, cuarzo, arenisca cuarcítica. |
| V | Grupo del esquisto | Esquisto, filita, pizarra. |
| VI | Grupo del gabro | Diorita, gabro, peridotita, sienita. |
| VII | Grupo del granito | Aplita, cuarzdiorita, granodiorita, gneis, granito, pegmatita. |
| VIII | Grupo materiales artificiales | Áridos artificiales, escorias metalúrgicas, cenizas volantes. |
| IX | Grupo del pedernal | Cornubianita, fanita, pedernal. |
| X | Grupo del pórfido | Dacita, pórfido, riolita. |

Tabla 5.6.2.2.- Clasificación de los áridos por grupos según la Norma BS 812 (1975)

| | |
|---|---|
| <p>1. Grupo de los áridos artificiales ladrillos machacados escorias bauxitas calcinadas áridos sintéticos</p> <p>2. Grupo del basalto andesitas basaltos porfiritas básicas diabasas doleritas de todos los tipos incluidas las teralitas y las teschenitas epidioritas lamprófidos cuarzo-doleritas espilitas</p> <p>3. Grupo del pedernal sílex pedernal</p> <p>4. Grupo del gabro dioritas básicas gneises básicos gabros hornblenditas noritas peridotitas picritas serpentinitas</p> <p>5. Grupo del granito gneises granitos granodioritas granulitas pegmatitas cuarzdioritas sienitas</p> | <p>6. Grupo de la arenisca (incluidas las rocas volcánicas fragmentarias) arcosas grauvacas microbrechas areniscas tobas</p> <p>7. Grupo de la corneana rocas de contacto alteradas de todos los tipos salvo mármoles</p> <p>8. Grupo de la caliza dolomias calizas mármoles</p> <p>9. Grupo del pórfido aplitas dacitas felsitas granófiros keratófiros microgranitos pórfidos pórfidos cuarcíferos riolitas traquitas</p> <p>10. Grupo de la cuarcita ganister areniscas cuarcíticas cuarcitas recristalizadas</p> <p>11. Grupo del esquisto filita esquisto pizarra todas las rocas muy cizalladas</p> |
|---|---|

Al margen de las distintas clasificaciones que se le puedan dar a los áridos, en construcción se da la clasificación y nomenclatura del mismo atendiendo a los distintos tamaños que presenten. Los áridos pueden proceder de machaqueo de rocas o bien de canteras o graveras en las que se encuentran formando gránulos de tamaños muy diversos que, a veces, oscilan desde partículas pulverulentas hasta grandes mampuestos. Con una mezcla de gránulos de este tipo, tal como aparece en la naturaleza o se obtiene de una machacadora, sería muy difícil hacer un buen hormigón y por esto hay que fijarse unos límites inferiores y superiores que dan un entorno dentro del cual están comprendidos los tamaños útiles. Dentro de este entorno, las partículas se suelen dividir en varios grupos comprendidos entre diferentes tamaños límites que, reagrupándolos, en las proporciones adecuadas, den lugar a un árido compuesto que tenga características determinadas siendo una de las más importantes la máxima compacidad.

Hecha una primera clasificación de gravas y arenas (fracción que pasa por el tamiz de 5 mm), el árido a su vez se puede clasificar de la siguiente forma:

Las arenas (árido fino).

- Arenas gruesas: comprendidas entre 2 y 5 mm.
- Arenas medias: comprendidas entre 0.5 y 2 mm.
- Arenas finas: comprendidas entre 0.08 y 0.5 mm.
- Finos de arena o polvo (Filler): a la cantidad inferior a 0.08 mm.

Las gravas (árido grueso).

- Gravillas: comprendidas entre 5 y 20 mm.
- Gravas: comprendidas entre 20 y 80 mm.

En los áridos gruesos también cabe hacer una clasificación en grupos de diferentes tamaños que suelen recibir nombres muy variados de acuerdo con las distintas regiones (piñoncillo, almendrilla, garbancillo, gravilla, grava, morro, etc.), lo que da lugar a confusiones, por lo que es preferible denominarlos de acuerdo con sus tamaños extremos (árido 5/20, árido 20/40, etc.).

Hay que tener en cuenta que, en hormigones de cierta resistencia, como los armados y todos los empleados en edificación, el mayor tamaño a utilizar de árido es de 40 mm.

La arena es el árido de mayor responsabilidad e influencia en todas las propiedades exigibles al hormigón y no es posible hacer un buen hormigón con una arena mala.

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo excepciones, son cuarzo puro, dando por lo tanto resistencia mecánica y durabilidad. La arena de mina suele tener arcilla en exceso, las de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón armado, previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen de machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes siempre y cuando no acusen un principio de descomposición (caolinización). Algunos granitos al meteorizarse se produce en ellos, por la acción del CO₂ atmosférico, una caolinización de los feldspatos que da lugar a disminuciones importantes en las resistencias.

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Resultan más absorbentes y requieren mayor cantidad de agua de amasado que las silíceas. Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (pavimentos), deben confeccionarse con arena silícea al menos en un 30 %.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de hormigones, sobre todo cuando se dosifica en volumen.

Es importante controlar el contenido de sustancias perjudiciales que pueda llevar la arena y que afecten al hormigón.

En general, las variaciones de la granulometría de las gravillas y gravas influye poco en la resistencia de los hormigones a igualdad de relación (Agua/Cemento). Sin embargo, no ocurre igual con las variaciones en la granulometría de las arenas, pues dependiendo de la composición de estas las propiedades del hormigón variarían de forma notable. Un exceso de finos disminuye la calidad del hormigón en todos los aspectos.

La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos resultantes del machaqueo.

Si las calizas solo se rayan superficialmente por medio de una navaja su densidad es mayor de 6 kg/dm³ y su resistencia a compresión suele ser superior a 100 N/mm². Las que son rayadas por el latón suelen tener una densidad inferior a 2.3 kg/dm³ y una resistencia a compresión menor de 50 N/mm², cayendo fuera de lo admisible para su empleo en hormigones de calidad. Entre estos límites están las calizas que se dejan rayar por el bronce. Las pruebas de rayado deben hacerse sobre superficies secas y planas.

5.6.3.- Designación y tamaños del árido.

Los áridos para hormigón se designarán por su tamaño mínimo d y máximo D en mm, de acuerdo con la siguiente expresión: árido $\frac{d}{D}$.

Sé denomina tamaño máximo D de un árido la mínima abertura de tamiz UNE EN 9332:96 por el que pase más del 90% en peso (% desclasificados superiores a D menor que el 10%), cuando además pase el total por el tamiz de abertura doble (% desclasificados superiores a $2D$ igual al 0%). Se denomina tamaño mínimo d de un árido, la máxima abertura de tamiz UNE EN 933-2:96 por el que pase menos del 10% en peso (% desclasificados inferiores a d menor que el 10%). Véase tabla 5.6.3.1.

Tabla 5.6.3.1.- Límites para los desclasificados superiores e inferiores

| Desclasificados superiores (% retenido, en peso) | | Desclasificados inferiores (% que pasa, en peso) |
|---|-----------|---|
| tamiz $2D$ | tamiz D | tamiz d |
| 0% | < 10% | < 10% |

Se entiende por arena o árido fino, el árido o fracción del mismo que pasa por un tamiz de 4 mm de luz de malla (tamiz 4 UNE EN 933-2:96), por grava o árido grueso, el que resulta retenido por dicho tamiz, y por árido total (o simplemente árido cuando no haya lugar a confusiones), aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

El tamaño máximo de un árido grueso será menor que las dimensiones siguientes:

- (a).- 0.8 de la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- (b).- 1.25 de la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.

(c).- 0.25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:

- Losa superior de los forjados, donde el tamaño máximo del árido será menor que 0.4 veces el espesor mínimo.
- Piezas de ejecución muy cuidada (caso de prefabricación en taller) y aquellos elementos en los que el efecto pared del encofrado sea reducido (forjados que se encofran por una sola cara), en cuyo caso será menor que 0.33 veces el espesor mínimo.

5.6.4.- Propiedades de los áridos para hormigones.

Entre las más importantes pueden destacarse las siguientes:

5.6.4.1.- Densidad.

Esta característica se utiliza, en primer lugar, para realizar una clasificación de los áridos, en ligeros con una densidad menor de 2400 kg/m^3 , normales con densidad entre 2400 y 2800 kg/m^3 y pesados con densidad superior a 2800 kg/m^3 .

Generalmente, los áridos tienen poros que pueden ser accesibles o abiertos y con comunicación con el exterior e inaccesibles, cerrados y aislados del exterior. Esto hace que, no se pueda hablar de una sola densidad del árido sino de varias que dependerán de que, en el volumen que estemos considerando, incluyamos o no a estos dos tipos de poros.

Una densidad global elevada es indicativa de un árido de buena calidad que, generalmente, será muy resistente y duro, mientras que, por el contrario, densidades bajas son propias de áridos débiles, porosos y muy absorbentes.

La densidad de un hormigón, a igualdad de otros factores, dependerá de la de los áridos que entran en su composición lo cual es muy importante en la fabricación de hormigones ligeros, pesados e incluso convencionales.

De acuerdo con su naturaleza los áridos de más frecuente empleo en construcción tienen densidades aparentes que oscilan entre 2.4 y 3.0 kg/dm^3 . Los áridos calizos las suelen tener comprendidas entre 2.5 y 2.8 kg/dm^3 , los silíceos de 2.6 a 2.7 kg/dm^3 , los graníticos de 2.6 a 2.7 kg/dm^3 y los basálticos de 2.7 a 2.9 kg/dm^3 .

Las densidades anteriores se refieren a áridos aislados y es interesante conocerlas porque nos van a decir mucho sobre las propiedades de los mismos y sobre la densidad que van a poseer los hormigones en los que se empleen. Sin embargo, en obra no se usan partículas aisladas, sino conjuntos de ellas y entre las mismas existen huecos más o menos grandes dependiendo de su forma y de la variabilidad de sus tamaños.

A la relación existente entre el peso de un conjunto de áridos y su volumen se denomina "densidad de conjunto". Esta depende de la densidad del árido, de la distribución de tamaños o granulometría del mismo, así como de la forma de los granos, de su humedad y de la forma y tamaño del recipiente en el que se hace la determinación, así como también del grado de compactación que tengan estos granos dentro de él.

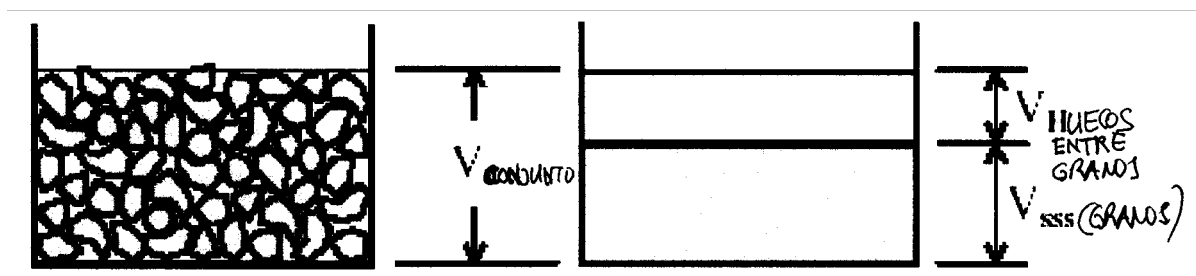
La determinación de la densidad de conjunto se hace en recipientes metálicos cilíndricos cuyas dimensiones dependen del tamaño máximo del árido. El llenado se hace en tres capas de un tercio del volumen del recipiente, compactándose cada una de ellas mediante 25 golpes dados con una barra de 16 mm de diámetro y enrasando al final el recipiente o, bien, llenándolo sin realizar el compactado anterior, debiendo en cualquier caso indicarse el sistema seguido.

El conocimiento de la densidad de conjunto es interesante en el caso de dosificar el hormigón en volumen, en vez de en peso, así como en el caso de empleo de áridos ligeros o pesados.

5.6.4.2.- Porosidad y absorción.

La porosidad y absorción de los áridos tiene una gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y por tanto, en las resistencias mecánicas del hormigón. Igualmente, influye en el comportamiento de los áridos frente a los ciclos hielo-deshielo y en definitiva en su durabilidad.

En el caso de un conjunto de granos podemos definir la "oquedad" como la relación existente entre el volumen de los huecos comprendido entre los granos y el volumen de conjunto, y la "compacidad de conjunto" como la relación entre el volumen total de los granos y el volumen de conjunto de estos. La compacidad de conjunto es, por tanto, el complemento a uno de la oquedad.



Los poros en los áridos pueden ser de tamaños muy variables oscilando desde los visibles a simple vista hasta los microporos. De estos últimos, los de tamaño inferior a 0.004 mm son muy importantes por la influencia positiva que tienen en la resistencia a los ciclos hielo-deshielo.

La porosidad total de los áridos normalmente empleados en hormigones suele ser de 0 al 37 % para los calizos, del 2 al 15 % para los silíceos y del 0.4 al 3.8 % para los graníticos.

Salvo que los poros sean de gran tamaño, lo normal es que la pasta de cemento no penetre en ellos debido a su alta viscosidad. Sin embargo, si lo hace el agua, especialmente si los áridos están secos y tanto más cuanto más se aproximen los poros a la forma de un capilar, restando de esa forma al hormigón agua de amasado, con lo cual se acusa en una ligera pérdida de docilidad de la masa, aunque, posteriormente, este agua sea devuelta al hormigón participando en su curado.

Este efecto puede ser variable dependiendo de la riqueza de cemento que tenga el hormigón y así, cuando las mezclas son muy ricas, se crea una película de pasta alrededor de los granos del árido que impide que absorban agua con lo cual las mezclas quedan con una relación (Agua/Cemento) disponible mas alta que en el caso en que se empleen dosificaciones pobres de cemento, en cuyo caso penetra el agua en los poros y la mezcla tiende a rigidizarse.

Se denomina "coeficiente de absorción" de un grano de árido al porcentaje máximo que absorbe de agua con respecto al peso en seco del mismo. Viene dado por la expresión:

$$K = \frac{P_1 - P}{P} 100$$

siendo:

- K = Coeficiente de absorción, en tanto por ciento.
- P₁ = Peso del árido saturado con superficie seca.
- P = Peso del árido seco.

La Instrucción española del hormigón, exige que la absorción de agua por los áridos determinada según las normas UNE 83.133 y 83.134 sea igual o inferior al 5 por 100.

5.6.4.3.- Humedad.

El conocer la humedad que poseen los áridos, especialmente las arenas, es muy importante por la gran repercusión que puede tener, en la relación (Agua/Cemento) real que se está empleando en el hormigón.

De acuerdo con el contenido de agua de los áridos estos pueden clasificarse en (Figura 5.6.4.3.1):

- Secos en estufa a temperatura superior a 100° C-
- Húmedos o secos al aire, es decir, sin humedad superficial pero si interna.
- Saturados con superficie seca, es decir, sin presentar agua libre (Es un estado límite, en que el árido tiene todos sus poros llenos de agua pero está superficialmente seco. Este estado sólo se logra en laboratorio).
- Mojados, con agua libre (Todos los poros del árido están llenos de agua y además existe agua libre superficial.)

Las dos primeras formas pueden absorber más agua en el amasado, los mojados ceden agua a los otros componentes.

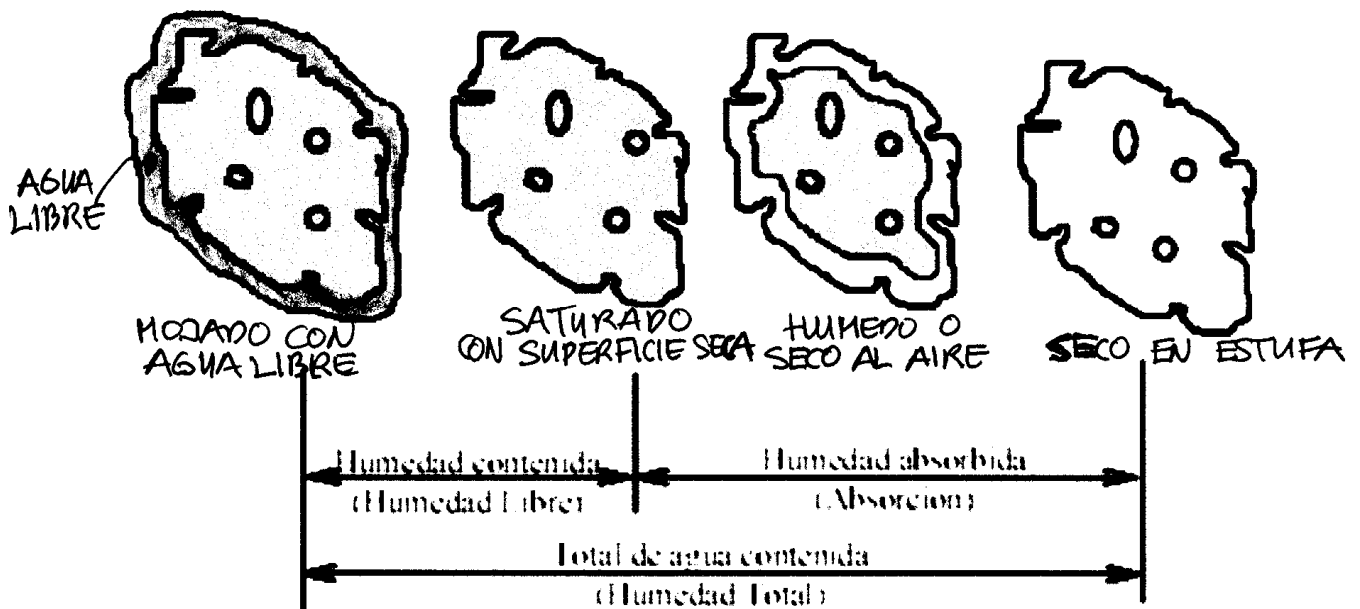


Figura 5.6.4.3.1.- Esquema de humedad de los áridos.

En los dos primeros estados, los áridos pueden absorber mas agua y de hecho así ocurre al fabricar el hormigón. En el último estado, es decir, cuando los áridos están mojados ceden agua a los demás componentes del hormigón.

Se denominan "coeficiente de humedad" k , a un factor que multiplicado por el peso en húmedo del árido, P_h nos da el peso en seco, P , es decir

$$P = kP_h$$

El contenido de humedad de un árido, en tanto por ciento, viene dado por:

$$H = \frac{P_h - P}{P} 100$$

luego:

$$P = \frac{100P_h}{100 + h}$$

y como

$$P = kP_h$$

resulta:

$$k = \frac{100}{100 + h}$$

La importancia de la humedad en una arena es muy grande por el efecto negativo que puede tener en las resistencias del hormigón salvo que se hagan las oportunas correcciones. Así, por ejemplo, si un hormigón con dosificación de cemento de 390 kg/m^3 , 770 kg de árido $\frac{20}{40}$, 415 kg de árido $\frac{5}{20}$, 631 kg de arena $\frac{0}{5}$ y 172 litros de agua, y relación (Agua/Cemento) de 0.45 da a 28 días una resistencia de 40 N/mm^2 . Si por cualquier circunstancia la arena viene con un 3 por 100 de humedad, se tendrá:

$$k = \frac{100}{100 + 3} = 0.97$$

Peso seco de la arena: $P = 631 \times 0.97 = 612 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Contenido de agua: $631 - 612 = 19 \text{ litros.}$

Agua total en el hormigón: $172 + 19 = 191 \text{ l.}$

Nueva relación (Agua/Cemento): $0.49.$

Con la misma dosificación anterior y la nueva relación (Agua/Cemento), la resistencia estimada a compresión es de unos 35 N/mm^2 , es decir, se produce una reducción en las resistencias del 12.5% .

La humedad libre de un árido, es un valor sumamente importante y necesario para hacer la corrección de dosificación por humedad que aportan los áridos. Se determina como la diferencia porcentual entre la humedad total (obtenida por secado al horno $110 \text{ }^\circ\text{C}$) y la absorción, o se:

$$H_L = H_T - A = \frac{m_h - m_s}{m_s} 100 - \frac{m_{\text{sss}} - m_s}{m_s} 100 = \frac{m_h - m_{\text{sss}}}{m_s} 100$$

con:

A: Absorción (%).

H_T : Humedad total (%).

H_L : Humedad libre (%).

m_h : masa de la muestra húmeda.

m_s : masa de la muestra seca al horno.

m_{sss} : masa de la muestra en estado sss.

La capacidad de los áridos para contener humedad libre depende de su tamaño: a menor tamaño mayor capacidad de retención de agua libre. Algunos valores aproximados son los siguientes:

| Clase Árido | HI (%) |
|------------------|---------|
| Grava y gravilla | 0,5 - 2 |
| Arena húmeda | 1 - 4 |
| Arena muy húmeda | 6 - 12 |

5.6.4.4.- Entumecimiento o esponjamiento de las arenas.

El entumecimiento de las arenas es el incremento de volumen que experimentan estas cuando se humedecen. Al aumentar la cantidad de agua contenida en una arena hasta un determinado límite, el volumen de conjunto de la misma crece como consecuencia de la película de agua que envuelve a cada uno de los granos (Figura 5.6.4.4.1).

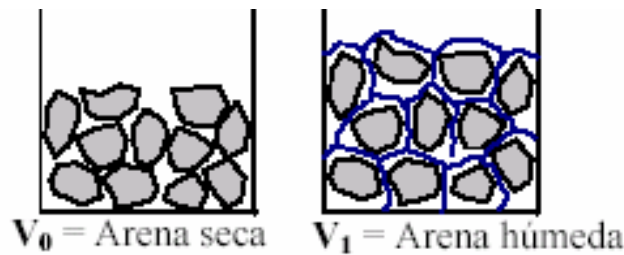


Figura 5.6.4.4.1.- Entumecimiento o esponjamiento de las arenas.

El conocer el entumecimiento de las arenas es muy importante especialmente cuando se hacen dosificaciones por volumen de conjunto.

Haciendo una representación gráfica de la función entumecimiento-humedad se observa que si partiendo de una arena seca se va añadiendo agua a la misma, su volumen va aumentando hasta llegar a un valor máximo que corresponde a una humedad crítica; a partir del cual, este empieza a decrecer hasta llegar a tener el mismo valor que cuando la arena estaba seca. Esto ocurre cuando se ha producido su inundación y se debe a que, a partir de ese contenido crítico de humedad, el agua escurre entre los huecos de los granos, haciendo que estos vuelvan a irse aproximando.

El entumecimiento de una arena depende no solo de la humedad que contenga sino también de su finura. El aumento de volumen llega a ser del 20 al 30 por 100 para contenidos de humedad del 5 al 8 por 100 aunque con arenas muy finas puede llegarse a entumecimientos del 40 por 100 (Figura 5.6.4.4.2).

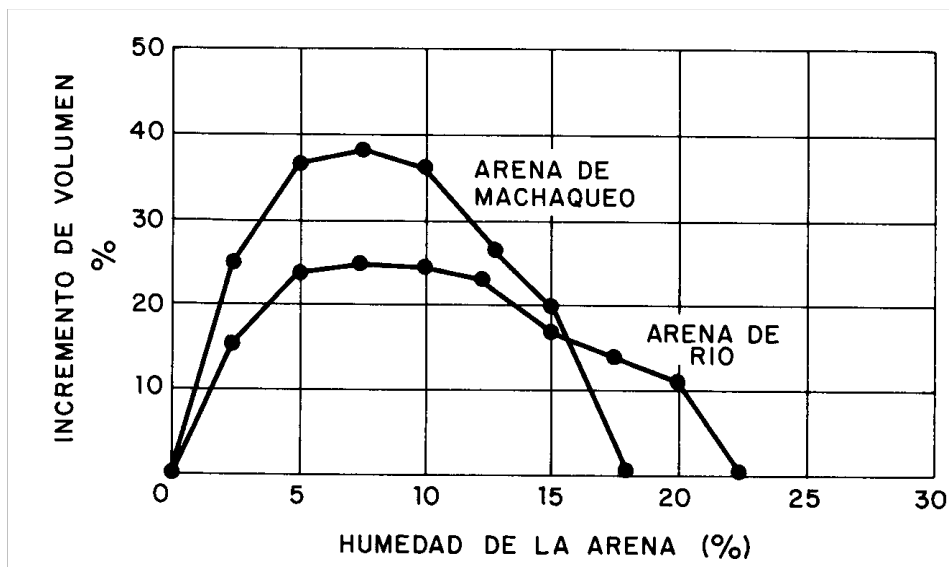


Figura 5.6.4.4.2.- Entumecimiento de arenas en función de su contenido de humedad.

Los áridos gruesos experimenten un entumecimiento muy reducido debido a que el espesor de la película de agua es muy pequeño en comparación con el tamaño del árido.

Dado que el volumen de una arena seca y de esta totalmente inundada es idéntico, resulta cómodo determinar el entumecimiento de una arena húmeda colocándola en un recipiente.

En una probeta graduada de 1 ó 2 litros de capacidad se mide un volumen inicial (V_i) de una muestra representativa de la arena húmeda emparejándola sin presionar. A continuación, se vierte agua sobre la arena hasta inundarla, girando la probeta para eliminar las burbujas de aire. La arena se acomodará, disminuyendo su volumen. Se registra este volumen final (V_f), que coincidirá con el de la arena seca. La diferencia de los volúmenes inicial y final se divide por el volumen de la arena inundada y se multiplica por 100 para tener el tanto por ciento de esponjamiento.

El entumecimiento, en tanto por ciento, vendrá dado por (Figura 5.6.4.4.3):

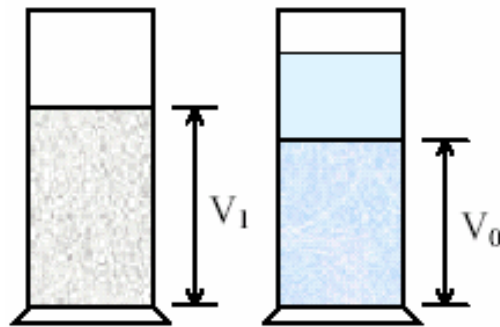
$$E = \frac{V_i - V_f}{V_f} 100$$


Figura 5.6.4.4.3.- Determinación del entumecimiento o esponjamiento de las arenas

5.6.4.5.- Forma y textura superficial.

Las características externas del árido, en particular la forma y la textura superficial de las partículas, inciden en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, como pueden ser, entre otras, la docilidad y las resistencias mecánicas, respectivamente.

Ambas características son fáciles de determinar en los áridos gruesos, siendo más difícil en los finos. En estos el estudio microscópico indicará la forma de la partícula (Redondeada, angular, etc), pero la textura superficial (Vítrea, lisa, etc) puede no ser tan fácil de describir.

La forma de un árido se caracteriza por las tres dimensiones de un paralelepípedo circunscrito al mismo: la mayor o longitud (L), la intermedia o anchura (A) y la menor o espesor (E). Relacionando las dimensiones anteriores, se establecen diferentes coeficientes de forma. Así, por ejemplo, se obtienen las cuatro categorías de ZINGG (Figura 5.6.4.5.1) que son: Cúbica, lajosa alargada, lajosa y acicular. En la ilustración se han seleccionado sólo las formas prismáticas, pero también se podían haber elegido formas redondeadas.

En la figura anterior también se encuentra representado el denominado factor de forma (F) de Aschenbrenner, definido por la relación existente entre la elongación (A/L) y la delgadez (E/A), es decir:

$$F = \frac{A/L}{E/A} = \frac{A^2}{EL}$$

Valores de F mayores que 1 representan formas alargadas y valores menores que uno, formas aplanadas.

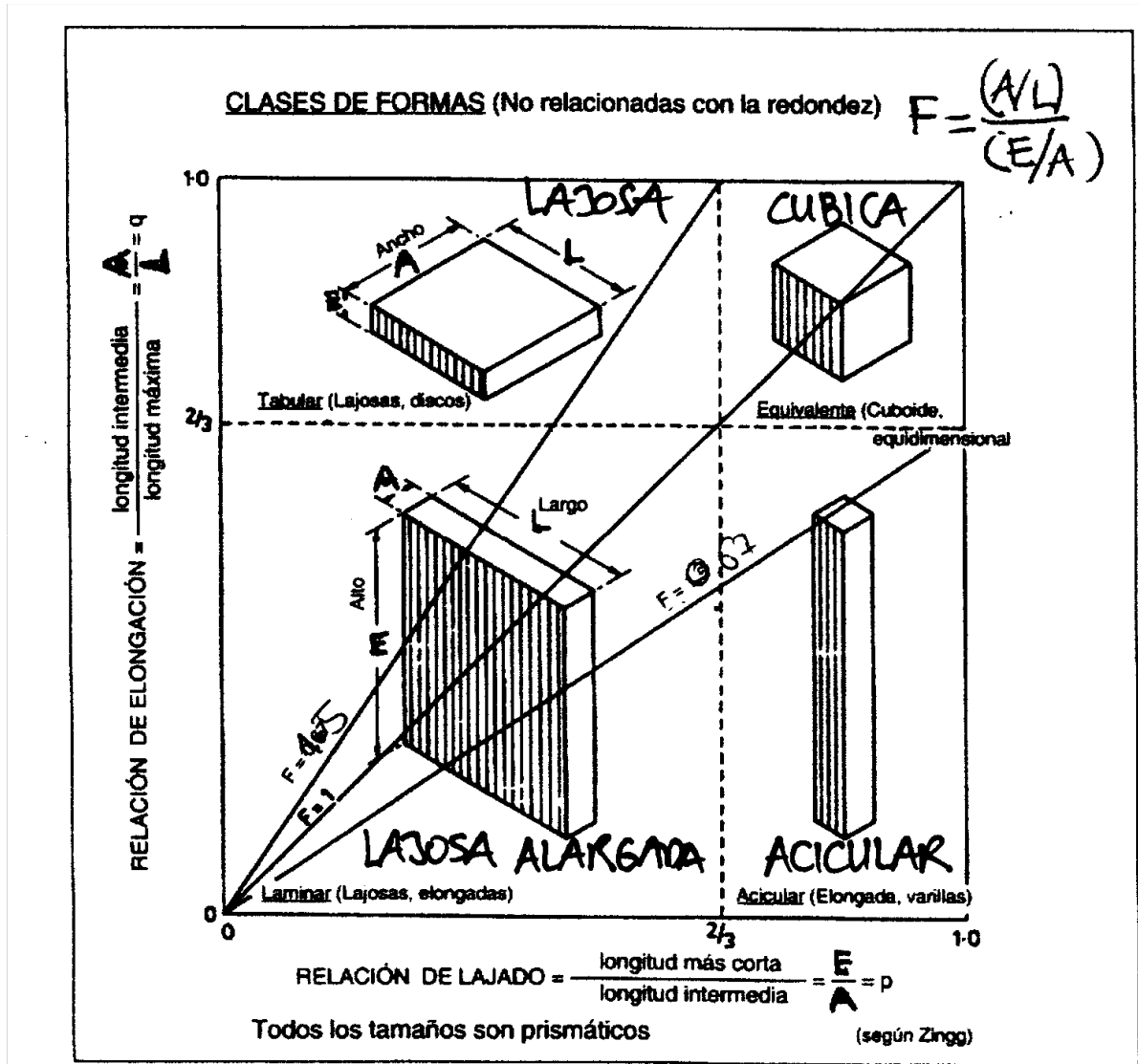


Figura 5.6.4.5.1.- Categorías de formas de partículas según ZINGGS

Otros autores, suelen referir la forma de los áridos tomando como patrón a la esfera. Así, se define el coeficiente de forma (CF) como la relación entre el volumen de la partícula de árido (V_a) y el volumen encerrado por la superficie esférica circunscrita (V_{ec}), es decir:

$$CF = \frac{V_a}{V_{ec}}$$

Por otra parte, la redondez (R) se define como la relación entre el radio medio de curvatura de los bordes y ángulos de la partícula de árido (R_{cm}) y el radio de la esfera de inscrita de mayor volumen (R_{ei}), es decir:

$$R = \frac{R_{cm}}{R_{ei}}$$

La inversa de la redondez se denomina angularidad. En la figura 5.6.4.5.2, se representa una de las tarjetas de siluetas utilizada en la práctica para determinar la esfericidad y redondez de una partícula.

CONTORNO DE LAS PARTICULAS

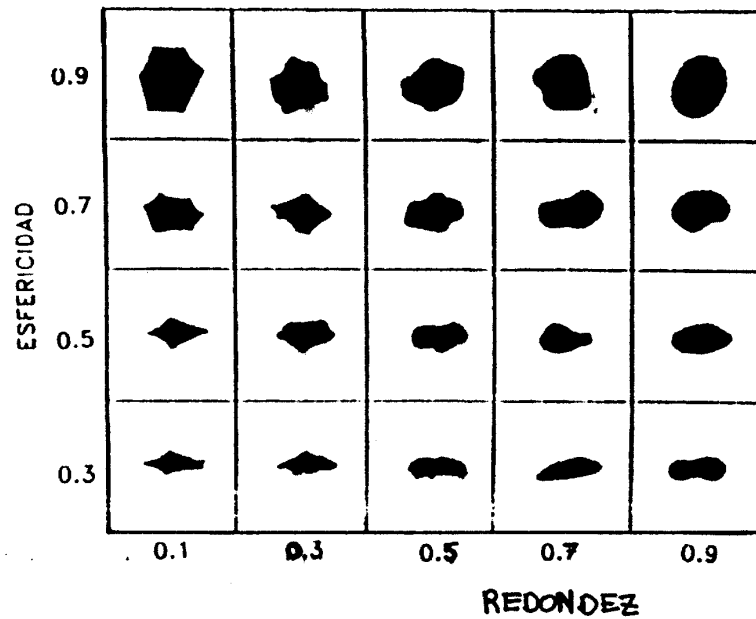


Figura 5.6.4.5.2.- Tarjeta de siluetas para la identificación de la forma de las partículas.

Para la angularidad es más común la descripción visual, por ejemplo:

- Muy angular: Prácticamente ningún desgaste de la superficie.
- Angular: con evidente poco desgaste de la superficie.
- Subangular: algo de desgaste, caras bien definidas.
- Subredondeada: considerable desgaste, caras de área reducida.
- Redondeada: alguna presencia de caras.
- Muy redondeada: no tiene caras originales.

En [la figura 5.6.4.5.3](#) puede verse el grado de redondez y angularidad de diversas partículas, así como su esfericidad.

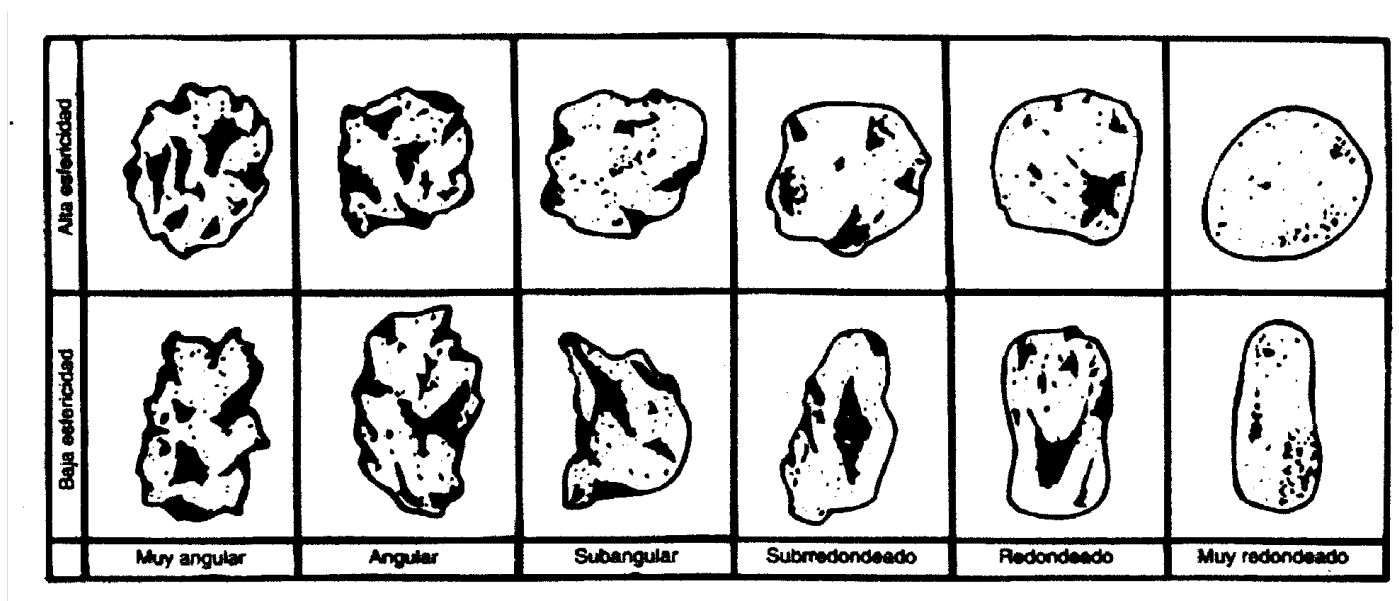


Figura 5.6.4.5.3.- Grado de redondez mostrando cada categoría esfericidad baja y alta.

Para la fabricación del hormigón, es preferible que el árido tenga formas equidimensionales procurando evitar partículas con formas aciculares, angulares y lajas, ya que estas demandan una mayor cantidad de agua para la trabajabilidad del hormigón. No todas las rocas se comportan de la misma manera al someterlas a una reducción de tamaño. En general, las rocas fuertes y duras o frágiles producen una mayor proporción de lajas que los tipos más flojos, si bien éstos últimos generan más finos al triturarlos.

La forma de los áridos machacados depende de la naturaleza de la roca de la que proceden, del tipo de machacadora, de su relación de reducción, etc.

La lajosidad se puede inducir durante la operación de trituración y para minimizarla, en los casos más difíciles, se importante mantener la relación de reducción

$$\text{Relación de reducción} = \frac{\text{Tamaño medio de la alimentación}}{\text{Tamaño medio del producto}}$$

tan baja como sea posible, es decir 3:1 o 4:1, ya que cuanto mayor sea el grado de reducción con una sola máquina peor será la forma.

En la producción de áridos de machaqueo, la selección de la maquinaria es un factor importante para obtener buenas formas del árido, en este sentido, SHERGOLD hizo una revisión del comportamiento de los tipos de trituradoras y las ordenó en orden descendente de producción de cuboides (Partículas aproximadamente equidimensionales) resultando:

IMPACTO \Rightarrow MANDIBULAS \Rightarrow GIRATORIAS \Rightarrow RODILLO \Rightarrow DISCO \Rightarrow CONO

Por otra parte, aunque se hable de esfericidad, en el caso se los áridos de machaqueo, la forma geométrica tiende a ser cúbica.

Por su parte, la Instrucción de hormigón estructural (EHE – 98) indica que la forma del árido grueso se expresará mediante su coeficiente de forma o bien mediante su índice de lajas, debiendo cumplir al menos las prescripciones relativas a uno de los dos, según se indica a continuación.

El coeficiente de forma del árido grueso, determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7238:71, no debe ser inferior a 0.20.

La Instrucción española tiene en cuenta la forma de los áridos mediante el "coeficiente de forma", (Figura 5.6.4.5.4) que lo define como la relación entre el volumen de la partícula de árido y el volumen de la

esfera circunscrita a él, es decir: $\alpha = \frac{V}{\frac{\pi}{6}d^3}$

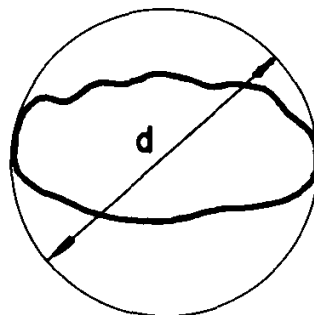


Figura 5.6.4.5.4.- árido real y esfera circunscrita a él.

Si se trata de un conjunto de (n) granos representativos del árido, el coeficiente de forma toma la expresión:

$$\alpha = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\frac{\pi}{6}(d_1^3 + d_2^3 + \dots + d_n^3)}$$

donde:

- α = Coeficiente de forma
- V_i = Volumen de cada grano
- d_i = La mayor dimensión de cada grano, es decir, la distancia entre los dos planos paralelos y tangentes a ese grano que estén más alejados entre sí de entre todos los que sea posible trazar.

El índice de lajas del árido grueso, determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE EN 933-3:97, debe ser inferior a 35. Se entiende por índice de lajas de un árido, el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas con arreglo al método de ensayo indicado.

En caso de que el árido incumpla ambos límites, el empleo del mismo vendrá supeditado a la realización de ensayos previos en laboratorio.

Los áridos rodados dan mejores hormigones si se aproximan a la forma esférica. Los de machaqueo sí tienen forma de cubo. No son aceptables los de forma laminar o acicular, ya que dificultan la trabajabilidad del hormigón y le quitan compacidad.

Los áridos presentan texturas superficiales muy variadas que oscilan desde la pulida hasta la cavernosa pasando por la suave, granular, rugosa y cristalina. Con relación a la textura superficial de un árido la norma BS - 812 establece los siguientes tipos:

VITREA , SUAVE , GRANULAR , ASPERA , CRISTALINA , ALVEOLAR

Relacionando, de forma amplia, las clasificaciones petrológica y de textura superficial de la norma BS-812 se puede indicar lo siguiente:

TEXTURA VITREA \Rightarrow GRUPO DEL PEDERNAL

TEXTURA SUAVE \Rightarrow GRUPO DEL ESQUISTO

TEXTURA GRANULAR \Rightarrow GRUPO DE LA ARENISCA

TEXTURA CRISTALINA \Rightarrow GRUPOS DEL GRANITO Y GNEIS

TEXTURA ALVEOLAR \Rightarrow GRUPO DE LAS TOBAS VOLCANICAS Y MATERIALES ARTIFICIALES

Como regla general, se puede decir que los áridos de origen natural suelen presentar superficies más o menos pulimentadas, mientras que los áridos de machaqueo presentan superficies más rugosas

Con áridos redondeados o rodados se obtienen hormigones muy dóciles y de tanto mas resistencia cuanto mas se aproxime la forma de aquellos a la esfera, Los áridos machacados, por el contrario, dan lugar a hormigones menos trabajables aunque el efecto será tanto menor cuanto mas se aproximen a poliedros de mayor número de caras. Los áridos laminares y aciculares dan lugar a hormigones de peor calidad puesto que estas formas no solo influyen en las resistencias sino que, además, como ocurre en los áridos laminares, tienden a orientarse en un plano acumulando debajo de ellos agua y aire lo que repercute desfavorablemente en la durabilidad de los hormigones.

Los áridos machacados, cuando tienen buena forma, dan lugar a hormigones con altas resistencias a flexotracción, de aquí que sean los preferidos en hormigones para pavimentos de carreteras. Esto quizá sea debido a la mayor superficie de contacto tiene con la pasta de cemento y por consiguiente, mayor adherencia presentara con ella.

5.6.4.6.- Adherencia de la pasta al árido.

La forma y la textura superficial del árido influyen, de forma notable, en la resistencia del hormigón. Así, una textura áspera y/o la mayor superficie de un árido anguloso dan lugar a una mayor adherencia entre el árido y la pasta de cemento.

En general, texturas superficiales que impidan la penetración de la pasta de cemento por la superficie de las partículas de árido no producen una buena adherencia.

Se exige limpieza del árido y una aspereza mínima que garantice su adherencia con el cemento. No deben presentarse en la superficie películas de arcilla o materias orgánicas; así como polvo, que es muy frecuente, en los áridos de machaqueo.

5.6.4.7.- Resistencia mecánica y tenacidad.

Un hormigón no puede tener más resistencia a compresión que la que tienen los áridos que lo forman. Tanto a compresión como a desgaste, la resistencia del árido debe estar en relación con la exigida al hormigón. Debe garantizarse la densidad del conjunto estudiando la granulometría del mismo para que no se modifique en su puesta en obra, así como tener en cuenta la naturaleza de la roca de procedencia, su tamaño y su forma.

La resistencia mecánica de los áridos varía ampliamente e incide sobre la resistencia mecánica del hormigón.

En el caso de los áridos extraídos de canteras donde la dimensión de las rocas permite la obtención de probetas representativas, la resistencia mecánica se determina mediante la rotura de éstas (Resistencia a la compresión uniaxial). La correlación entre el comportamiento de la roca intacta y el árido resultante no es constante más que en términos generales.

Cuando no es posible, por las dimensiones de los áridos, obtener las probetas de roca intacta o por el inconveniente de la correlación, la resistencia se determina mediante una serie de ensayos que simulan las condiciones naturales que son:

- Coeficiente de impacto (CI).
- Coeficiente de fragmentación (CF).
- Índice de machacabilidad.
- Coeficiente del 10 % de finos.

Coeficiente de impacto (CI).

En este ensayo una muestra normalizada de un tamaño entre 14 y 10 mm, es sometida a una carga discontinua en forma de 15 golpes de un martillo o pistón (13.5 kg a 14.1 kg) que cae desde una altura de 38.1 ± 6.5 mm (Figura 5.6.4.7.1). La muestra es reducida hasta constituir una mezcla clasificada de finos. Se elige un tamiz de 2.36 mm como nivel de corte, y el porcentaje de material que pasa, en relación al peso inicial, representa el coeficiente de impacto del árido, y se utiliza como la medida de la resistencia a la fragmentación. Se realizan dos ensayos y los resultados deben tener un diferencia de 1 como máximo. En este ensayo un valor numérico bajo, indica una roca más resistente.



Figura 5.6.4.7.1.- Equipo para el ensayo de impacto.

Coefficiente de fragmentación (CF).

En este ensayo una muestra de aproximadamente 2 kg es sometida a una carga continua transmitida por un pistón en una máquina de compresión (Figura 5.6.4.7.2). Se alcanza una carga máxima de 400 kN en 10 minutos ($V_c = 666.7 \frac{N}{s}$). Al igual que en el CI, los finos que pasan el tamiz de 2.36 mm se calculan como porcentaje del peso de la muestra inicial. Este es el coeficiente de fragmentación. Se dan dos valores para cada material ensayado y los valores deben tener una diferencia de 1 como máximo. De nuevo un valor mas bajo indica una roca más resistente.

Las normas UNE 83111, 83112 y 83113 corresponden respectivamente a los métodos de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de rocas, índice de machacabilidad y valor del 10 % de finos.

En general, para los áridos normales, la resistencia a compresión puede variar entre 100 y 280 MPa, siendo la resistencia a la flexotracción, normalmente, de un 1 a un 7 % de la resistencia a la compresión.



Figura 5.6.4.7.2.- Equipo para el ensayo de fragmentación

Existen otros métodos para medir indirectamente la resistencia de los áridos y, por tanto, la existencia o no de partículas friables, tales como el ensayo de Los Angeles y el Deval. Estos miden también la resistencia a la fragmentación y a la abrasión, dando información sobre su deterioro mecánico o desgaste.

La tenacidad caracteriza la resistencia de un árido al impacto. Se determina mediante el ensayo del índice de impacto, existiendo una relación directa con el valor del índice de machacabilidad. Para su evaluación se dispone de la norma UNE 83114.

En la fabricación de hormigones es normal utilizar áridos cuyas resistencias a compresión sean superiores a 100 N/mm^2 .

Lo normal es que los hormigones tengan una resistencia a compresión comprendida entre 20 y 60 N/mm^2 , con lo cual los áridos ordinarios pueden ser aceptados normalmente debido a que su resistencia es superior a la máxima indicada; sin embargo, cuando se trata de conseguir hormigones de resistencias superiores hay que realizar una selección muy cuidada de los áridos.

En la tabla 5.6.4.7.1 se indican los valores de la resistencia a compresión que se pueden considerar como medias para áridos sanos de distinta naturaleza, teniendo en cuenta que los resultados pueden oscilar dentro de límites bastantes amplios. Las mayores resistencias suelen conseguirse con áridos cuarcíticos y alcanzan hasta los 400 N/mm^2 , con granitos muy sanos se alcanzan 270 N/mm^2 . Sin embargo, con granitos meteorizados y con ciertas pizarras poco compactas se obtienen valores muy bajos.

Tabla 5.6.4.7.1.- Resistencia a compresión de los áridos.

| Arido | Resistencia a compresión (N/mm ²) |
|---------------|---|
| Caliza | 150 |
| Cuarcita | 250 |
| Grava silícea | 130 |
| Granito | 180 |
| Gneis | 140 |
| Mármol | 110 |
| Esquitos | 170 |

5.6.4.8.- Dureza.

Cuando los áridos van a utilizarse en obras en las que el hormigón va a estar sometido a desgaste o a impacto, como ocurre, por ejemplo, en pavimentos, es importante conocer la tenacidad de los mismos y su resistencia al impacto, la cual puede determinarse mediante golpeo de un martillo de una masa dada cayendo desde una determinada altura y durante un cierto número de veces sobre una muestra de árido contenida en un recipiente. El conocer la dureza y resistencia al desgaste es también importante en determinados casos. Los ensayos empleados en su determinación pueden ser de abrasión en pista de acero o bien de desgaste por rozamiento de unas partículas de rocas contra otras.

Uno de los métodos mas empleados es el ensayo de "Los Angeles" (Norma UNE 83.116).

5.6.4.9.- Sustancias perjudiciales.

Los áridos empleados en el hormigón pueden tener impurezas orgánicas que interfieran en el proceso de hidratación del cemento, finos que aumenten las exigencias de agua de amasado o disminuyan la adherencia de estos con la pasta de cemento repercutiendo, por tanto, de forma desfavorable en las resistencias, partículas débiles o alterables que contenidas en el propio árido lo hagan débil o inestable, o bien, compuestos que puedan reaccionar químicamente con los componentes del cemento. A los áridos pueden acompañarles sustancias que pongan en peligro la estabilidad del acero en el caso de hormigones armados y pretensados.

Impurezas orgánicas.

Un árido con buenas resistencias, puede que no deba utilizarse en la fabricación de hormigón por contener impurezas orgánicas que retrasen el fraguado del cemento o incluso, repercutan desfavorablemente en sus resistencias al alterar las reacciones de hidratación del mismo.

Tal árido presenta estos inconvenientes cuando ha estado en contacto con tierra vegetal o humus que contienen taninos o derivados de los mismos. Generalmente, el problema se presenta con más intensidad en las arenas que en los áridos gruesos debido a que estos se lavan con cierta facilidad, incluso por la lluvia. Las arenas con impurezas orgánicas se encuentran con cierta frecuencia en vegas que han tenido sembrados y en zonas selváticas. En general, están formadas por partículas minúsculas de materia vegetal o no, que llegan a oscurecer al árido.

Aunque una forma cierta de conocer su efecto sobre el hormigón es determinando la resistencia que dan las probetas de este hechas con ellas y compararlas con las que da el mismo hormigón en el que se han utilizado áridos no contaminados, en aras a la rapidez se emplea el ensayo calorimétrico normalizado por la UNE 7.082. En este ensayo a una muestra de la arena introducida en un frasco de vidrio se le añade NaOH al 3 por 100 y se deja reposar durante 24 h, al cabo de las cuales se compara el líquido de la muestra con un líquido coloreado patrón o bien con unos vidrios coloreados.

Si el líquido que contiene la muestra ha tomado una coloración más oscura que el líquido o vidrio patrón, la muestra de árido puede contener sustancias perjudiciales, en cuyo caso se debe rechazar o bien hacer con el árido contaminado los ensayos sobre hormigones antes indicados; si, por el contrario, la coloración es más clara se acepta el árido.

Arcillas y partículas finas.

Si los áridos tienen depositados sobre sus superficies partículas finas tales como polvo, arcilla o finos procedentes del propio machaqueo de estos, la adherencia con la pasta de cemento queda muy disminuida e incluso, los hormigones y morteros hechos con ellos, pueden exigir mayor cantidad de agua de amasado como consecuencia del pequeño tamaño de estos finos.

Mediante lavado pueden eliminarse las partículas de arcilla y polvo, así como cuidando el proceso de machaqueo puede reducirse mucho el contenido de fracciones finas; si estas están en proporción superior a determinados límites, pueden también eliminarse por lavado.

A veces, acompañan a los áridos terrones gruesos de arcilla que son nocivos por crear nódulos de muy baja resistencia dentro del hormigón o porque, si se rompen durante el amasado, dan lugar a partículas finas que poseen los inconvenientes antes apuntados.

La Instrucción española limita el máximo contenido, en peso, de finos que pasan por el tamiz de 0,08 mm de abertura con carácter general al 6 por 100 para el árido fino y al 1 por 100 para el grueso. Estos valores coinciden con los límites fijados por la ASTM C 33-85 aunque en esta se hace el distinguo de que si el hormigón va a estar sujeto a abrasión, el límite de finos que pasan por el tamiz número 200, equivalente a 0,075 mm, no sea superior al 3 por 100 en el caso de las arenas. La citada norma ASTM permite que, en el caso en que los finos en las arenas procedan de machaqueo y estén libres de arcillas o pizarras, pueda incrementarse su contenido al 5 por 100 en el caso de hormigones sujetos a abrasión, y al 7 por 100 en el caso de hormigones ordinarios.

La Instrucción española del hormigón, eleva el límite de la cantidad de finos al 10 y 15 por ciento, dependiendo del ambiente a que vaya a estar sometido el hormigón, para las arenas procedentes de machaqueo de rocas calizas. El máximo porcentaje en peso de terrones de arcilla que fija la Instrucción española para las arenas es del 1 por 100 y del 0,25 por 100 para el árido grueso, determinados según la norma UNE 7.133.

Existe un ensayo muy fácil de realizar en obra para hallar la cantidad de partículas finas procedentes de machaqueo o de contaminación arcillosa en una arena y que se denomina "equivalente de arena".

Para hormigones de buena calidad el valor hallado debe estar comprendido entre 75 y 85, es decir, en el caso del ejemplo anterior, la arena sería de baja calidad para la fabricación de hormigón.

La Instrucción española del hormigón limita el equivalente de arena en un valor, igual o mayor de 75 para las arenas naturales que no procedan de machaqueo y a un valor igual o mayor de 65 para las arenas procedentes de machaqueo.

Este ensayo es volumétrico y no da los porcentajes en peso debido a la diferente densidad de la arena y de los finos que contiene.

A veces es frecuente encontrar áridos silíceos que tienen adheridas capas superficiales de materiales de otra naturaleza como pueden ser calizas, a estas capas se les suele denominar "camisas"; estos áridos pueden emplearse en el hormigón siempre que estas estén bien adheridas, sean resistentes, no friables o deleznales y no reaccionen con el cemento.

Otras partículas indeseables.

Aparte de los finos, los áridos pueden contener algunas partículas que pongan en peligro la integridad del hormigón o que mermen de forma notable sus resistencias, de aquí que estos no deban sobrepasar determinados límites.

Tanto las partículas de baja densidad como pueden ser las procedentes de pizarras, o que forman inclusiones blandas dentro de la masa del hormigón, como el carbón, madera, terrones de arcilla, etc., conducen a la formación de ampollas y descascarillamientos superficiales, además de dar lugar a una pérdida de resistencia de los hormigones, especialmente, si están en proporciones superiores del 2 al 5 por 100, en peso, dependiendo de su naturaleza.

Las partículas de carbón acompañando a los áridos también pueden ser perjudiciales como consecuencia de su entumecimiento dentro del hormigón, de ser, en general, blandas y de que, si están finamente divididas, pueden afectar al endurecimiento del hormigón.

La Instrucción española fija el contenido máximo, en peso, de partículas de baja densidad en 0.50 % para las arenas y en 1.00 % para el árido grueso. La determinación se hace de acuerdo con la norma UNE 7.244 hallando el material retenido en el tamiz de 0.063 mm de abertura y que flota en un líquido de densidad 2.0 g/cm³. El líquido de densidad 2,0 puede ser una solución de cloruro de zinc en agua o bien una mezcla de queroseno con tetrabromoetano. La norma ASTM C 123-83 especifica este ensayo.

Las micas son peligrosas porque sufren alteraciones en presencia de los productos procedentes de la hidratación del cemento.

El yeso y los sulfatos deben estar limitados por reaccionar con el aluminato tricálcico de los cementos portland. Por este motivo la Instrucción española limita el contenido de azufre expresado en iones sulfato SO_4^{2-} y referido al árido seco al 0.4 %, en peso, tanto para las arenas como para el árido grueso.

Los sulfuros de hierro o piritas oxidables también pueden ser muy peligrosos. Hay tres tipos de piritas de hierro, la piritita amarilla, la marcasita y la pirrotina. La piritita amarilla podría ser un buen árido pero debido a las impurezas que la suelen acompañar, así como a defectos en su estructura, no es conveniente utilizarla, pues con frecuencia se puede descomponer.

La marcasita tiene un color amarillo verdoso y no debe emplearse como árido por ser atacable por los agentes atmosféricos. La pirrotina se distingue de las otras variedades en que es magnética y es inaceptable como árido por oxidarse a sulfato bajo la acción, también, de los agentes atmosféricos. Se han detectado defectos muy importantes en estructuras de hormigón en el que los áridos contenían pirrotina en proporción menor del 10 por 100.

Las arenas procedentes de playas y costas marinas tienen sales, en una proporción que puede llegar hasta el 6 por 100 y entre las cuales ocupa un lugar destacado el cloruro sódico. Si estas arenas se lavan con agua dulce no existe ningún problema en su empleo, si, por el contrario, se usan sin lavar, pueden ocasionar eflorescencias en los hormigones en masa y además dar lugar a una ligera corrosión en las armaduras si se emplean en hormigón armado, corrosión que puede progresar dependiendo de las características del ambiente, de la calidad del hormigón y del espesor de los recubrimientos.

5.6.4.10.-Inestabilidad de los áridos. Heladicidad.

Es la resistencia a la disgregación por variaciones de volumen ocasionadas por alternancia de ciclos hielo-deshielo. Se normaliza el ensayo con Na_2SO_4 o MgSO_4 .

La muestra se somete a inmersión en una disolución durante 16 a 18 horas. A continuación la muestra se seca y se repite el procedimiento cinco veces. Seguidamente, se determina la pérdida de peso de dicha muestra, siendo las limitaciones las siguientes:

- Árido fino: no ha de superar el 10 %.
- Árido grueso: no ha de superar el 12 %.

En zonas de bajas temperaturas pueden producirse variaciones de volumen en los áridos debidas a alternancias en los ciclos de hielo y deshielo; igualmente, pueden ocasionarse estas variaciones por cambios térmicos a temperaturas superiores a 0 °C o por cambios de humedad. Un árido se considera inestable cuando sus cambios volumétricos pueden afectar a la integridad del hormigón dando lugar a disgregaciones o fisuras.

Para apreciar el comportamiento del árido frente a estos fenómenos se realiza el ensayo de tratamiento con sulfatos sódico o magnésico. Este ensayo da una información útil para juzgar sobre la durabilidad de los áridos sujetos a estas acciones atmosféricas.

El ensayo se efectúa con soluciones saturadas de sulfato sódico o magnésico y, según la Instrucción española o la norma ASTM C88-83, la pérdida de peso con sulfato sódico de los finos y gruesos no será mayor del 10 y 12 % respectivamente y con sulfato magnésico del 15 y 18 %. La muestra preparada con una granulometría determinada se sumerge en las soluciones y después de un tiempo de inmersión de 16 a 18 horas se retira y seca en estufa. La operación se repite cinco veces y después se halla la pérdida de material por un tamiz determinado.

Este ensayo es muy dudoso pudiendo considerarse exclusivamente como cualitativo. Sobre el se han pronunciado muchos investigadores que no llegan a ver la fiabilidad del mismo y así, parece deducirse que, los áridos que lo cumplen no presentarán problemas de inestabilidad pero, si un árido no lo cumple no quiere decirse que sea forzosamente rechazable.

Otros ensayos están basados en someter el árido dudoso a una alternancia de ciclos hielo y deshielo bien directamente o bien indiferentemente dentro de probetas de hormigón o mortero realizadas con ellos.

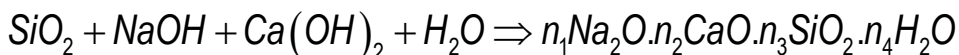
Los áridos propensos sufrir alteraciones volumétricas suelen ser los ligeros, algunas pizarras, las calizas que poseen arcillas expansivas en su constitución, y áridos que contengan arcillas en las formas de montmorillonita o de illita, etc.

5.6.4.11.- Interacción árido – hormigón. Reacción álcali – árido.

Uno de los problemas más comunes en determinados tipos de hormigones es la susceptibilidad que tienen algunos áridos de naturaleza silíceo a reaccionar, químicamente, frente a los álcalis del cemento. Como consecuencia de dicha reacción se produce, en el seno del mismo, la formación de un gel de sílice y silicatos alcalinos que provocan presiones disruptivas en el hormigón, que dan lugar a expansiones y cuarteos. La expansión produce el desparalaje de estructuras y puede amenazar la integridad de las mismas y el agrietamiento puede conducir al aumento de la corrosión y otros problemas de durabilidad.

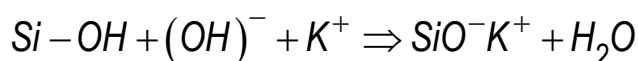
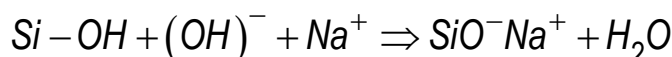
La reacción tiene lugar entre los hidróxidos alcalinos de las soluciones intrapórosas del hormigón, la cal liberada durante las reacciones de hidratación del cemento y los áridos reactivos que pueda contener el hormigón (Ciertas formas de sílice del árido). El producto de dicha reacción es la formación de un gel de álcali - sílice que absorbe agua, hinchándose y originando presiones expansivas que pueden generar grietas con el tiempo.

El esquema general del proceso ha sido establecido por Plum y col. (1958) de acuerdo con la reacción siguiente:

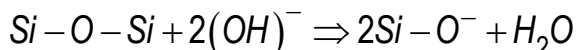


En la figura 5.6.4.11.1 puede verse el mecanismo de reacción entre la solución alcalina intersticial del hormigón y un mineral silíceo con una estructura cristalina desordenada. Después de algunos días o semanas del amasado del hormigón, la solución intersticial alcanza un equilibrio relativo y la concentración de iones alcalinos (Na^+ y K^+) es sensiblemente igual a la de los iones $(\text{OH})^-$. Normalmente no hay nada más que trazas de calcio y de silicio en solución.

La estructura atómica de las fases silíceas contienen una cierta cantidad (más importante en las variedades cristalograficamente más desordenadas) de grupos silanol (Si-OH). Los iones $(\text{OH})^-$ de la solución intersticial atacan en primer lugar a dichos grupos produciendo radicales SiO^- , cuya carga negativa se balancea por los iones alcalinos presentes en la solución (Figura 5.6.4.11.1):



Los iones $(\text{OH})^-$ atacarán también, pero más lentamente, a los puentes de los siloxanos debilitando aun más la estructura cristalina:



En ausencia de calcio disponible (por ejemplo, portlandita), las reacciones precedentes principalmente lo que hacen es liberar sílice en solución bajo forma iónica o coloidal (sol) alcanzando en ciertos casos concentraciones superiores a 2 M.

En un hormigón de cemento Pórtland la cantidad de iones calcio en solución, normalmente, es baja. Por el contrario, hay abundancia de portlandita en la intercara pasta-árido (Aureola de transición). Cuando la solución se pone en contacto con esta importante fuente de calcio, la sílice en solución forma un gel de composición silico-calcáreo-alcalino, que es hidrófilo y expansivo en presencia de la solución intersticial.

La absorción de la solución intersticial provoca la expansión de los geles de reacción, el hinchamiento de las partículas reactivas (ciertos tipos de áridos), la aplicación de fuertes presiones sobre la pasta de cemento vecina, la creación de microfisuras a través de las partículas reactivas (ciertos tipos de áridos) y la pasta de cemento y la expansión del hormigón.

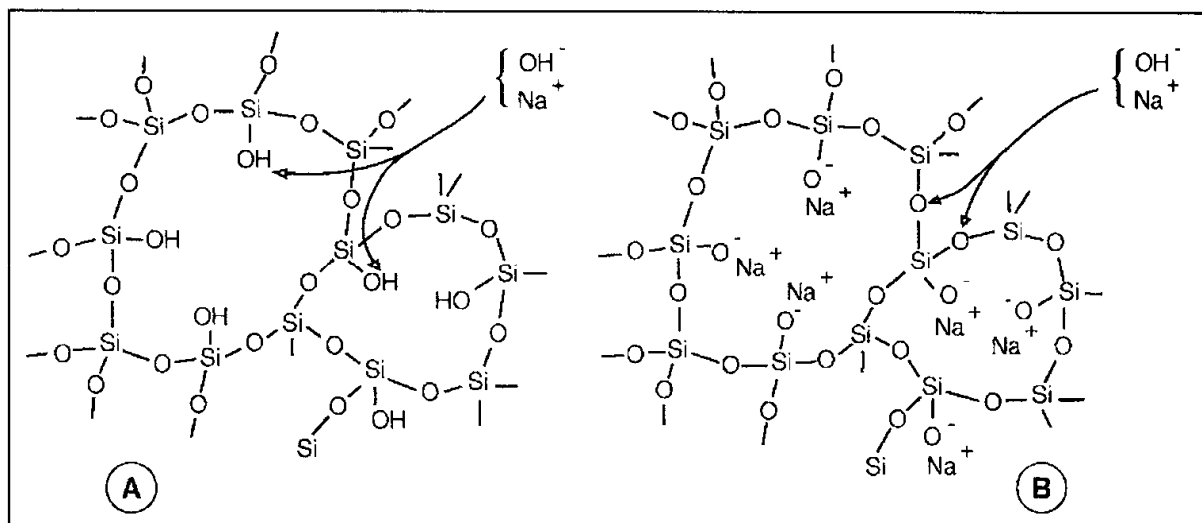


Figura 5.6.4.11.1.- Mecanismo de reacción entre la solución alcalina intersticial del hormigón y un mineral silíceo con una estructura cristalina desordenada.

El gel formado será o no de carácter expansivo según sea el contenido de CaO. Los primeros síntomas de esta reacción pueden mostrarse años después de haberse iniciado, apareciendo grietas en los contornos de los áridos y grietas capilares en sus cercanías.

Para que se produzca una reacción álcali - sílice perjudicial tienen que coincidir las siguientes tres circunstancias:

- Una cantidad crítica de sílice reactiva.
- Suficiente solución alcalina en los poros del hormigón.
- Suficiente cantidad de humedad.

La reactividad de los minerales de la sílice depende, principalmente, de que su estructura cristalina este más o menos ordenada. El ópalo tiene una estructura muy desordenada y es la forma más reactiva de la sílice, en el otro extremo de la escala el cuarzo bien ordenado suele ser, normalmente, no reactivo. Otras variedades de la sílice pueden exhibir reactividades intermedias, como puede verse en [la tabla 5.6.4.11.1](#), que nos da las variedades de sílice potencialmente reactivas y sus yacimientos.

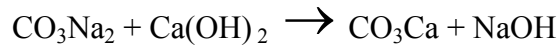
Tabla 5.6.4.11.1.- Variedades de sílice potencialmente reactivas y sus yacimientos

| Variedad de sílice | Yacimientos geológicos más frecuentes |
|---|--|
| Opalo | Venas y rellenos de cavidades en diversos tipos de rocas, en ocasiones, constituyente de algunos tipos de sílex, reemplazamiento de sílice fosilífera y cemento de algunas rocas sedimentarias. |
| Vidrio volcánico | Constituyente de algunas rocas ígneas volcánicas de composiciones, que oscilan de ácidas a básicas. El vidrio volcánico se devitrifica con el paso del tiempo geológico y el vidrio devitrificado puede ser también potencialmente reactivo |
| Tridimita y Cristobalita | Polimorfos metastables de alta temperatura de la sílice, que aparecen como minoritarios en algunas rocas volcánicas ácidas e intermedias. |
| Cuarzo microcristalino y criptocristalino | El principal constituyente de la mayoría de los sílex y pedernales. Venas y relleno de cavidades en diversos tipos de rocas, matriz de algunas rocas ígneas y metamórficas, cemento en algunas rocas sedimentarias. |
| Calcedonia | Variedad fibrosa de cuarzo microcristalino, que aparece como constituyente en algunos sílex y pedernales. Venas y rellenos de cavidades en diversos tipos de rocas, cemento en algunas rocas sedimentarias. |
| Cuarzo deformado | Generalmente aparece en rocas metamórficas, pero también en algunas ígneas, que han sido sometidas a grandes esfuerzos. También aparece como mineral detrítico en sedimentos. La opinión actual es que el cuarzo deformado no es por si sólo reactivo y que la reactividad pueda estar asociada con sílice poco ordenada en los bordes de grano muy suturados, que suelen estar asociados a los cuarzoes deformados. |

Nota: El ópalo es la variedad más reactivas de la sílice. La reactividad relativa de las otras variedades indicada en la Tabla 8.7 puede estar controlada por muchos factores petrográficos y el orden de los minerales no pretende ordenarlos por su reactividad.

5.6.4.12.- Interacción árido – hormigón. Reacción álcali – carbonato.

La desdolomitización de los áridos por reacción con disoluciones alcalinas, produce la formación de brucita, $Mg(OH)_2$ y a la regeneración de hidróxido alcalino, $NaOH$, lo que puede dar lugar a la continuidad del proceso de acuerdo con las reacciones siguientes:



La brucita puede aparecer bien en las zonas de contacto entre el árido y la pasta, bien en el mismo árido, pudiendo reaccionar con la sílice alrededor del árido y formar un silicato de magnesio.

Hay que indicar que la zona porosa que se crea alrededor del árido, por extracción de iones Mg^{2+} , debilita la unión pasta de cemento - árido, sin que el proceso de desdolomitización provoque, en ningún caso, la aparición de geles expansivos.

El control de la reacción alcalina con los carbonatos se puede realizar según el método propuesto por la norma ASTM C-586 o por el método propuesto por Guillot (1963).

5.6.4.13.- Propiedades térmicas.

Por la repercusión que pueden tener en las propiedades de los hormigones fabricados con ellos, es importante, a veces, conocer el coeficiente de dilatación y de conductividad térmica, así como el calor específico de los áridos.

El coeficiente de dilatación térmica, es función de la naturaleza y estructura interna de las rocas, variando muy poco en los áridos ordinarios pero sí de forma notable en los ligeros que son los que presentan coeficientes más bajos. El calor específico, es prácticamente el mismo para los distintos áridos ordinarios si la determinación se hace con relación al volumen relativo y no al peso, variando en los ligeros debido a su alta porosidad. Las tres características anteriores cambian mucho según se consideren los áridos secos o húmedos, así el coeficiente de dilatación térmica de una roca seca es aproximadamente un 10 por 100 menor que cuando está en estado saturado.

En los hormigones ordinarios empleados en estructuras, pavimentos y otras aplicaciones, las propiedades térmicas de los áridos no juegan un papel importante por lo que no se les presta atención. Sin embargo, en hormigones en grandes masas o en hormigones especiales sí pueden tener una influencia elevada.

En el caso de hormigones en grandes masas la diferencia de temperatura entre el exterior e interior de la masa puede producir tensiones internas que dañen al hormigón. Si se trata de elementos de mucha longitud y sometidos a alternancias de frío y calor el coeficiente de dilatación térmica de los áridos debe ser bajo. Si el hormigón tiene además misión de aislamiento, la conductividad térmica es fundamental. Si hay alternancias de calor y frío es igualmente importante el conocer el calor específico de los áridos.

El coeficiente de dilatación térmica lineal de las rocas más empleadas en la elaboración de los hormigones oscila entre 0.9×10^{-6} y 16.0×10^{-6} $m/m^\circ C$. En [la tabla 5.6.4.13.1](#) recoge los valores de este coeficiente para diferentes tipos de rocas.

Tabla 5.6.4.13.1.- Coeficiente de dilatación térmica lineal de las rocas mas empleadas en hormigones.

| Tipo de roca | α_{roca} 10-6 /°C |
|-------------------------|-----------------------------|
| Granito | 1,8 – 11,9 |
| Diorita y andesita | 4,1 – 10,3 |
| Gabro, basalto, diabasa | 3,6 – 9,7 |
| Arenisca | 4,3 – 13,9 |
| Dolomita | 6,7 – 8,6 |
| Piedra caliza | 0,9 – 12,2 |
| Horsteno | 7,4 – 13,1 |
| Mármol | 1,1 – 16,0 |

Para el cemento Pórtland se tiene $\alpha_{CEMENTO..PORTLAND}$ 10 a 16 x 10⁻⁶ / °C. Este valor depende del contenido de humedad, así:

Pasta saturada: 10 x 10⁻⁶ / °C.
 Pasta parcialmente saturada: 19 x 10⁻⁶ / °C.
 Pasta seca: 14 x 10⁻⁶ / °C.

Esto se debe a la expansión del gel al aumentar la absorción de agua. La edad y el curado al vapor disminuyen el efecto por cristalización del gel.

Si α_{ARIDO} difiere más de 5.5 x 10-6 /°C del de la pasta de cemento perjudica la durabilidad del hormigón a ciclos hielo-deshielo. Diferencias menores no afectan en el rango 4 – 60 °C (retracción y fluencia)

La estimación del coeficiente de expansión térmica para áridos de naturaleza diferente:

$$\alpha_{ARIDO..COMBINADO} = \alpha_{ARENA} + (\alpha_{ARIDO..GRUESO} - \alpha_{ARIDO..GRUESO}) X DOSIS..DE..ARENA$$

El coeficiente de conductividad térmica de los áridos comunes, a temperaturas normales, oscila entre 0.58 a 0.81 W/m.°C, siendo el calor específico de los mismos poco variable y del orden de 0.75 J/g.°C.

La conductividad térmica de los áridos aumenta ligeramente cuando estos se encuentran húmedos.

Análisis y ensayos que se realizan a los áridos.

| DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO | NORMA |
|--|----------------|
| Determinación de los terrones de arcilla | UNE 7.133 |
| Determinación de las partículas blandas | UNE 7.134 |
| Determinación de finos en áridos utilizados para la fabricación de hormigones | UNE 7.135 |
| Determinación de partículas de bajo peso específico | UNE 7.244 |
| Determinación de la friabilidad de la arena | UNE 83.115 |
| Determinación de la absorción de agua | UNE 83.133 |
| Determinación de las densidades, coeficiente de absorción y contenido de agua en el árido fino | UNE 83.133 |
| Determinación de la absorción de agua por el árido grueso | UNE 83.134 |
| Determinación de la reactividad álcali-sílice | UNE 146.507-1 |
| Determinación de la reactividad álcali-carbonato | UNE 146.507-2 |
| Determinación de la granulometría de partículas. Métodos de tamizado | UNE-EN 933-1 |
| Determinación de la granulometría de partículas | UNE-EN 933-2 |
| Determinación del índice de lajas | UNE-EN 933-3 |
| Determinación del coeficiente de forma | UNE-EN 933-4 |
| Ensayo del equivalente de arena | UNE-EN 933-8 |
| Determinación de la resistencia al desgaste Micro-Deval | UNE-EN 1.097-1 |
| Determinación de la resistencia a la fragmentación (E. máquina de Los Ángeles) | UNE-EN 1.097-2 |
| Determinación de la resistencia a la fragmentación (E. de impacto) | UNE-EN 1.097-2 |
| Determinación de la resistencia a ciclos de hielo y deshielo | UNE-EN 1.367-1 |
| Determinación de la pérdida de peso en sulfato magnésico | UNE-EN 1.367-2 |
| Determinación de los sulfatos solubles en ácido | UNE-EN 1.744-1 |
| Determinación de los compuestos de azufre | UNE-EN 1.744-1 |
| Determinación de los cloruros | UNE-EN 1.744-1 |
| Determinación de la materia orgánica | UNE-EN 1.744-1 |

5.7.- ESTUDIO GRANULOMETRICO DE LOS ARIDOS

5.7.1.- Análisis granulométrico

La granulometría de los áridos es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación del hormigón (La mayoría de los métodos de dosificación presentan especificaciones sobre las granulometrías óptimas que deben tener los áridos), puesto que constituye su esqueleto y tiene una gran influencia sobre sus propiedades.

El análisis granulométrico de un árido consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar al árido en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, o de tamaños comprendidos dentro de determinado límites (Figura 5.7.1.1 .a), y en hallar el porcentaje que entra en el árido cada uno de estos.

El estudio de la distribución por tamaños de un árido se hace cribándolo a través de una serie de tamices normalizados y que pueden corresponder a las series: internacional ISO, americanas Tyler o ASTM, británica B.S. etc., o a la española UNE (Figura 5.7.1.1 .b) y viendo la cantidad que queda retenida en cada uno de ellos. Los tamices se colocan en una tamizadora (Figura 5.7.1.1 .c)

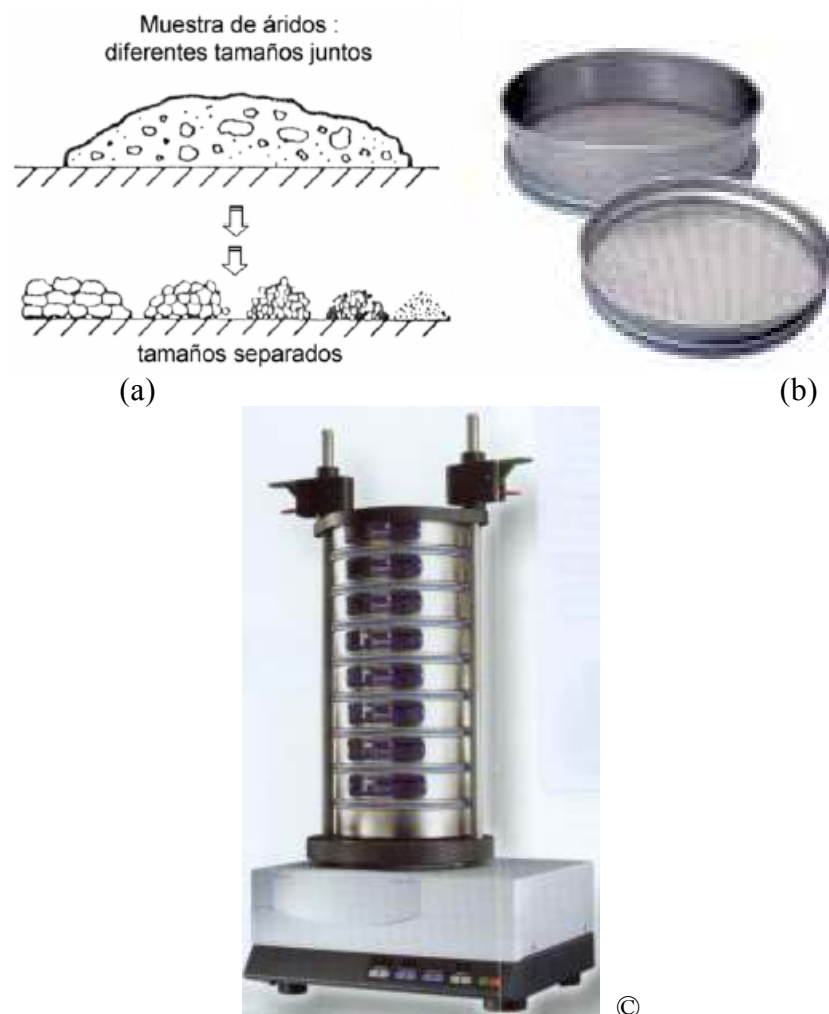


Figura 5.7.1.1.- Proceso de dividir una muestra de áridos en fracciones granulométricas. Tamizadora

En la tabla 5.7.1.1 se recogen los tamices UNE y ASTM mas empleados en los áridos para hormigones.

Tabla 5.7.1.1.- Tamices UNE y ASTM mas empleados en los áridos para hormigones.

| Serie de tamices para hormigón | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------|
| Norma UNE 7050 Abertura (mm) | Norma ASTM C33-85 | |
| | Nº | Abertura (mm) |
| 80,00 | 3 in | 76,2 |
| 40,00 | 1 1/2 in. | 38,1 |
| 20,00 | 3/4 in. | 19,0 |
| 10,00 | 3/8in. | 9,5 |
| 5,00 | 4 | 4,75 |
| 2,50 | 8 | 2,36 |
| 1,25 | 16 | 1,18 |
| 0,63 | 30 | 0,600 |
| 0,31 | 50 | 0,300 |
| 0,16 | 100 | 0,150 |
| 0,08 | 200 | 0,075 |

Los tamices empleados en el estudio de los áridos para hormigones se caracterizan porque sus aberturas están en progresión geométrica de razón 2.

Las granulometrías de la arena y de los áridos gruesos se determinan independientemente haciendo una por cada tipo de árido que se vaya a utilizar en el hormigón.

Antes de proceder al cribado de los áridos, estos deben secarse al aire con el fin de evitar, especialmente en el caso de las arenas, el que se apelmacen sus granos por efecto de la humedad y queden retenidos por tamices de más abertura que los que corresponden al tamaño real de aquellos. El peso de la muestra a tamizar es función del tamaño máximo del árido que la forma.

La relación entre el peso retenido por cada tamiz con respecto al peso total de la muestra, nos da el porcentaje retenido parcial por ese tamiz. Sin embargo, a efecto de ajuste de curvas granulométricas se utilizan los porcentajes retenidos acumulados por cada uno de los tamices y que serian los que retendrían cada uno de ellos en el caso en que no existiesen por encima de él ninguno de abertura mayor, como puede observarse en la tabla 5.7.1.2 que corresponde al análisis granulométrico de una arena efectuado sobre una muestra de 1000 g.

Hallando las diferencias a 100, de estos tantos por ciento retenidos acumulados, se obtienen los porcentajes que pasan acumulados, indicando estos, no lo retenido por un tamiz, sino por el contrario, la fracción total que pasa por él.

Tabla 5.7.1.2.- Análisis granulométrico de una arena

| Tamiz luz (mm) | Peso retenido (g) | Retenido (%) | | Pasa (%) Acumulado |
|----------------------|-------------------------|--------------|-----------|-----------------------|
| | | Parcial | Acumulado | |
| 5,00 | 80 | 8,0 | 8,0 | 92,0 |
| 2,50 | 160 | 16,0 | 24,0 | 76,0 |
| 1,25 | 110 | 11,0 | 35,0 | 65,0 |
| 0,63 | 290 | 29,0 | 64,0 | 36,0 |
| 0,32 | 195 | 19,5 | 83,5 | 16,5 |
| 0,16 | 165 | 16,5 | 100,0 | 0,0 |

Una vez realizado el tamizado de la muestra, los resultados obtenidos se representan en un grafico en el que en ordenadas se colocan en escala decimal los porcentajes que pasan acumulados por cada tamiz y, en abscisas y en escala logarítmica la abertura de los mismos. El utilizar una escala logarítmica tiene por finalidad que la separación entre los diferentes tamices sea la misma dado que estos están, como se ha indicado, en progresión geométrica de razón 2, facilitando de esta forma la representación de las arenas cuya curva granulométrica es muy importante en los hormigones. El [la figura 5.7.1.2](#) se representa la curva granulométrica de la arena de [la tabla 5.7.1.2](#).

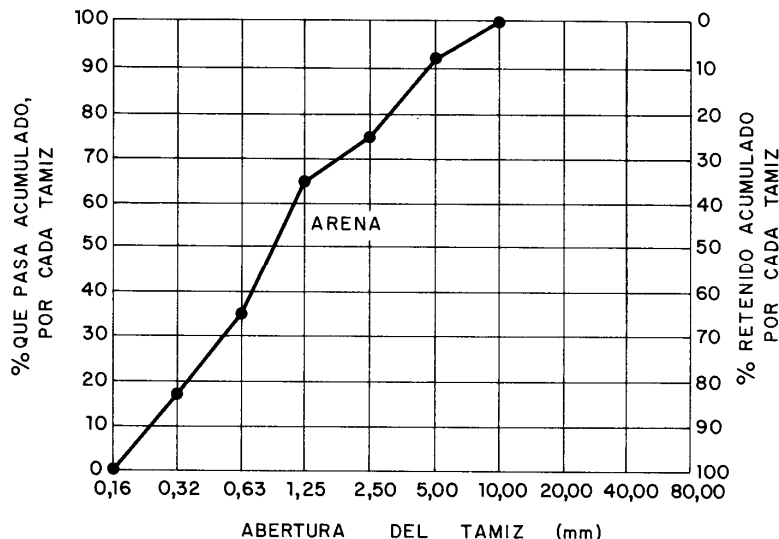


Figura 5.7.1. - Curva granulométrica de una arena.

Las curvas granulométricas además de ser muy útiles para la composición de áridos distintos, tienen la ventaja de permitir identificar rápidamente si estos tienen exceso de fracciones gruesas o finas o la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños.

Cuando en un árido existen fracciones de todos los tamaños comprendidos entre el más pequeño y el mayor del mismo, se dice que el árido posee una "granulometría continua". Si, por el contrario, la continuidad de tamaños desaparece, faltando algunas fracciones, se dice que el árido posee "granulometría discontinua". En la representación grafica de la curva granulométrica, la discontinuidad aparecerá como una línea horizontal que cubre el tamaño inexistente ([Figura 5.7.1.3](#)).

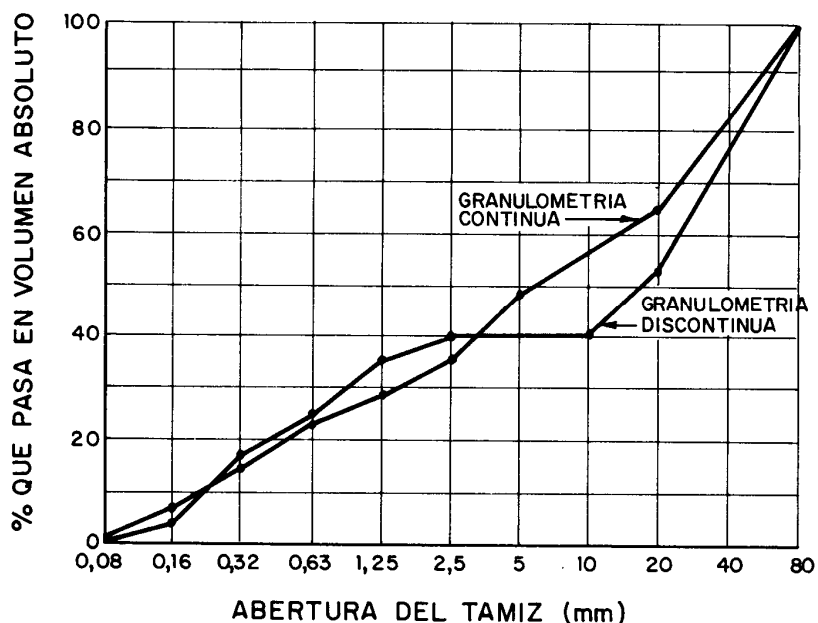


Figura 5.7.1.3.- Granulometrías continua y discontinua

En la figura anterior se puede observar que no hay partículas de tamaños comprendidos entre 2.5 y 10 mm. En este caso, las partículas finas tendrán que rellenar los huecos existentes entre las de 10 y 2.5 mm dando lugar a mezclas mas dóciles que las conseguidas con granulometrías continuas. Sin embargo, estas mezclas presentan mas riesgos de segregación, de aquí que estas granulometrías se recomienden únicamente en mezclas que se compacten mediante vibración y en las que exista un buen control para evitar la segregación

Módulo granulométrico.

Se denomina "modulo granulométrico" a la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie UNE hasta el de abertura máxima dividida por 100.

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ retenidos acumulados serie preferida (hasta malla 0,16 mm)}}{100}$$

De acuerdo con esto, el modulo granulométrico de la arena de la tabla 5.6 será:

$$Mg = \frac{1}{100} (8.0 + 24.0 + 35.0 + 64.0 + 83.5 + 100) = 3.14$$

El modulo granulométrico recibe el nombre de "modulo de finura" o de Abrams cuando se emplea la serie de tamices americana.

El modulo granulométrico cuantifica el área limitada por la curva granulométrica, el eje de ordenadas y la horizontal trazada por la altura del 100 por 100, al emplear la representación semilogarítmica antes indicada.

Este modulo nos da idea del tamaño medio del árido empleado en un hormigón pero, nunca es índice de la granulometría del mismo pues pueden existir infinidad de áridos con el mismo modulo granulométrico, que tengan granulometrías totalmente diferentes. No obstante, es interesante conocer su valor debido a que, todas las mezclas de áridos que poseen el mismo modulo precisan la misma cantidad de agua para producir hormigones de la misma docilidad y resistencia siempre que empleen idéntica cantidad de cemento, y a que, variaciones en el modulo de los áridos indican que ha habido alteraciones en los de una misma procedencia.

Las granulometrías obtenidas por análisis de los áridos disponibles, arenas, gravillas, gravas, etc., indican la distribución por tamaños de las partículas que los componen y permiten determinar en que proporciones se han de mezclar aquellas para obtener una granulometría del árido resultante que se parezca lo mas posible a una curva granulométrica ideal de compactación máxima.

El conseguir, mediante la mezcla de los áridos conocidos, esta aproximación a determinadas curvas tiene por finalidad obtener granulometrías que den lugar a hormigones dóciles y compactables con una cantidad de energía prudencial. Hormigones que serán compactos, de máxima densidad y máxima resistencia, si tenemos en cuenta, de acuerdo con Feret, que la máxima compactación proporciona la máxima resistencia.

La influencia que sobre las resistencias mecánicas tiene la granulometría del árido grueso es prácticamente despreciable, dentro de determinados márgenes, siempre que permanezca fija la relación (Agua/Cemento), la dosificación de conglomerante y la docilidad de la mezcla. Sin embargo, la granulometría de las arenas si tiene una influencia notable que se ejerce a través de su participación en la docilidad del hormigón. La superficie específica de las arenas va a determinar la cantidad de agua necesaria para mojarlas influyendo, por tanto, en la docilidad, en la relación (Agua/Cemento) y en la tendencia a la segregación de las mezclas.

Los áridos deben tener una distribución y porcentaje de tamaños tal, que den lugar al menor número posible de huecos entre ellos con lo cual, las necesidades de pasta de cemento serán menores y al mismo tiempo se impedirá que esta se filtre a través de los huecos cuando se produce la compactación. Esto requiere que la granulometría sea rica en finos de tamaño inferior a 0.32 mm y, tanto más cuanto menos dosificación de cemento se emplee. Los áridos machacados dan lugar a la existencia de un mayor número de huecos entre ellos, a rellenar con arena, que en el caso de áridos rodados.

Es preciso que el árido ocupe un volumen relativo lo mas grande posible debido, en primer lugar, a razones de tipo económico dado que el árido es mas barato que la pasta de cemento y, en segundo, a razones técnicas, puesto que al ser mas grande el volumen de áridos menor será el de pasta con la consiguiente influencia en una menor retracción y fluencia del hormigón.

Por otra parte, al ser los áridos, generalmente, mas resistentes que la pasta, los hormigones deberán ser tanto mas resistentes cuanto mayor volumen relativo ocupen estos en la masa de hormigón, lo que se logra empleando el mayor tamaño posible de árido y haciendo que los huecos existentes entre los granos gruesos sean ocupados por los de tamaño inmediato inferior, y los existentes entre estos lo sean por los siguientes en tamaño y así sucesivamente hasta que las partículas mas finas de la arena terminen por rellenar los últimos huecos existentes.

No obstante, entre las partículas mas finas de la arena aún quedan huecos sin rellenar en los que ha de entrar la pasta de cemento. Pero, esta no solo tiene la misión de relleno de huecos sino que, también tiene que actuar como conglomerante uniendo entre si a los granos del árido, es decir, ha de formar una película que recubre a estos granos para que puedan unirse por contacto unos con otros. El volumen de pasta a introducir para esta nueva misión será tanto mayor, cuanto mas grande sea la superficie específica de estos, siendo, además, mayor cantidad de agua necesaria para el mojado de los granos del árido.

De todas formas, los hormigones en los que se cumplen estas condiciones de relleno de huecos con pasta y creación de película de unión, no son lo mas dóciles siendo preciso para conseguir la máxima docilidad que exista un exceso de pasta sobre la así determinada.

Aunque, existe un gran interés en introducir en la masa del hormigón áridos del mayor tamaño posible, esta no es la única, puesto que con ellos se puede obtener la misma docilidad empleando menor cantidad de agua, con lo cual al reducir la relación (Agua/Cemento) se consiguen incrementos de resistencias. Sin embargo, no siempre es posible, ni a veces conveniente, emplear áridos de gran tamaño, pues, existen limitaciones en la dimensión máxima del árido a emplear.

La superficie específica es muy importante desde el punto de vista de necesidades de agua de mojado de los áridos; esta, para gránulos redondeados es función del diámetro D de los mismos y de su densidad real ρ_r , y viene dada por la expresión:

$$S_e = \frac{6}{\rho_r D}$$

Si en un árido de densidad 2.6 kg/dm³ consideramos un grano de 20 mm de diámetro su superficie específica, deducida por la formula anterior, será de 1.15 cm²/g, mientras que si el grano anterior lo dividimos en granos de 0,16 mm de diámetro, la superficie específica se elevara a 14.2 cm²/g., lo que pone de manifiesto la gran trascendencia que tiene la finura de las partículas del árido.

La cantidad de agua de mojado es directamente proporcional a la superficie específica de los granos y, por tanto, esta en razón inversa al diámetro de los mismos, supuesto granos de diámetro uniforme. Al no ser estos en la realidad de tamaño uniforme la cantidad de agua de mojado puede deducirse de la formula de Bolomey:

$$Q = \frac{130}{\sqrt[3]{D_{\max} \times D_{\min}}}$$

en la que:

Q = Volumen de agua de mojado en $\frac{l}{m^3}$ de árido

D_{\min} = Tamaño mínimo de la fracción del árido considerado, en mm, debiendo ser superior a 0.16 mm.

D_{\max} = Tamaño máximo de la fracción del árido, en mm.

así, para el tamaño comprendido entre 0.16 y 0.32 mm, el agua de mojado será:

$$Q = \frac{130}{\sqrt[3]{0.16 \times 0.32}} = 350 \frac{l}{m^3}$$

Las fórmulas anteriores son válidas solamente para gránulos de forma esférica, sin embargo, lo normal es que estas tengan formas diferentes, en cuyo caso la superficie específica debe determinarse experimentalmente.

En la [tabla 5.7.1.3](#) se da la superficie específica de áridos redondeados, así como el agua de mojado precisa, según el tamaño de los diferentes gránulos que los componen.

Tabla 5.7.1.3.- Superficie específica de áridos redondeados y agua de mojado precisa, según el tamaño de los diferentes gránulos que los componen.

| Diámetro (mm) | Superficie específica (límites, cm ² /g) | Agua de mojado (l/m ³) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 0,16- 0,32 | 144,2-72,1 | 300 |
| 0,32- 0,63 | 72,1-36,6 | 222 |
| 0,63- 1,25 | 36,6-18,4 | 141 |
| 1,25- 2,50 | 18,4-9,2 | 89 |
| 2,50- 5,00 | 9,2-4,6 | 56 |
| 5,00-10,00 | 4,6-2,3 | 35 |
| 10,00-20,00 | 2,3-1,15 | 22 |
| 20,00-40,00 | 1,15-0,57 | 14 |
| 40,00-80,00 | 0,57-0,29 | 9 |
| 80,00-160,00 | 0,29-0,14 | 6 |

La gran importancia que la granulometría de los áridos tiene en el hormigón se pone de manifiesto en la influencia que posee esta sobre la docilidad y por tanto, en la dosificación de cemento y de agua, pero por otra parte, la granulometría afecta a la segregación y exudación de la mezcla, es decir, influye sobre las propiedades del hormigón fresco y sobre las del endurecido a través de su participación en las resistencias, estabilidad de volumen y durabilidad.

No solo es importante que el árido posea una buena granulometría sino que, además, hay que asegurar que ésta permanezca constante en todas las masas puesto que sus variaciones influyen en la docilidad y pueden dar lugar a mayores necesidades de agua con las consiguientes repercusiones en las resistencias.

Granulometría óptimas.

Se denomina "granulometría óptima" a la que, para una misma consistencia y relación (Agua/Cemento), le corresponde un consumo mínimo de cemento, dando, además, el mínimo de segregación. Esta última exigencia no debe ser menospreciada puesto que, mezclas dóciles y que pueden producir hormigones resistentes y económicos pueden dar origen a que estos sean débiles, con coqueas y poco durables si se produce la segregación de los áridos.

En principio, parece que las granulometrías óptimas deberían ser las que dejaran menos huecos o sea, las que diesen la máxima compacidad. Feret, demostró que el mínimo de huecos corresponde a las granulometrías discontinuas, es decir, con falta de tamaños medios. Mas tarde, otro norteamericano, Fuller, demostró que las granulometrías continuas proporcionaban hormigones mas trabajables, con lo cual corrigió las teorías de Feret e hizo que se pasase al empleo de las granulometrías continuas, Bolomey y Otto Graf, llegan mas lejos haciendo intervenir, por primera vez, al cemento como si fuese un árido fino y viendo la relación (Cemento/Árido) que daba lugar a la granulometría óptima. En definitiva, las granulometrías continuas dan lugar a hormigones mas dóciles que las discontinuas requiriendo menos energía de compactación que éstas.

La compacidad de un árido es la relación entre el volumen del mismo y su volumen de conjunto. A mayor compacidad menor volumen de huecos y cantidad de pasta de cemento para rellenarlos. Las granulometrías de compacidad elevada se consiguen con mezclas relativamente pobres en fracciones finas de la arena y muchos gruesos, y que estas requieren poca agua de amasado. Sin embargo, estas granulometrías de elevada compacidad dan masas poco dóciles, que se disgregan con facilidad salvo que se disponga de medios enérgicos adecuados de puesta en obra, consiguiéndose, en estos casos, hormigones muy durables y con poca retracción.

Por otra parte, para que una masa no se disgregue durante el transporte y puesta en obra se requiere que posea un contenido mínimo de finos del que no debe pasarse ya que, un aumento sobre la cantidad óptima de estos disminuye la compacidad del árido y exige aumentar las cantidades de cemento y de agua. Hay que tener en cuenta, también, que los finos de tamaño inferior a 0.25 mm tienen mucha importancia, especialmente, en hormigones bombeados o colocados por canaletas; así como, en los casos en que se requieran hormigones impermeables en paredes finas y muy armadas. Como se deduce de lo anterior, no se puede establecer una curva granulométrica óptima, existiendo, por consiguiente, algunas adecuadas a cada caso concreto y que, por tanto, tienen su propio campo de aplicación.

Dado que la importancia de las arenas es muy grande en los hormigones existen muchas recomendaciones sobre la granulometría óptima de estas, así el Pliego de la Dirección General de Carreteras del MOPU exige que las arenas empleadas en pavimentos de carreteras de hormigón tengan granulometría comprendida dentro del huso o dominio granulométrico de la figura 5.7.1.4.

Los dominios que para arenas empleadas en hormigones estructurales recomiendan los franceses están recogidos en el gráfico de la figura 5.7.1.5, en el que se indica además, los valores límites del módulo granulométrico que corresponde a cada dominio. Se observa que, el módulo granulométrico más conveniente para las arenas es el comprendido entre 2.20 y 2.80.

En el caso en que se empleen aditivos aireantes se puede permitir que el porcentaje de la fracción mas fina de la arena sea algo inferior toda vez que las burbujas de aire actúan como si fuesen finos.

Cuando se dispone de una arena que no se adapta a un dominio determinado, cabe la posibilidad de dividirla en dos o más fracciones y recomponerla mezclando estas fracciones en las proporciones adecuadas para conseguir que la granulometría resultante entre dentro del dominio o huso deseado.

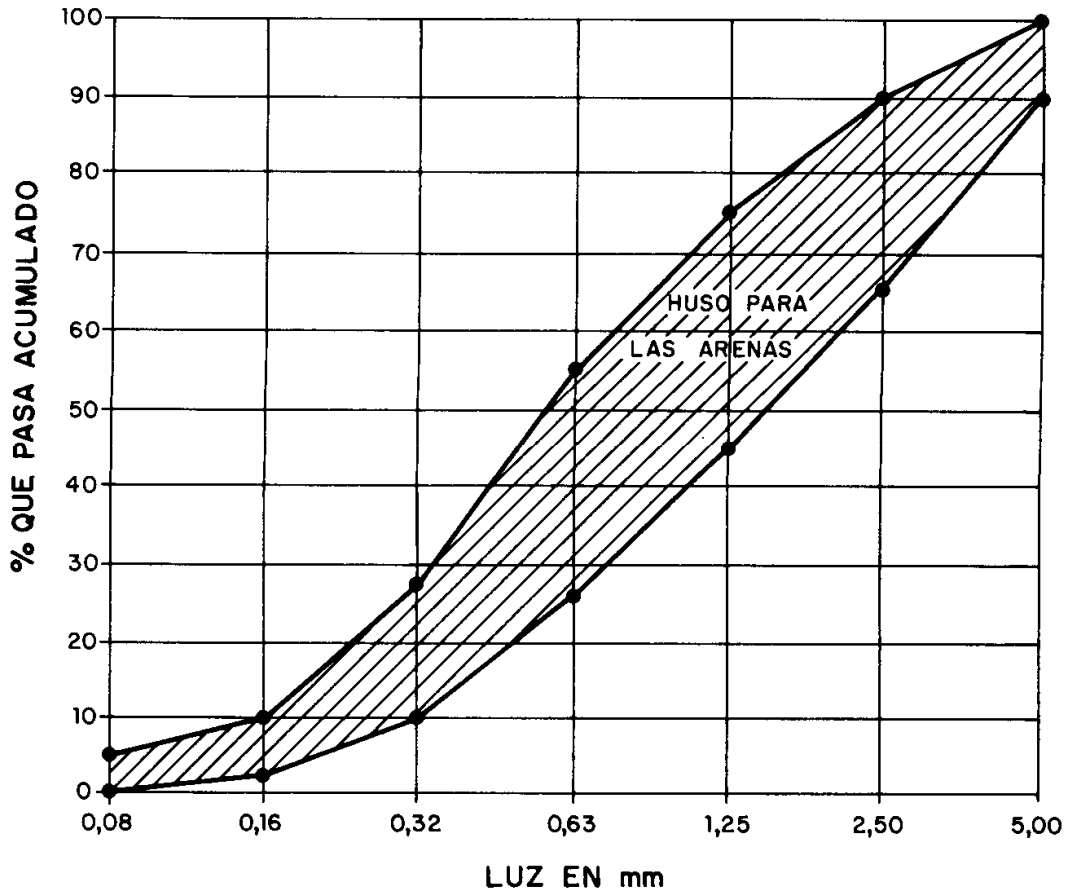


Figura 5.7.1.4.- Huso granulométrico recomendado para arenas de pavimentos de hormigón

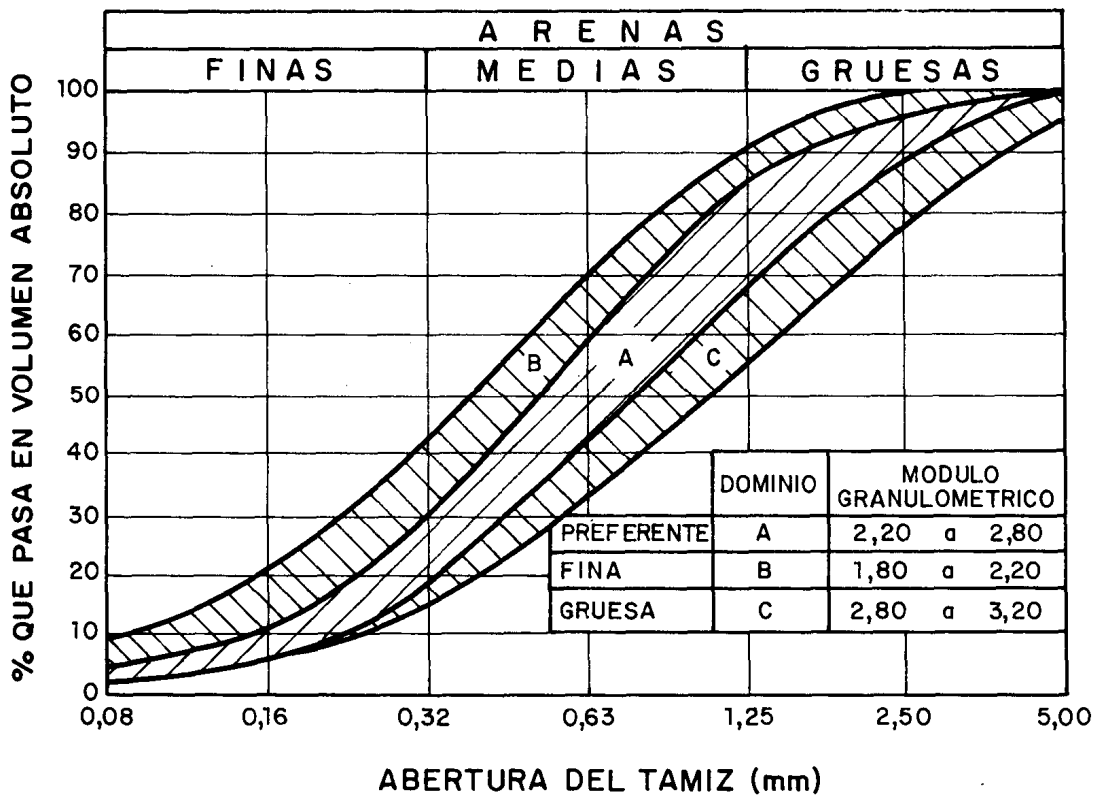


Figura 5.7.1.5.- Dominios granulométricos de arenas recomendados para hormigones estructurales

La cantidad de finos que pasan por el tamiz 0.063 UNE EN 933-2:96, expresada en porcentaje del peso total de la muestra, no excederá los valores de la [tabla 5.7.1.4](#). Lo indicado en el presente apartado para el árido de machaqueo calizo se podrá extender a los áridos procedentes del machaqueo de rocas dolomíticas, siempre que se haya comprobado mediante el examen petrográfico y mediante el ensayo descrito en UNE 146507-2:98 EX (determinación de la reactividad álcali-carbonato) que no presentan reactividad potencial con los álcalis del cemento.

Tabla 5.7.1.4.- Contenido máximo de finos en el árido

| ÁRIDO | PRORCENTAJE MÁXIMO QUE PASA POR EL TAMIZ 0,063 mm | TIPO DE ÁRIDOS |
|--------|---|--|
| Grueso | 1 % | - Áridos redondeados - Áridos de machaqueo no calizos |
| | 2 % | - Áridos de machaqueo calizos |
| Fino | 6 % | - Áridos redondeados - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna clase específica de exposición (1) |
| | 10 % | - Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna clase específica de exposición (1) - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa, IIb, y no sometidas a ninguna clase específica de exposición (1) |
| | 15 % | - Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa, IIb, y no sometidas a ninguna clase específica de exposición (1) |

La curva granulométrica del árido fino deberá estar comprendida dentro del huso definido en la [tabla 5.7.1.5](#). Las arenas que no cumplan con las limitaciones establecidas en este huso podrán utilizarse en hormigones si se justifica experimentalmente que las propiedades relevantes de éstos son, al menos, iguales que las de los hormigones hechos con los mismos componentes, pero sustituyendo la arena por una que cumpla el huso.

Tabla 5.7.1.5.- Huso granulométrico del árido fino.

| Límites | Material retenido acumulado, en % en peso, en los tamices | | | | | | |
|----------|---|------|------|--------|---------|----------|----------|
| | 4 mm | 2 mm | 1 mm | 0,5 mm | 0,25 mm | 0,125 mm | 0,063 mm |
| Superior | 0 | 4 | 16 | 40 | 70 | 82 | (1) |
| Inferior | 20 | 38 | 60 | 82 | 94 | 100 | 100 |

El huso granulométrico así definido se expone en la [figura 5.7.1.6](#).

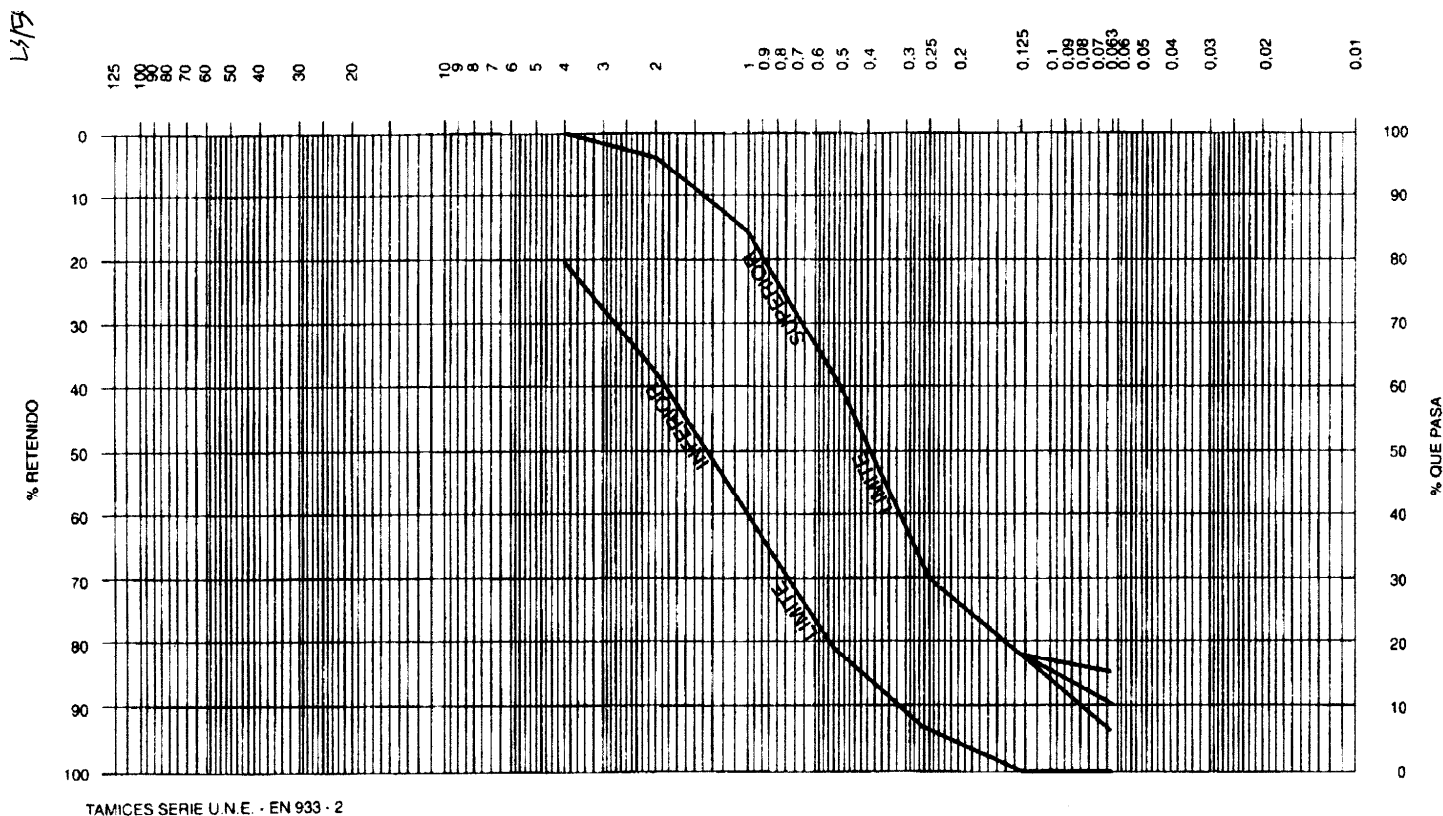


Figura 5.7.1.6.- Curva granulométricas del huso granulométrico del árido fino.

En cuanto a la granulometría de los áridos gruesos, aun siendo importante no lo es tanto como la de las arenas, de aquí que las diferentes normas no den, en general, dominios dentro de los cuales deban encontrarse estos, aunque deban adaptarse, al mezclarlos con las arenas, a las curvas de granulometrías óptimas tomadas como referencia en los métodos de dosificación elegidos. Variaciones de granulometría en las gravas, tienen un efecto muy pequeño en la resistencia del hormigón si se mantienen las proporciones de agua/cemento y la consistencia. Sin embargo, modificaciones en la arena influyen notablemente en la docilidad del hormigón.

La relación árido grueso-arena en un hormigón es muy variable dependiendo del tamaño máximo del árido empleado, de su forma y de la granulometría de la arena, siendo tanto mayor, a igualdad de otros factores, cuanto mayor sea el tamaño del árido considerado, pudiendo oscilar desde el valor 3 para áridos de tamaño máximo de 40 mm, con arenas de buena granulometría, al valor 1,5 para árido de tamaño máximo 10 mm. Si la arena esta falta de finos la relación anterior aumenta y si, por el contrario, tiene finos en exceso la misma puede disminuir.

Cuando se emplean áridos procedentes de machaqueo, la proporción de arena con respecto al árido grueso debe aumentar para compensar la pérdida de docilidad producida por el rozamiento y engarce que se produce entre las partículas del árido grueso como consecuencia de sus formas angulosas y aristas vivas. Este porcentaje de incremento de peso de la arena, a veces supera el 4 por 100 y se resta del contenido de árido grueso.

En muchas ocasiones, en vez de introducir a la curva dentro de un dominio granulométrico, se opta por adaptar, en lo posible, la granulometría de la mezcla de áridos a una curva teórica que se toma por referencia, por ser la óptima desde el punto de vista de compacidad, trabajabilidad o por otras razones.

Una curva de referencia clásica es la de Fuller que obedece a la ecuación:

$$y = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

en la que:

y = Tanto por ciento de árido que pasa por el tamiz

d = diámetro del tamiz

D = tamaño máximo del árido.

La curva esta representada en [la figura 5.7.1.7](#) para un valor de D de 80 mm y en [la tabla 5.7.1.6](#) se indican los valores de y deducidos de la ecuación.

Tabla 5.7.1.6.- los valores de y deducidos de la ecuación.

| Valor de d/D | Valor de y |
|--------------|------------|
| 1 | 100,0 |
| 1/2 | 70,7 |
| 1/4 | 49,9 |
| 1/8 | 35,2 |
| 1/16 | 24,8 |
| 1/32 | 17,5 |
| 1/64 | 12,3 |
| 1/128 | 8,6 |
| 1/256 | 6,0 |
| 1/512 | 4,2 |
| 1/1.024 | 3,0 |

Los módulos granulométricos de las curvas de Fuller correspondientes a diferentes tamaños máximos del árido son los indicados en [la tabla 5.7.1.7](#) .

Tabla 5.7.1.7.- Módulos granulométricos de las curvas de Fuller correspondientes a diferentes tamaños máximos del árido

| Tamaño máx del árido, mm | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Módulo granulométrico | 4,81 | 5,21 | 5,45 | 5,64 | 5,75 | 6,00 | 6,16 | 6,29 | 6,40 | 6,51 | 6,6 | 6,71 |

Otra curva granulométrica de referencia clásica, es la de Bolomey. En esta, se tiene en cuenta el tipo de árido empleado, la consistencia del hormigón, introduciendo, además, la proporción de cemento empleada y que no se tiene en cuenta en la de Fuller. La ecuación de la curva de Bolomey es:

$$y = a + (100 - a) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

siendo:

y = Tanto por ciento en peso del árido que pasa por cada tamiz.

d = Abertura de cada tamiz.

D = tamaño máximo del árido.

El parámetro α es variable de acuerdo con los valores dados en la tabla 5.7.1.8. estando representadas en la figura 5.7.1.7 las curvas de referencia para valores extremos de α .

Tabla 5.7.1.8.- Valores del parámetro α de la ecuación de Bolomey según el tipo de árido y la consistencia del hormigón.

| Tipo de árido | Consistencia del hormigón | Valor de α |
|---------------|---------------------------|-------------------|
| Rodado | Seco-plástica | 10 |
| | Blanda | 11 |
| | Fluida | 12 |
| Machacado | Seco-plástica | 12 |
| | Blanda | 13 |
| | Fluida | 14 |

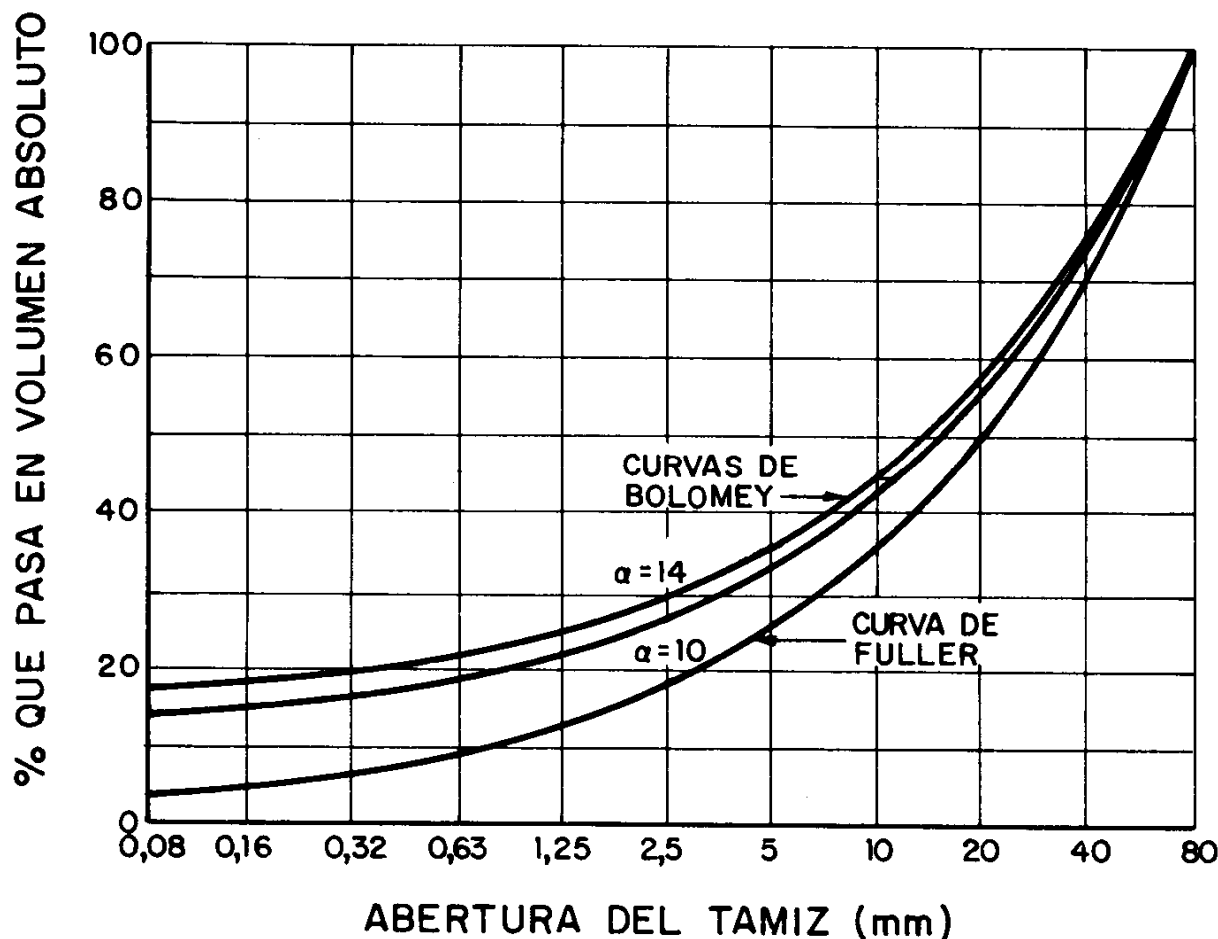


Figura 5.7.1.7.- Curvas granulométricas de referencia de Fuller y de Bolomey

Bolomey, perfecciona el método de Fuller al tener en cuenta la consistencia y la forma de los áridos. Cuanto mayor es la cantidad de cemento, menor será la cantidad de arena necesaria para sustituir el cemento a ésta en sus funciones de dar compacidad y docilidad. En el método de Bolomey, al existir más variación del tamaño de áridos, se adaptan mejor a la curva teórica, dando un hormigón de mayor calidad.

La figura 5.7.1.8 nos muestra como un exceso de agua sobre la prevista en proyecto influye en la consistencia del hormigón y especialmente sobre la resistencia a compresión de este.

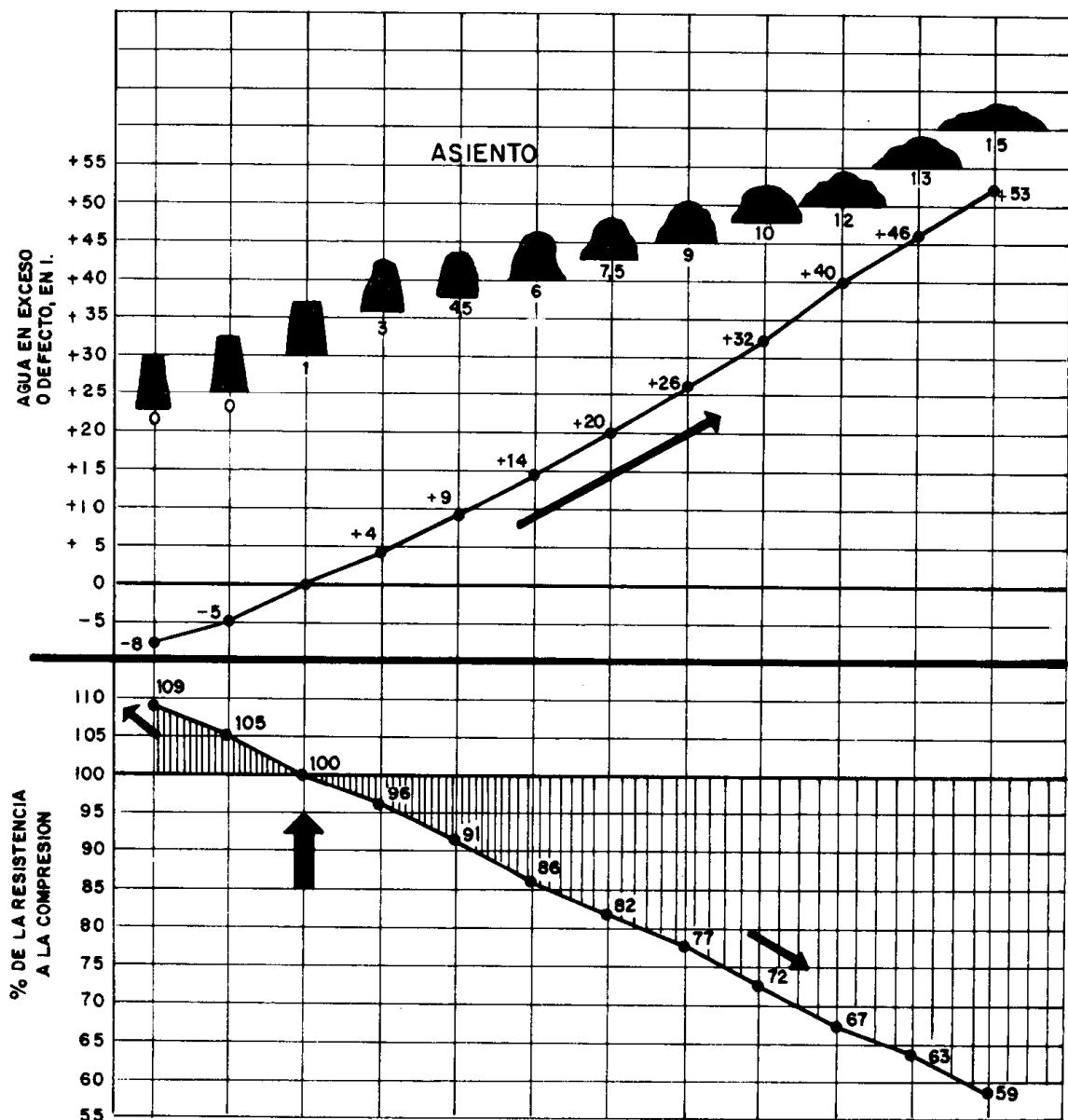


Figura 5.7.1.8.- Influencia de la cantidad de agua de amasado sobre la consistencia del hormigón fresco y sobre la resistencia a compresión del mismo hormigón endurecido.

A efectos de ajuste granulométrico se considera como tamaño máximo del árido, al de la abertura del tamiz más pequeño de la serie utilizada que retenga menos del 25 por 100.

Para considerar que una curva está ajustada, no es necesario que coincidan las proporciones del árido compuesto para cada tamiz con todos los correspondientes a la curva teórica referenciada, si no que basta que, las áreas existentes entre la curva hallada y la teórica o de referenciada, situadas por encima y por debajo de esta coincidan, lo que es índice de que las dos curvas poseen el mismo módulo granulométrico. De todas formas, siempre se debe ajustar lo más posible la zona de la curva correspondiente a las arenas por la importancia que las mismas tienen en las propiedades del hormigón.

La composición de los áridos para que la granulometría de la mezcla se adapte a la curva de referencia, puede realizarse de varias formas; una muy simple, es mediante tanteos y otra más exacta que se fundamenta en los módulos granulométricos o de finura.

5.7.2.- Métodos de dosificación de hormigón.

Método de Fuller.

El método de dosificación de Fuller es uno de los más clásicos y fáciles de aplicar de los que se basan en una dosificación fija de cemento. Su aplicación esta muy indicada en obras de hormigón en las que el tamaño máximo del árido esta comprendido entre 50 ± 20 mm, los áridos son rodados, la cantidad de cemento no es inferior a 300 kg/cm^3 y no existen secciones fuertemente armadas.

Desde el punto de vista de aplicación del método se considera como tamaño máximo del árido al que corresponde al tamiz más pequeño de la serie utilizada que retenga menos del 15 por 100 del peso total del árido. Dado que la composición del árido conjunto no se conoce hasta haber realizado la composición de todas las fracciones del árido y a fin de evitar tanteos se considera como tamaño máximo la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25 por 100 al cribar por él la grava, es decir, el árido de mayor tamaño, no entrando en esta determinación los gránulos de grandes dimensiones.

La cantidad de cemento a introducir en el diseño de la mezcla será la real que se vaya a emplear en la fabricación del hormigón y la de agua se elige de acuerdo con el tipo de árido utilizado, su tamaño máximo y la consistencia que deba tener el hormigón. Si los hormigones han de colocarse mediante bombeo o en secciones estrechas es conveniente emplear consistencia blanda. Si se van a consolidar por vibración la consistencia mas adecuada es la plástica y si estos van a consolidarse con vibración enérgica e incluso compresión, puede emplearse consistencia seca.

En la tabla 5.7.2.1 se dan asientos en cono de Abrams y los escurrimientos en mesa de sacudidas correspondientes a diferentes consistencias.

Tabla 5.7.2.1.- Asientos en cono de Abrams y los escurrimientos en mesa de sacudidas correspondientes a diferentes consistencias.

| Consistencia | Cono de Abrams (cm) | Mesa de sacudidas (cm) |
|--------------|---------------------|------------------------|
| Seca | 0-2 | 0-40 |
| Plástica | 3-5 | 40-70 |
| Blanda | 6-9 | 70-100 |
| Fluida | 10-15 | 100-130 |

La cantidad de agua requerida para áridos con granulometría media en función del tipo de árido y su tamaño máximo, en mezclas con una relación (Agua/Cemento) de 0.57 en peso, y con un asiento de 76 mm en el cono de Abrams esta recogida en la tabla 5.7.2.2.

Tabla 5.7.2.2.- Cantidad de agua requerida para áridos con granulometría media en función del tipo de árido y su tamaño máximo, en mezclas con una relación (Agua/Cemento) de 0.57 en peso y con un asiento de 76 mm.

| Tamaño máximo del árido (mm) | Arido rodado (1/m ³) | Arido machacado (1/m ³) |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 12,7 | 199 | 214 |
| 19,1 | 184 | 199 |
| 25,4 | 178 | 193 |
| 38,1 | 166 | 181 |
| 50,8 | 157 | 172 |
| 76,2 | 148 | 163 |
| 152,4 | 131 | 145 |

Si varían las condiciones anteriores, se modifican los valores de la tabla anterior haciendo las correcciones indicadas en la tabla 5.7.2.3.

Tabla 5.7.2.3.- Modificaciones de los valores de la cantidad de agua requerida dados en la tabla 5.7.2.2

| Cambio de las condiciones del cuadro 7.2 | Modificaciones en la cantidad de agua |
|--|---------------------------------------|
| Por cada 25 mm de aumento o disminución del asiento. | ± 3 por 100 |
| Arenas artificiales con cantos vivos. | + 6,8 litros |
| Hormigones poco trabajables (por ejemplo: pavimentos). | - 3,6 litros |

En el sistema de tanteos en el primer tanteo se toma el tanto por ciento x de la arena que viene dado por el segmento comprendido entre el punto B de intersección de la curva de Fuller con la vertical que pasa por el mayor tamiz que no deja pasar nada del árido grueso y el punto A correspondiente al 100 por 100 de retenido por este tamiz (Figura 5.7.2.1).

Con estos porcentajes se calculan los de la arena correspondientes a cada tamiz y se le suma el correspondiente al árido grueso para ese mismo tamiz, obteniéndose la curva granulométrica correspondiente, la cual se representa, como primer tanteo, en el grafico donde esta la curva granulométrica de la arena y del árido grueso y la parábola de Fuller. De la situación de la curva primer tanteo con respecto a la parábola de Fuller, se deduce si hay una falta de arena o de árido grueso y una descompensación de áreas con predominio de la situada por debajo o por encima de la curva de referencia.

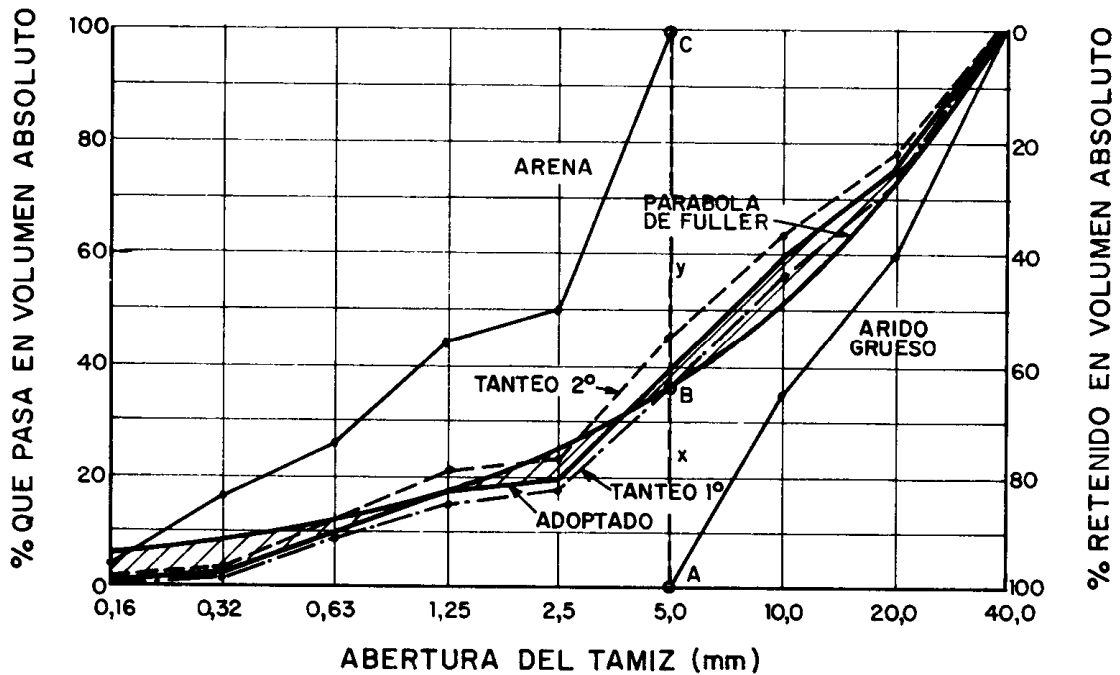


Figura 5.7.2.1.- Ajuste granulométrico a la curva de Fuller

En el caso de que exista una descompensación de áreas con predominio de la situada por debajo de la curva de referencia, se hace un nuevo tanteo tomando un tanto por ciento de arena mayor y se repite el proceso hasta que existe una buena compensación de áreas entre las curvas granulométricas del árido compuesto y la de Fuller, adoptándose, por tanto, estos nuevos porcentajes.

El sistema de los módulos granulométricos es más exacto que el anterior. Si se considera que el árido está fraccionado en n tamaños y se designan por $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ los módulos granulométricos de cada fracción y por $m_{t_2}, m_{t_3}, \dots, m_{t_n}$ los módulos granulométricos de las curvas de Fuller cuyos tamaños máximos coinciden con los de las fracciones 2, 3, ... n . Llamando $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ a los tantos por ciento que hay que tomar para que la granulometría de la mezcla se ajuste a la curva de referencia, se tendrá el siguiente sistema de n ecuaciones con n incógnitas:

$$t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

$$m_{t_2} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{t_1 + t_2}$$

$$m_{t_3} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

.....

$$m_m = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3 + \dots + m_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

En el caso de emplear dos fracciones de áridos la resolución del sistema anterior nos da:

$$t_1 = \frac{m_2 - m_{t2}}{m_2 - m_1} 100$$

$$t_2 = 100 - t_1$$

y si las fracciones son tres:

$$t_1 = (t_1 + t_2) \frac{m_2 - m_{t2}}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = (t_1 + t_2) - t_1$$

$$t_3 = 100 - (t_1 + t_2)$$

siendo:

$$t_1 + t_2 = \frac{m_3 - m_{t3}}{m_3 - m_{t2}} 100$$

Para obtener la dosificación por metro cúbico, una vez hallada la proporción en que hay que mezclar a las distintas fracciones de los áridos, hay que tener en cuenta que el volumen de la pasta del cemento es menor que la suma de los volúmenes del cemento y del agua que la forman, por lo que para obtener un metro cúbico de hormigón endurecido hay que emplear 1025 dm³ de componentes. De este volumen hay que deducir el volumen relativo del cemento, más el de agua necesaria para obtener con los áridos disponibles la consistencia requerida. El volumen resultante se divide proporcionalmente a los porcentajes obtenidos de la mezcla de áridos

Método de Bolomey.

Este método puede considerarse como un perfeccionamiento del de Fuller, siendo muy útil para el diseño de hormigones en masa de los que se conoce la cantidad de cemento a emplear, el tipo, granulometría y tamaño máximo del árido a utilizar y el sistema de compactación que se va a usar.

A efectos de aplicación de este método se considera, al igual que en el método de Fuller, como tamaño máximo del árido al correspondiente al tamiz mas pequeño de la serie empleada que retenga menos del 15 por 100 del peso total del árido.

Las curvas granulométricas de referencia empleadas obedecen a la ecuación:

$$y = a + (100 - a) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Los valores de y para cada valor de a , en función de la relación $\frac{d}{D}$ se recogen en la tabla 5.7.2.4.

Tabla 5.7.2.4.- Valores de y, de la ecuación de Bolomey, para cada valor de a, en función de la relación $\frac{d}{D}$

| d/D | a=10 | a=11 | a=12 | a=13 | a=14 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 1/2 | 73,6 | 73,9 | 74,2 | 74,5 | 74,8 |
| 1/4 | 55,0 | 55,0 | 56,0 | 56,5 | 57,0 |
| 1/8 | 41,8 | 42,5 | 43,1 | 43,8 | 44,4 |
| 1/16 | 32,5 | 33,3 | 34,0 | 34,8 | 35,5 |
| 1/32 | 25,9 | 26,7 | 27,6 | 28,4 | 29,2 |
| 1/64 | 21,3 | 22,1 | 23,0 | 23,9 | 24,8 |
| 1/128 | 18,3 | 19,2 | 20,1 | 21,0 | 21,9 |
| 1/256 | 15,6 | 16,6 | 17,5 | 18,4 | 19,4 |
| 1/512 | 14,0 | 14,4 | 15,9 | 16,8 | 17,8 |
| 1/1024 | 12,8 | 13,8 | 14,8 | 15,7 | 16,7 |

Al igual que en el método de Fuller, para realizar el ajuste granulométrico de la mezcla de los áridos a la curva tomada como referencia, puede emplearse un sistema de tanteos o uno teórico que se basa en los módulos granulométricos

El método de tanteos se ha visto al estudiar el método de Fuller.

El método de los módulos granulométricos es más exacto que el de tanteos. En él se considera que el porcentaje de cemento que entra en la composición del hormigón viene dado por:

$$t_0 = \frac{\frac{\text{Peso..de..cemento..por..m}^3}{\text{Densidad..real..del..cemento}}}{\text{Volumen..total..de..componentes..en..m}^3 - \text{Volumen..de..agua..por..m}^3}$$

Se supone que el árido está fraccionado en n + 1 tamaños y se designan por $m_0, m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ los módulos granulométricos de cada fracción y por $m_{t1}, m_{t2}, m_{t3}, \dots, m_{tn}$ a los módulos granulométricos de las curvas de Bolomey cuyos tamaños máximos coinciden con los de las fracciones 1, 2, 3, ... n. Llamando $t_0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ a los tantos por ciento que hay que tomar para que la granulometría de la mezcla se ajuste a la curva de referencia, se tendrá el siguiente sistema de n ecuaciones con n incógnitas:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

$$m_{t1} = \frac{m_0 t_0 + m_1 t_1}{t_0 + t_1}$$

$$m_{t2} = \frac{m_0 t_0 + m_1 t_1 + m_2 t_2}{t_0 + t_1 + t_2}$$

$$m_{tn} = \frac{m_0 t_0 + m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3 + \dots + m_n t_n}{t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

del cual se puede determinar los porcentajes de cada fracción del árido.

Los módulos granulométricos $m_{t_1}, m_{t_2}, m_{t_3}, \dots, m_{t_n}$, no son los correspondientes a las curvas de Bolomey para cada tamaño máximo de la fracción de árido considerado, sino los modificados, de forma que si llamamos C_n a la curva de Bolomey para el tamaño máximo del árido n , la curva C_{n-1} para el árido de tamaño $n - 1$ se deducirá tomando los $\frac{100}{m}$ de las ordenadas sobre los mismos tamaños de la curva C_n , siendo m , la ordenada correspondiente al tamaño $n - 1$, así sucesivamente se procederá para las ordenadas de las curvas C_{n-2} , correspondientes al tamaño máximo del árido $n-2$.

En el caso en que el árido tenga dos fracciones y teniendo en cuenta, como anteriormente se ha indicado, que el módulo granulométrico del cemento $m_0 = 0$, se deducirán las ecuaciones:

$$t_1 = \frac{100(m_2 - m_{t_2}) - t_0 m_2}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = 100 - (t_0 - t_1)$$

En el caso de tres áridos, los tantos por ciento de los mismos vendrán dados por:

$$t_1 = \frac{(t_0 + t_1 + t_2)(m_2 - m_{t_2}) - t_0 m_2}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = (t_0 + t_1 + t_2) - (t_0 + t_1)$$

$$t_3 = 100 - (t_0 + t_1 + t_2)$$

siendo:

$$(t_0 + t_1 + t_2) = 100 \frac{m_3 - m_{t_3}}{m_3 - m_{t_2}}$$

La dosificación por metro cúbico de hormigón se determinara sabiendo que, al igual que ocurre en los otros métodos, al ser el volumen de la pasta de cemento menor que la suma de los volúmenes de cemento mas agua, es preciso mezclar 1025 dm^3 de componentes.

El agua precisa para obtener el hormigón de la consistencia deseada se determina restando a los 1025 dm^3 la suma de los volúmenes relativos de cemento y de las distintas fracciones de los áridos.

La cantidad de agua se halla por medio de las tablas 5.7.2.2 y 5.7.2.3.

5.8.-ÁRIDOS PARA INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA.

5.8.1.- INTRODUCCION.

La utilización de los áridos en la infraestructura ferroviaria, aparece en tres capas y del siguiente modo:

Plataforma: Capa de forma.

Capas de asiento: Subbalasto y Balasto.

La figura 5.8.1.1 representa esquemáticamente la disposición mencionada del árido.

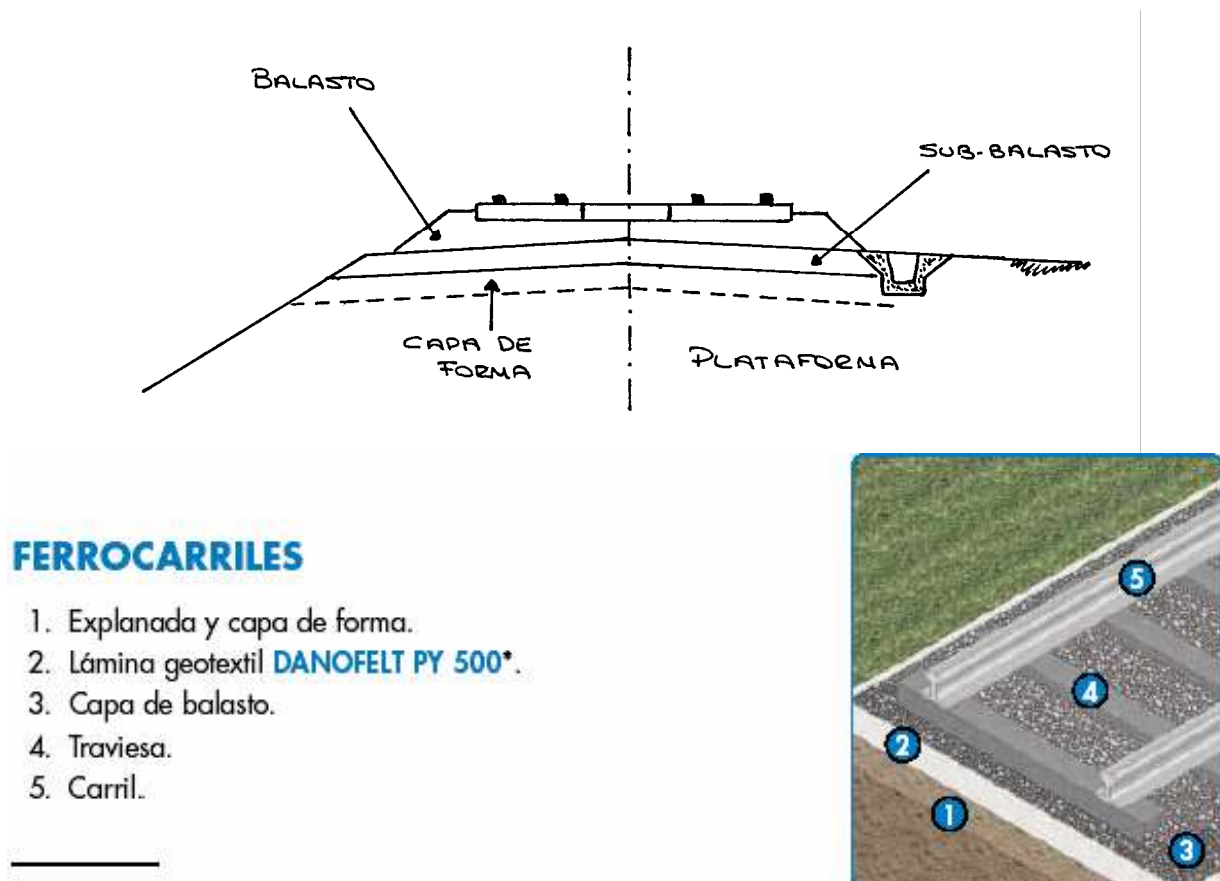


Figura 5.8.1.1.- Esquema de disposición del árido en una infraestructura ferroviaria.

5.8.2.- Balasto. Definición y características.

Se conoce como balasto el material granular formado por elementos resistentes de distintos tamaños (grava o piedra machacada) que, formando una capa, se extiende sobre la explanación de una vía férrea para asentar sobre ella y sujetar las traviesas que soportan los rieles o carriles. Su objetivo es, además, proporcionar una base drenante lo suficientemente estable como para mantener la alineación de la vía con un mínimo de mantenimiento. Constituye una parte débil de la estructura de la vía férrea, y tiene, en concreto, las siguientes funciones:

- 1.- Amortiguar las acciones que ejercen los vehículos sobre la vía al transmitirlas a la plataforma.
- 2.- Repartir uniformemente estas acciones sobre dicha plataforma.
- 3.- Evitar el desplazamiento de la vía, estabilizándola en dirección vertical, longitudinal y transversal.
- 4.- Facilitar la evacuación de las aguas de lluvia.
- 5.- Proteger los suelos de la plataforma contra la acción de las heladas.
- 6.- Permitir la recuperación de la geometría de la vía mediante operaciones de alineación y nivelación.

Para este uso concreto, se requieren rocas resistentes al desgaste por abrasión y al ataque químico, para poder resistir el desgaste y la degradación resultado del efecto de martilleo producido por el tráfico ferroviario.

Requisitos:

- Disponer de la elasticidad suficiente para absorber las acciones y repartir las cargas.
- Tener la suficiente resistencia para impedir el desplazamiento horizontal de la vía.
- Proporcionar los huecos suficientes, sin merma de elasticidad para evacuar las aguas.
- Tener estabilidad física ante el agua y el hielo.
- Ser fácilmente bateable mecánicamente para soportar las cargas elásticamente y recuperar su geometría.

Se entiende por bateo, la operación de introducir el balasto bajo las traviesas con un medio de consolidación adecuada.

Tipos de ensayo a realizar.

- De identificación: Naturaleza, textura y estructura de la roca original.
- De clasificación: Resistencia a compresión simple.
- Estabilidad: Resistencia al choque, desgaste, helada, granulometría y geometría de los granos de balasto.

La tabla 5.8.2.1 clasifica el tipo de balasto según su naturaleza al someterlo ante una carga de 7000 toneladas.

Tabla 5.8.2.1.- Tipo de balasto según su naturaleza al someterlo ante una carga de 7.000 toneladas.

| TIPO DE ROCA | DEFOR. PLÁSTICA | TIPO BALASTO |
|--------------|-----------------|--------------|
| SILICEAS | 0,025 % | A |
| CALIZAS | 0,050 % | B |

Resistencia a compresión simple:

Se realiza sobre probetas cilíndricas normalmente de altura 10 cm. y diámetro 5. Deben adoptar los siguientes valores:

- Balasto tipo A > 1.200 Kgf/cm²
- Balasto tipo B < 1.000 Kgf/cm²

Resistencia al desgaste:

A medida que aumenta el desgaste, disminuye la elasticidad y permeabilidad. Renfe exige los siguientes coeficientes de Los Angeles:

- Balasto tipo A < 19 % .
- Balasto tipo B < 22 % .

El ensayo viene reflejado en las normas NLT 149/72 y UNE 83.116.

Resistencia a la helada:

Depende de la porosidad de la roca original. Si la absorción es mayor de 1.5 % en peso se debe RECHAZAR.

El ensayo se recoge en la norma NLT 158J72.

Composición granulométrica:

Se deben obtener las mejores condiciones para garantizar:

- Fácil bateo mecánico.
- Buen asiento de las traviesas.
- Obtener una banqueta elástica.
- Asegurar la estabilidad horizontal de la vía.

El mejor balasto se compone con la siguiente relación:

$$\frac{D_{MAX}}{D_{MIN}} = 2$$

La figura 5.8.2.1 muestra los husos recomendados para el balasto.

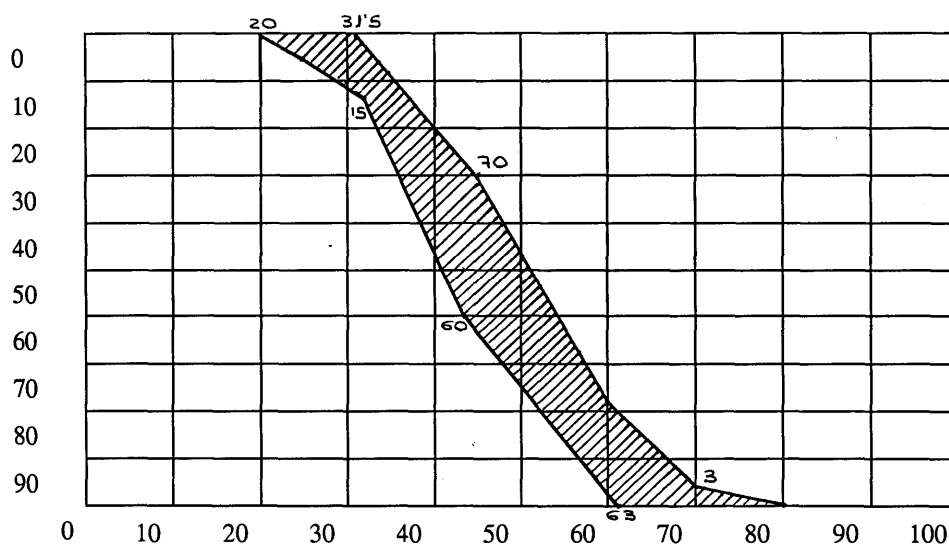


Figura 5.8.2.1.- Huso de la distribución granulométrica del balasto.

Diámetros máximos < 80 mm ofrecen buen asiento.

$20 < D_{max} < 60$ m facilitan el bateo.

$25 < D_{max} < 60$ mm garantizan la estabilidad vertical y horizontal.

A mayor tamaño se obtiene mayor estabilidad y deformación plástica

Forma de los elementos del balasto:

La forma ideal es la cúbica o poliédrica, presentando superficies de fractura de aristas vivas.

5.8.3.- Sub - balasto.

Es la capa superior de la plataforma sobre la que apoya el balasto. Se utiliza también en paseos laterales a lo largo del trazado.

Los materiales que lo componen deben ser al menos en un 30 % piedra de machaqueo.

La granulometría general debe estar en el huso que se representa en la figura 5.8.3.1.

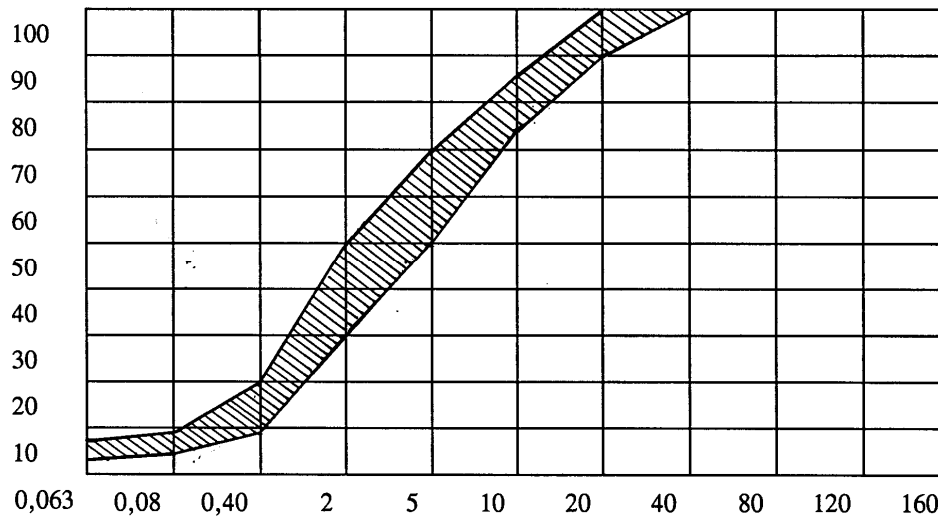


Figura 5.8.3.1.- Huso de la distribución granulométrica del sub - balasto.

En cuanto al desgaste, C.A. < 28 %. La compactación debe ser del 103 % del Proctor Normal.

5.8.4.- Capa de forma.

Es la parte superior del terraplén o relleno sobre la que apoya el sub - balasto, presentando la pendiente transversal y espesor suficientes para su finalidad.

Los materiales a emplear deben cumplir las mismas exigencias que los materiales utilizados en relleno:

- No contener materia vegetal ni orgánica.
- El tamaño máximo no será mayor de 10 cm. y los finos que pasan por el 0,08UNE serán < 5 %.
- Procederán de rocas de machaqueo con C.A. < 30 y C.B.R. > 10.
- La compactación será del 100 % del Proctor Normal.
- El módulo de deformación en recarga en ensayo de placa, será > 800Kgf/cm².

5.9.- ÁRIDOS PARA MEZCLAS BITUMINOSAS.

4.9.1.- Definición.

Las mezclas bituminosas están formadas por un árido y un producto bituminoso que actúa como hidratante.

Estas mezclas, dependiendo del contenido de huecos que presenten, se clasifican en:

Abiertas: Los huecos están presentes entre el 6 al 16%.

Cerradas: El porcentaje de huecos es < del 6%.

5.9.2.- Función de los áridos en las mezclas bituminosas.

La función primordial de los áridos en las mezclas bituminosas es la de actuar como esqueleto resistente para repartir y transmitir las cargas al resto del firme. Mientras el ligante, aportará fundamentalmente la cohesión entre estos áridos y dará impermeabilidad al firme.

5.9.3.- Características de los áridos para mezclas bituminosas.

Los áridos empleados en mezclas bituminosas deben ser sólidos, resistentes, uniformes y exentos de polvo, suciedad u otras materias extrañas.

En cuanto a su granulometría, son variadas y los husos de aplicación aparecen en las tablas del PG-3, no obstante destacamos los siguientes datos:

- El árido grueso será $>$ de 2,5 mm.
- El árido fino estará comprendido entre $<$ 2,5 mm. y $>$ 0.08 mm.
- El filler es la fracción que pasa por el tamiz de 74 micras.

Respecto al coeficiente de forma, al menos el 75 % de los áridos presentarán dos o más caras de fractura.

El índice de lajas deberá cumplir:

$$\begin{aligned} \text{Laja} &\rightarrow d_{\min} < (3/5)d_{\text{med}} \\ \text{Aguja} &\rightarrow d_{\text{med}} > (9/5)d_{\text{ms}} \end{aligned}$$

En cuanto a la calidad del árido, esta se mide por el ensayo de Los Angeles, que será inferior a 25.

Este ensayo caracteriza la dureza, friabilidad y resistencia al desgaste.

Respecto de la adhesividad, es la propiedad para que el ligante "moje" el árido al ser éste empleado en obra.

Intervienen básicamente dos tipos de factores:

- Físicos: Textura y porosidad del árido, viscosidad y tensión superficial del ligante.
- Químicos: Los condicionantes propios que tengan tanto el ligante como el árido.

En general, el árido cubierto por el ligante deberá ser superior al 75 %, no quedando en ningún caso descubierto más del 15 %.

La textura superficial del árido influye en el rozamiento interno del esqueleto del mismo y en la resistencia al deslizamiento de los neumáticos. Por ello, es importante que el árido presente una determinada rugosidad en su textura superficial.

Para determinar dicha característica, se realiza el ensayo de "pulimento acelerado" NLT-174/72 y NLT-175/72.

Respecto de la inalterabilidad del árido, se determina realizando ensayos de heladicidad, en el que juega un papel importantísimo el coeficiente de absorción, así como ensayos para la determinación de sulfatos.

Este último ensayo, se realiza sometiendo a la acción de sulfatos durante 5 ciclos, debiendo dar los siguientes valores de pérdida máxima:

$$\begin{aligned} &< 12\% \text{ en peso al } \text{SO}_4\text{Na}_2. \\ &< 18 \% \text{ en peso al } \text{SO}_4\text{Mg}. \end{aligned}$$

6.- ROCAS EN CONSTRUCCIÓN.

6.1.- INTRODUCCIÓN. DEFINICION Y TIPOS DE ROCAS ORNAMENTALES...

Aunque la utilización de la Piedra Natural por el hombre en todo el mundo tiene una larga historia, su consideración como actividad industrial es todavía muy reciente. En España, fue a partir de los años 60 cuando comenzó a convertirse en un importante sector de la industria minera, alcanzando el mayor desarrollo en la década de los 80, con una gran velocidad de crecimiento.

Se puede definir la roca de construcción (producto industrial), a aquellas rocas que después de un proceso de elaboración son aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario y escultórico, objetos artísticos y variados, conservando íntegramente su composición, textura y características físico-químicas.

Las Piedras Naturales, de mayor interés comercial y económico, son aquellas que por sus características de vistosidad (Figura 6.1.1), físico-mecánicas y aptitud para el pulido, en el caso de la pizarra se considera la facilidad para el lajado, constituyen la materia prima que ha dado lugar al desarrollo de la llamada Industria de la Piedra Natural. Atendiendo a estos criterios se conocen mundialmente los tres grupos denominados genéricamente Granitos, Mármoles y Pizarras, también llamadas Rocas Ornamentales por el valor estético que normalmente lleva aparejado su empleo.

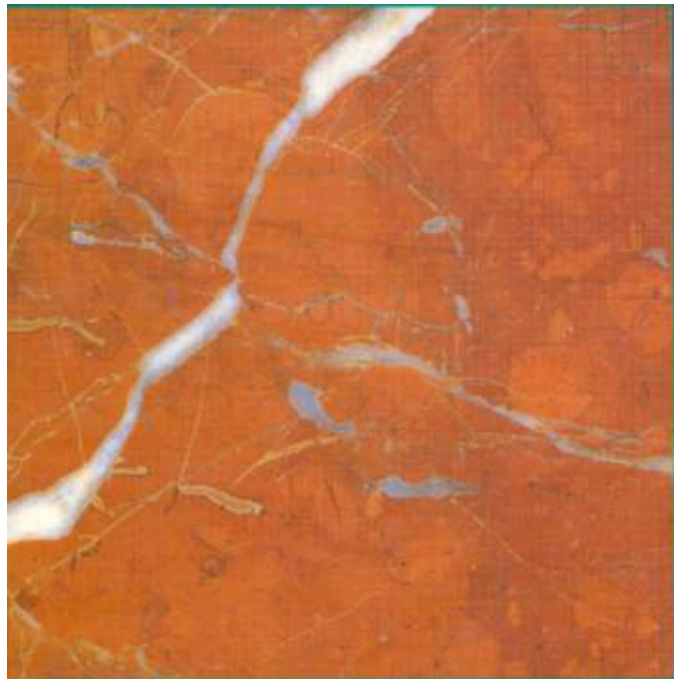
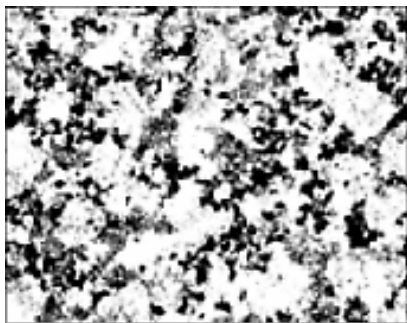
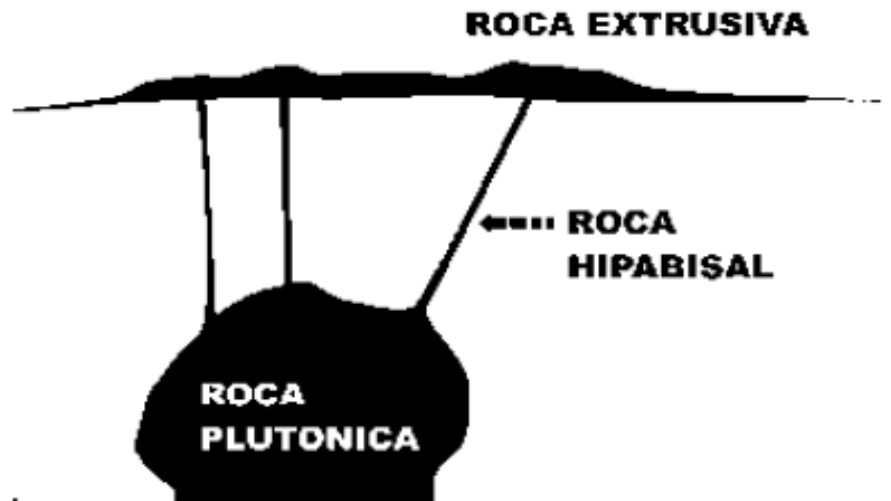


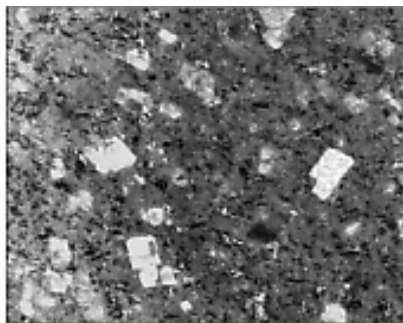
Figura 6.1.1.- Macroestructura de una piedra natural.

Granitos. (UNE.22.170-85). Se entiende por granito ornamental el conjunto de rocas ígneas compuestas por diversos minerales (fundamentalmente por cristales de cuarzo, feldespatos y micas, en distintas proporciones que contribuyen a su clasificación, y que le confieren una textura granuda (Figura 6.1.2)), que se explotan en forma de bloques de naturaleza coherente y que se utilizan en la construcción para decoración, es decir, aprovechan sus cualidades estéticas, una vez elaboradas, con procedimientos tales como aserrado, pulido, tallado, esculpido, etc. Suelen ser muy homogéneos, de gran dureza y resistencia a las alteraciones. El granito cristaliza a partir de magma enfriado muy lentamente. Es más duro que el mármol y las calizas, lo que dificulta mucho la extracción y posterior transformación.

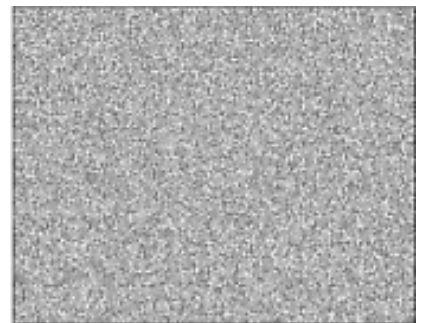
Esta denominación incluye, además del granito propiamente dicho en sus distintas variedades, pegmatitas, granodioritas, monzonitas, tonalitas, dioritas y gneises.



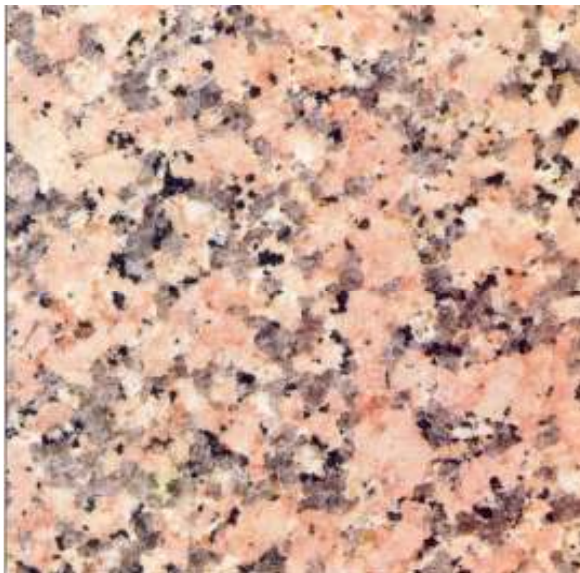
Textura **GRANUDA**
PLUTONICA



Textura **PORFIRICA**
HIPABISAL



Textura **AFANITICA**
EXTRUSIVA



Rosa Porriño



Gris perla

Figura 6.1.2.-Textura de las rocas ígneas

(a).- Rocas intrusivas (o plutónicas): cristalizadas lentamente en profundidad. El descenso muy gradual de la temperatura permite que los minerales se desarrollen, obteniéndose texturas granudas.

(b).- Rocas hipabisales (o filonianas): cristalizadas a profundidad intermedia, en filones, diques, sills, apófisis, etc. Suelen "heredar" algunos cristales de mayor tamaño de la cámara magmática, los que quedan inmersos en una matriz de grano fino. La textura resultante es la porfírica.

(c).- Rocas efusivas (o volcánicas): cristalizadas en superficie, bajo condiciones de presión atmosférica. Las bajas temperaturas impiden el desarrollo de cristales de tamaño visible, y las condiciones de presión habilitan la desgasificación, responsable en el caso de los basaltos de los niveles vesiculares o vacuolares superiores.

Mármoles y calizas marmóreas. (UNE.22.180-85). Esta definición es aplicable al conjunto de rocas constituidas fundamentalmente por minerales carbonatados de dureza 3-4 (calcita, dolomita, etc.). Esta denominación incluye los mármoles propiamente dichos, que son rocas metamórficas compuestas esencialmente de calcita o de dolomita. Es una roca compacta formada a partir de rocas calizas que, sometidas a elevadas temperaturas y presiones alcanzan un alto grado de cristalización. El componente básico del Mármol es el carbonato cálcico cuyo contenido supera el 90%, los demás componentes son considerados impurezas, siendo estas las que nos dan gran variedad de colores en los mármoles, y definen su características físicas (Figura 6.1.3). Tras un proceso de pulido por abrasión el mármol alcanza alto nivel de brillo natural, es decir sin ceras ni componentes químicos

Las calizas denominadas marmóreas son rocas carbonatadas, frecuentemente recristalizadas, compactas, de grano fino, normalmente con vetas de calcita e impurezas que proporcionan colores variados y, a veces, con inclusión de fósiles.

El travertino es una roca calcárea sedimentaria de depósito químico con estructura vacuolar, marcadamente laminada. Las serpentinas, aunque no son rocas carbonatadas, ya que proceden del metamorfismo de rocas básicas y ultrabásicas, se consideran tradicionalmente dentro de este grupo, hasta el punto que se les llega a conocer por mármol verde.

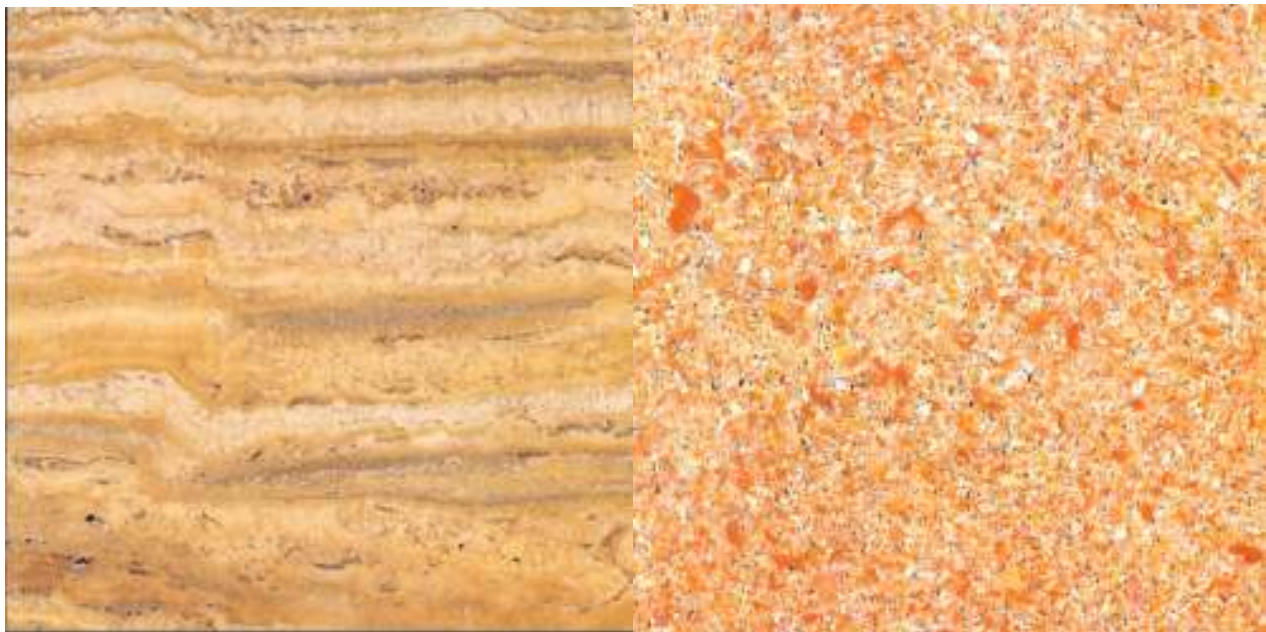


Figura 6.1.3.- Mármol de diversos colores.

Pizarras. (UNE.22.190-85). Los elementos tabulares de pizarras son fragmentos de roca cuyas principales caras son esquistosidad natural de este tipo de rocas. La utilización fundamental de la pizarra es la de cubierta exterior de tejados.

Las pizarras son rocas metamórficas, por lo general, de grano fino, cuya propiedad principal es que poseen unos planos de foliación muy desarrollados, debida a la orientación planar de sus minerales principales, que constituye la esquistosidad,. Esto permite, que mediante procesos manuales de hienda o exfoliación a favor de estos planos, se puedan obtener placas de espesores milimetricos y de caras muy lisas.

Estas rocas, proceden de sedimentos o rocas arcillosas preexistentes, que posteriormente fueron afectadas por movimientos orogenicos, que aportaron presiones y temperaturas en un regimen de metamorfismo de muy bajo grado y las transformo en el estado y forma que presentan actualmente.

La textura predominante en estas rocas es la lepidoblastica, observandose una masa de minerales filitosos con una orientacion paralela muy definida. A veces destacan algunos agregados minerales de mayor grosor dispersos en la matriz mayoritaria de grano fino.

Los minerales principales que componen estas rocas son: el cuarzo, la sericita, la clorita, asi como illita-clorita interestratificada.

Tambien es frecuente, que aparezcan como elementos accesorios, ciertos oxidos y sulfuros de hierro, minerales arcillosos, carbonatos, materia carbonosa, circon, turmalina, apatito, etc...

La pizarra suele ser de color negro azulado o negro grisáceo, pero existen variedades rojas, verdes y otros tonos (Figura 6.1.4). Debido a su impermeabilidad, la pizarra se utiliza en la construcción de tejados, como piedra de pavimentación e incluso para fabricación de elementos decorativos



Figura 6.1.4.- Pizarra de diversos colores.

Cuando el proceso metamórfico se produce bajo condiciones de presiones dirigidas y existen minerales que puedan desarrollar un hábito planar o prismático, éstos suelen crecer orientados, disponiéndose perpendiculares a la dirección desde la que se ejercen las presiones máximas (Figura 6.1.5).

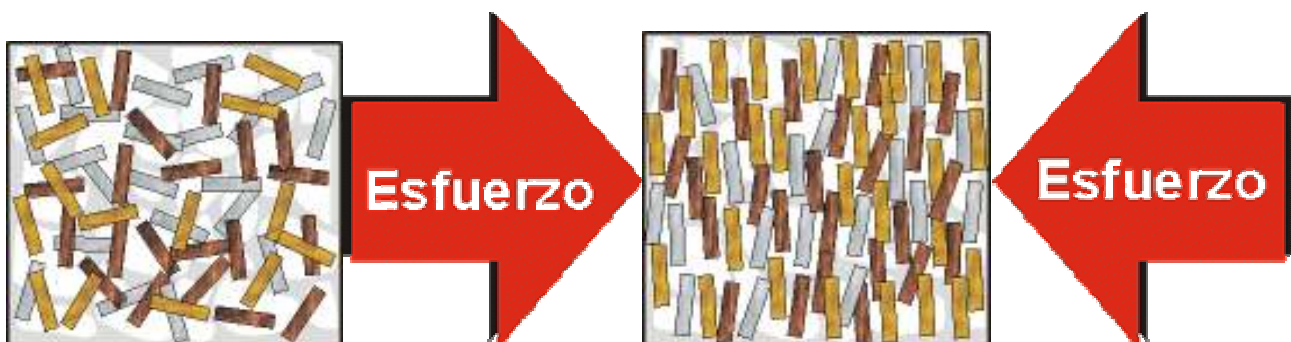


Figura 6.1.5.- Orientación de los minerales perpendicularmente a la dirección desde la que se ejerce la presión.

Se desarrolla una fábrica planar en la roca denominada foliación y las rocas suelen fracturarse siguiendo los planos de foliación.

Además de las rocas ya definidas, granitos, mármoles y pizarras, en las que se han incluido rocas de carácter bastante heterogéneo, existen otras tales como areniscas, calizas no pulimentables, cuarcitas, basaltos, alabastro, etc. La mayor parte se dedican a trabajos de cantería y se emplean en proyectos urbanos que siguen tradiciones locales y con presencia destacada en el patrimonio histórico artístico. También se emplean algunas en figuras, tallas y otros elementos decorativos.

Si bien su importancia económica es inferior a las más representativas mencionadas anteriormente, su comercialización va adquiriendo importancia, incluso en el comercio internacional.

Aunque estos tipos de rocas normalmente no adquieren brillo mediante pulimento, sí son susceptibles de otro tipo de acabado superficial como abujardado, escarfilado, flameado, etc.

En resumen, la división comercial más comúnmente aceptada de esta industria es la siguiente:

- Mármoles, calizas marmóreas y similares.
- Granitos y similares.
- Pizarras.
- Otras piedras (areniscas, cuarcitas, alabastros, etc.).

Esta clasificación no es estricta y puede variar según la importancia de las piedras naturales de cada país. Así, en Noruega los esquistos y las cuarcitas forman un sector diferenciado.

En función del grado de elaboración los productos de la piedra natural se clasifican en los siguientes grupos:

- (a).- Material bruto.
 - Bloques de forma regular e irregular o bolos.
- (b).- Material semielaborado.
 - Bloques escuadrados. Dimensiones: longitud: 1.9 – 3.3 m fondo: 1-1.5 m altura: 1.2 m.
 - Tabla. Pulida por una cara o sin pulir de 2 ó 3 cm de espesor.
- (c).- Material elaborado.
 - Revestimiento de fachadas de dimensiones y acabados varios.
 - Pavimentos (mármol principalmente). Plaquetas para solería de diversas dimensiones y espesores de 1 ó 2 cm, pulidas o sin pulir y, a veces, biseladas.
 - Peldaños: con espesor mayor de 2 cm.
 - A pie de cantera: adoquines, bordillos, mampuestos.

En cuanto a la pizarra de techar, se pueden distinguir cuatro grandes categorías:

- (a).- Modelo francés u ordinario: utilizado en regiones llanas y en las zonas costeras.
- (b).- Modelo inglés: para edificios en regiones con granizo o nieve.
- (c).- Modelo cuadrado: para edificios industriales o agrícolas.
- (d).- Modelos históricos (H₁ y H₂): para reconstrucción de monumentos artísticos y edificios administrativos.

Otros modelos son: rombo, pico palo, octogonal y hexagonal.

TABLA 6.1.1.-Tipos principales de rocas comercializadas en España como piedra natural.

| ROCAS ERUPTIVAS | ROCAS SEDIMENTARIAS | ROCAS METAMORFICAS |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| GRANITO | CALIZA | MARMOL |
| SIENITA | DOLOMIA | PIZARRA |
| DIORITA | ARENISCA | CUARCITA |
| GABRO | ALABASTRO | GNEIS |
| BASALTO | | SERPENTINA |
| DIABASA | | |
| FONOLITA | | |
| TRAQUITA | | |
| PORFIDO | | |

España, con más de 7 millones de toneladas de producción, es el tercer productor mundial, tras China e Italia. La producción nacional de Piedra Natural en el año 2000 fue de 7.6 Mt, de los cuales casi un 25% correspondió a granito, un 61% al mármol, más del 10% a la pizarra y el resto a otras rocas ornamentales. El valor de la producción a pie de cantera fue de unos 149035 millones de pesetas, de los que el 18% correspondió al granito, un 53% a las rocas marmóreas, el 26% a la pizarra y el 3% restante a piedra de cantería, tal y como refleja [la tabla 6.1.1.](#)

Tabla 6.1.2.- Producción y facturación de roca ornamental en España.

| | PRODUCCION 1999 | | | PRODUCCION 2000 | | |
|----------|-------------------------|---------------------|-----------|------------------------|---------------------|-----------|
| | Bruta | 10 ⁶ PTA | | Bruta | 10 ⁶ PTA | |
| | | Bruto | Elaborada | | Bruto | Elaborada |
| GRANITO | 1016 000 m ³ | 42300 | 200000 | 760 000 m ³ | 27000 | 210000 |
| MARMOL | 1643 000 m ³ | 54750 | 228033 | 1745231 m ³ | 78535 | 279899 |
| PIZARRA | 717 000 t | 38250 | 46000 | 201 000 t | 4500 | |
| CANTERIA | 600 000 t | 4500 | 8967 | 780 000 t | 39000 | 60000 |
| TOTAL | 5500000 | 139800 | 638000 | 7670083 t | 149035 | 549899 |

En la [figura 6.1.6](#) se da la evolución de la producción mundial de piedra natural desde el año 1926 hasta el 2001.

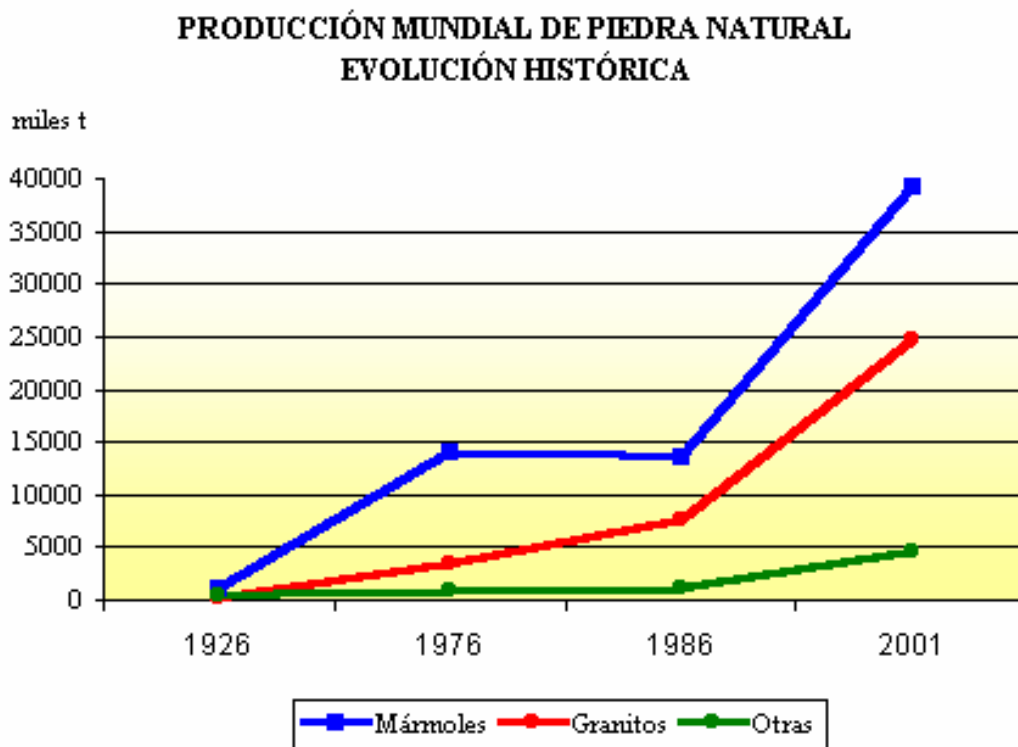


Figura 6.1.6.- Evolución de la producción mundial de piedra natural desde el año 1926 hasta el 2001.

España es el primer productor del mundo de pizarras de techar, el segundo productor del mundo de mármol y el primer productor de Europa de granito. Su capacidad de exportación es una de las mayores del mundo. El sector está muy disperso con más de 1845 plantas y muchas canteras (799). Tan sólo un 10 de las empresas llevan a cabo todo el proceso desde la explotación en cantera a la distribución a los clientes en un sector cuya facturación global ascendió en el 2000 a 549899 Mpta.

No se publican cotizaciones oficiales de la piedra natural en bruto ni de sus elaborados, tarea por otra parte harto difícil de conseguir, dada la gran variedad de materiales ofertados. A título orientativo, en [la tabla 6.1.3](#) se reproducen los precios medios en €/t de la piedra natural en Italia, España y Francia, según sea importada o exportada.

| Producto (€/ t) | España | | Italia | | Francia | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|
| | Imp | Exp. | Imp | Exp. | Imp | Exp. |
| Pizarra en bruto | 329,15 | 439,65 | 282,00 | 674,40 | 296,22 | 71,35 |
| Mármol en bruto | 232,80 | 421,43 | 202,39 | 225,90 | 124,31 | 242,98 |
| Granito en bruto | 173,76 | 119,62 | 224,57 | 269,65 | 190,96 | 184,20 |
| Pizarra elaborada | 440,17 | 497,77 | 501,33 | 734,58 | 512,16 | 528,50 |
| Mármol elaborado | 479,81 | 716,41 | 624,43 | 682,08 | 669,96 | 1 030,87 |
| Granito elaborado | 401,93 | 575,41 | 455,00 | 831,64 | 275,57 | 821,52 |

Fuente: Roc Maquina, Directorio 2003

Los grandes consumidores de Piedra Natural son, sobre todo, los países de la UE, Japón y Estados Unidos. Los sectores de consumo tradicionales están viviendo un cierto cambio, que se manifiesta en una disminución del porcentaje utilizado en ciertos campos, como el arte funerario, e incremento en otros, como el de mobiliario urbano y pavimentación exterior de espacios públicos. En [la figura 6.1.7](#) pueden verse los usos de la piedra natural.

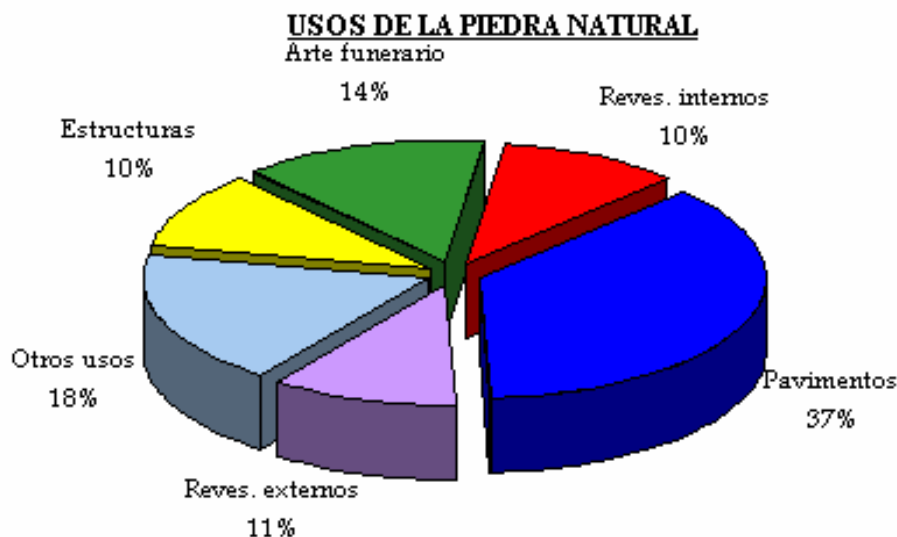


Figura 6.1.7.- Usos de la piedra natural.

El Informe del sector de la Piedra Natural 2002 incluye datos de la industria relacionados con la extracción, producción, facturación y exportación e importación. Los elementos más destacados del citado informe son:

- La facturación del sector durante el año 2002 ascendió a los 3711,19 millones de euros, lo que supone un 0.32% menos que en el 2001.
- La cifra total de canteras en explotación asciende a un total de 874: 460 de mármol y caliza, 168 de granito, 119 de pizarra, 77 de otras piedras y 50 de piedra de cantería.
- La extracción de piedra natural alcanzó las 7615420 toneladas, lo que supone un descenso sobre la producción del año 2001 que se cifró en 8769627.
- Las canteras existentes en nuestro país son explotadas por 633 empresas. Una cifra superior a la del 2001 cuando la cantidad era de 607.
- El mayor número de empresas dedicadas a la extracción se da en el mármol y calizas con 284, la explotación de canteras de granito y de pizarra se realiza por 112 y 116 empresas respectivamente. Además, existen 56 compañías dedicadas a la extracción de piedra de cantería y 65 dedicadas a la extracción de otras piedras. Estas empresas emplean a 5.804 trabajadores.
- 790 fábricas se dedican a la elaboración de piedra natural, de las que un 62% corresponde a la elaboración de mármol y calizas. La elaboración proporciona trabajo directo a 27145 personas.
- El volumen total de exportaciones de productos, expresados en toneladas, se ha incrementado un 12,8% respecto al año anterior. En términos económicos este incremento ha sido del 1.7%.

En lo que respecta a las importaciones, éstas presentan una disminución, tanto en términos económicos como de volumen. En volumen se sitúa en un 0.8% menos, mientras que en la vertiente económica ha descendido un 8.6%.

6.2.- ARRANQUE.

En Rocas Ornamentales, como calizas, granitos, mármoles y otras rocas masivas el proceso de arranque se realiza en varias etapas:

- PRIMERA ETAPA, denominada “ARRANQUE PRIMARIO”, en la cual se extraen por diferentes procedimientos, bloques de forma más o menos paralelepípedica, de dimensiones variables pero siempre y en todo caso con 1 o varios metros de arista.

- SEGUNDA ETAPA, denominada “CORTE O FRAGMENTACIÓN SECUNDARIA”, en ella los bloques resultantes de la primera etapa, son volcados por lo general sobre una de sus caras mayores y fragmentados en bloques de menor tamaño, denominados “Pastillones”, mediante el uso de cuñas manuales o mecánicas (pinchotes, colchones neumáticos, hidro-bag, etc...), o bien mediante el uso de explosivos rompedores o pólvoras. En nuestro caso no será posible la utilización de explosivos dadas las características de la roca.

- TERCERA ETAPA, esta última etapa los pastillones obtenidos en la fase anterior, se fragmentan en tamaños aun menores, de forma prismática y aptos para ser transportados bien por carretera bien por ferrocarril, Industrialmente estos fragmentos se denominan “ Bloques”.

Al seleccionar el tipo de técnica utilizada para la realización de la etapa de Arranque Primario, deberán tenerse en cuenta una serie de condicionantes a factores, así:

FACTORES INTRINSECOS DE LA ROCA, tales como: resistencia mecánica de la roca, resistencia a la compresión, tenacidad, dureza, porosidad y abrasividad, que determinan los rendimientos de corte.

La abrasividad es uno de los factores más importantes, pues es uno de los que marca en muchas de las técnicas el coste final de la unidad de superficie cortada.

FACTORES EXTRINSECOS, tales como: existencia de agua, costes de adquisición y mantenimiento de los equipos de trabajo, situación geográfica de la explotación, accesos a la explotación, etc.

Todo estos factores y en mayor medida los factores intrínsecos de la roca, determinan y condicionan los rendimientos de explotación y en particular los del equipo de corte, pudiendo hacer que el método, válido en un determinado tipo de roca sea totalmente inviable en otro.

En el diagrama de la [figura 6.2.1](#) se muestra un esquema donde quedará patenta la posibilidad o facilidad de corte de las diferentes rocas ornamentales en función de las características petrográficas.

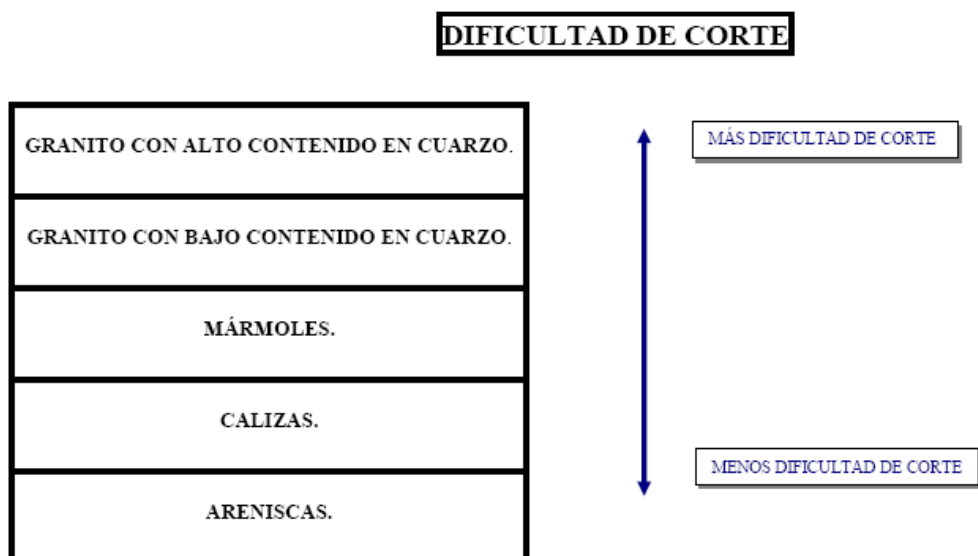


Figura 6.2.1.- Facilidad de corte de las diferentes familias de rocas ornamentales.

En el caso de Rocas Carbonatadas, como mármoles y calizas, las técnicas de arranque primario, más utilizadas en España, están basadas en la abrasividad del diamante, principalmente el método de corte con hilo diamantado, debido a sus grandes resultados y a su facilidad de manejo, aunque también pueden utilizarse las rozadoras de brazo y el disco diamantado, superando por completo el método tradicional de corte con hilo helicoidal y corte con explosivo.

En el caso de Rocas Síliceas, como granitos, gneises, serpentinas, areniscas y cuarcitas, donde la técnica de arranque primario, más habitual tradicionalmente, era la perforación y voladura así como el uso de lanceta o lanza térmica, está siendo sustituida en la actualidad por el método de corte con hilo diamantado.

Para la división de grandes bloques secundarios y el escuadrado de los bloques comerciales se utilizan en ambos subsectores la perforación y las cuñas manuales o hidráulicas, debido a su efectividad en el corte de pequeñas superficies.

En la actualidad se están desarrollando en España nuevas técnicas de extracción mediante el arranque en cantera con “Chorro de agua (Water Jet)”, obteniéndose resultados excelentes en el corte de planchas o tablas, de todo tipo de rocas ornamentales, pero que en procesos o etapas de arranque primario presenta dificultades y resultados no satisfactorios, no superados todavía. Existen sin embargo algunas explotaciones de rocas disgregadas, areniscas, donde la aplicación de esta técnica está permitiendo obtener con éxito bloques. La base tecnológica del proceso, es la capacidad de un chorro de agua a alta presión, para disgregar partículas síliceas fuertemente cementadas más que un efecto mecánico de corte.

EXPLOTACIÓN PRIMARIA MEDIANTE HILO DIAMANTADO.

El hilo diamantado se empezó a utilizar en la década de los años 70, introduciéndose comercialmente en 1978 en las canteras de mármol de Carrara. Se puede afirmar que este nuevo tipo de hilo ha sustituido totalmente al helicoidal y que, además, ha permitido la introducción de esta técnica de corte en el campo de las rocas duras y abrasivas.

La utilización de esta técnica de corte proporciona una serie de ventajas, durante la etapa de corte primario. Algunas de estas ventajas serán las enumeradas a continuación:

- 1.- El sistema de corte con hilo presenta un excelente aprovechamiento de la roca, obteniéndose un acabado plano de la cara cortada, eliminándose posteriores etapas o labores de escuadrado final, obteniéndose sin embargo rendimientos productivos bajos.
- 2.- El accionamiento, control y manejo de los equipos, podrá ser realizado con total garantía por personal relativamente cualificado. Su operación no conlleva riesgos especiales.
- 3.- No es necesaria la presencia constante del operario durante las labores de corte.
- 4.- El empleo combinado de las técnicas de corte mediante hilo diamantado y de las técnicas de utilización de explosivos, permite un menor almacenaje de material explosivo y por ello menores riesgos derivados de su empleo y manipulación.
- 5.- La utilización de equipos de corte con hilo diamantado, ocasiona unos niveles de ruido aproximados de 70 dBA, cumpliéndose en todo momento con los requerimientos impuestos por la normativa sobre protección de trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

Un equipo de corte normal por hilo diamantado debe tener las siguientes características (Figura 6.2.2):

- Motor eléctrico con elevado par de arranque, con variador de frecuencia para permitir velocidades progresivas y ajustar en movimiento la velocidad lineal del hilo.

- Volante de accionamiento del hilo, para garantizar una buena transmisión de potencia al hilo sin dañarlo.
- Dos poleas guías para dirigir el hilo.
- Carriles, unidos por traviesas, con cremallera central para el avance de la máquina. Rodillo secundario para asegurar que el piñón de transmisión permanezca engranado.
- Cuadro de controles y mando móvil para que el operador pueda colocarse en posición segura.
- Dispositivos de seguridad para detener la máquina en caso de rotura de hilo, manejo incorrecto de controles, excesiva absorción del motor principal, etc.
- Regulación electrónica automática de la tensión del hilo en relación con la potencia absorbida por el motor de la polea motriz, para conseguir en cada fase de corte el rendimiento máximo.
- Posibilidad de trabajo con cualquier ángulo (corte contra pared, horizontal, etc.).
- Posibilidad de cortes paralelos a cierta distancia, sin necesidad de mover la máquina.
- Transmisión doble para marcha rápida y cortes lentos.



Figura 6.2.2.- Máquina de corte con hilo diamantado

El hilo diamantado, que constituye en la práctica el útil de corte, está formado por un cable trenzado de hilos de acero, de 5 mm de diámetro, sobre el cual están insertados varios anillos diamantados, denominados perlinas, con un diámetro de 10 u 11 mm. Estos elementos pueden estar colocados de diferentes formas en función de la aplicación que tengan: separados por muelles, con goma o con plástico inyectado. En [la figura 6.2.3](#) pueden verse diferentes tipos de hilos diamantados.

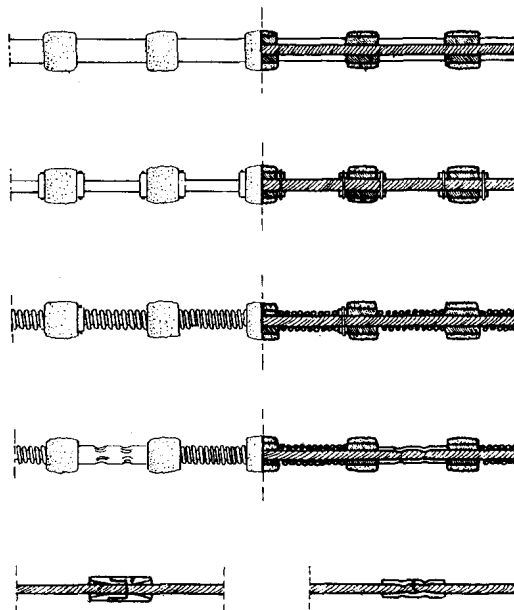


Figura 6.2.3.- Tipos de hilos diamantados.

En la figura 6.2.4 se muestra un esquema de las diferentes posiciones que puede adoptar un equipo de corte con hilo diamantado, lo que nos permitirá conseguir en cada momento la disposición adecuada del equipo a las necesidades de operación.

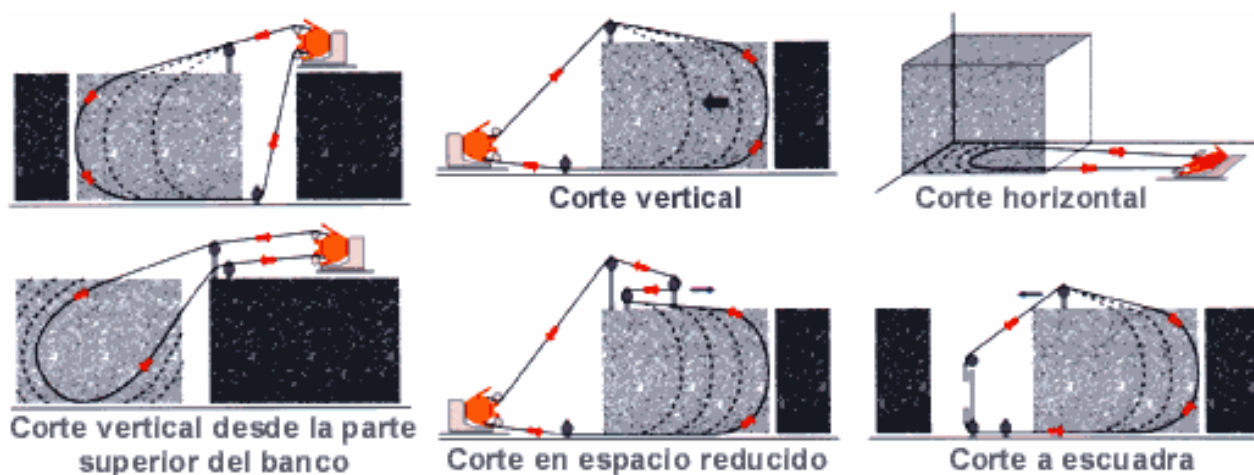


Figura 6.2.4.- Esquema de las diferentes posibilidades de corte con un equipo de hilo diamantado.

La apertura de un banco de extracción se inicia en uno de sus extremos practicando una trinchera, también llamada triangulada o cajón, que precisará dos planos perpendiculares al frente cortados con hilo diamantado, mientras que el corte paralelo al frente e incluso el de levante se pueden efectuar mediante perforación y voladura, para conseguir el desprendimiento de ese bloque del macizo (Figura 6.2.5).

Los barrenos verticales necesarios para el paso del hilo diamantado se hacen, generalmente, con equipos rotopercutivos hidráulicos con bocas de diámetro entre 90 y 140 mm. Los taladros horizontales se suelen realizar con equipos guiados con una deslizadera especial y tuberías o varillaje de conexión para longitudes de hasta 10 m.

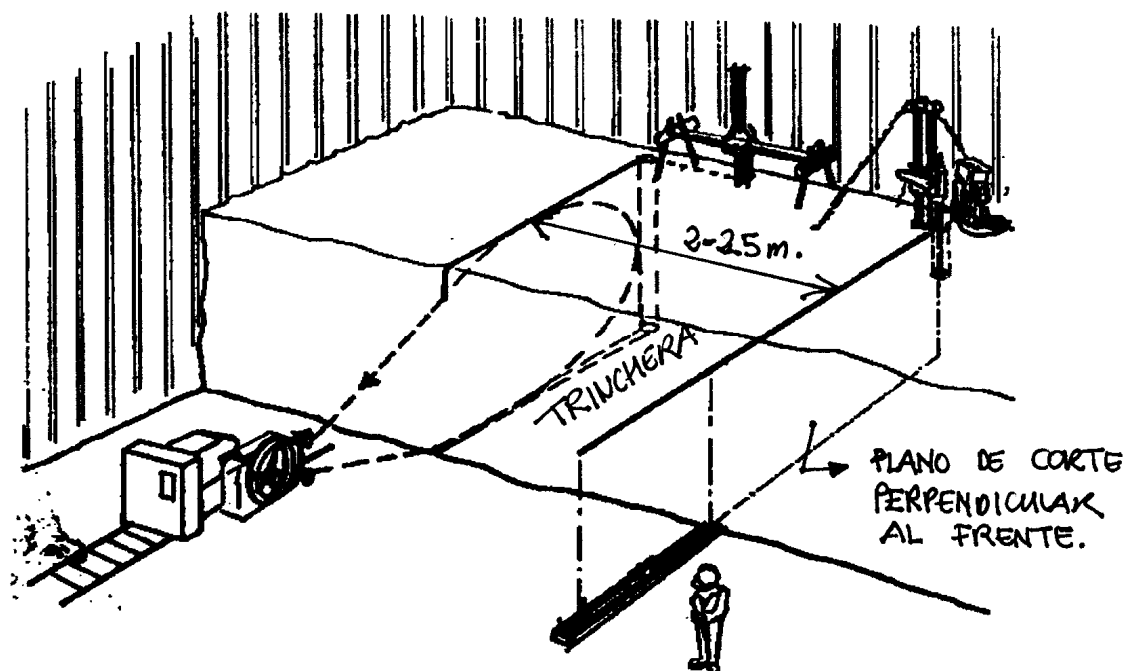


Figura 6.2.5.- Apertura de una trinchera utilizando un equipo de cable diamantado y perforación y voladura.

Una vez abierta la trinchera, con una anchura que suele oscilar entre 2 y 2.5 m, se coloca en el fondo de la misma la perforadora horizontal y se practica un barreno comunicante con otro vertical para configurar la cara posterior del primer bloque a extraer, paralela al frente del banco.

El corte se realiza con la máquina situada en la plataforma superior del banco, utilizando poleas de reenvío situadas cerca del barreno vertical, y que se quitarán cuando casi esté terminado el corte (Figura 6.2.6).

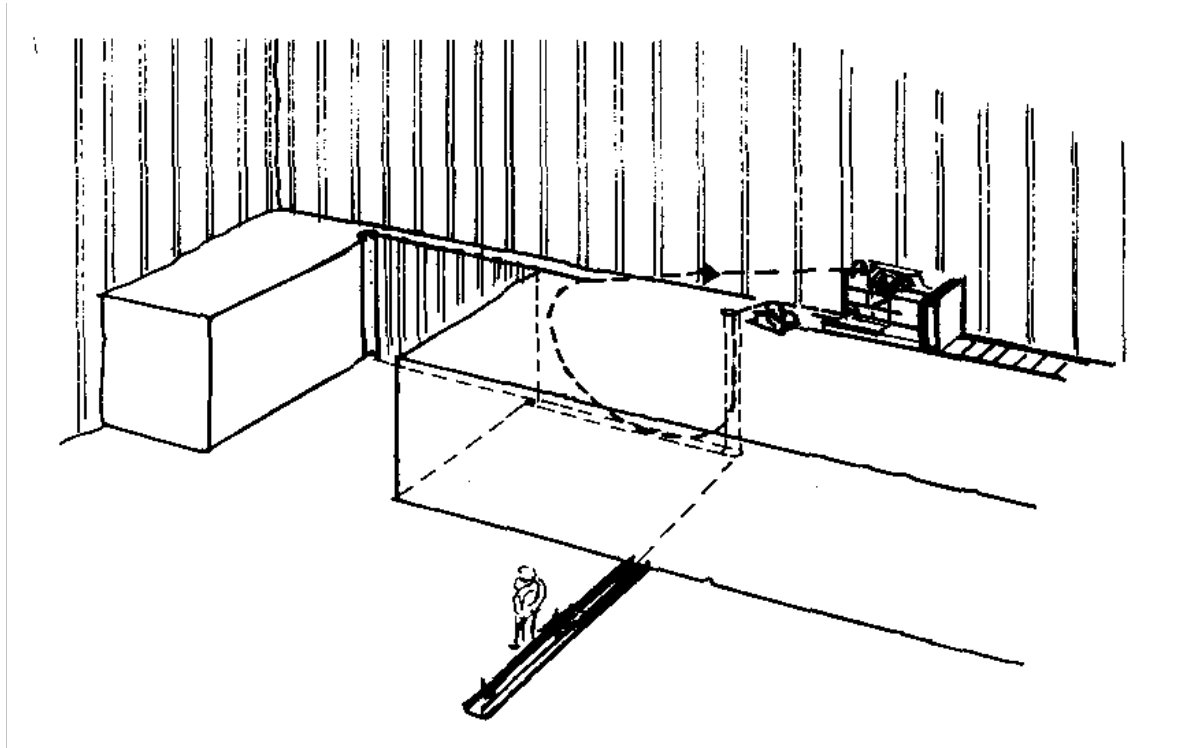


Figura 6.2.6.- Corte paralelo al frente una vez perforado el barreno horizontal desde la trinchera.

A continuación, y una vez efectuado el correspondiente barreno horizontal, se situará la máquina en el nivel inferior para realizar el corte en el sentido perpendicular al frente. Para esta operación, así como para los desplazamientos de las perforadoras o los propios bloques, es de gran ayuda una grúa, por ejemplo tipo Derrick (Figura 6.2.7) que posea el alcance suficiente para cubrir el área de trabajo.

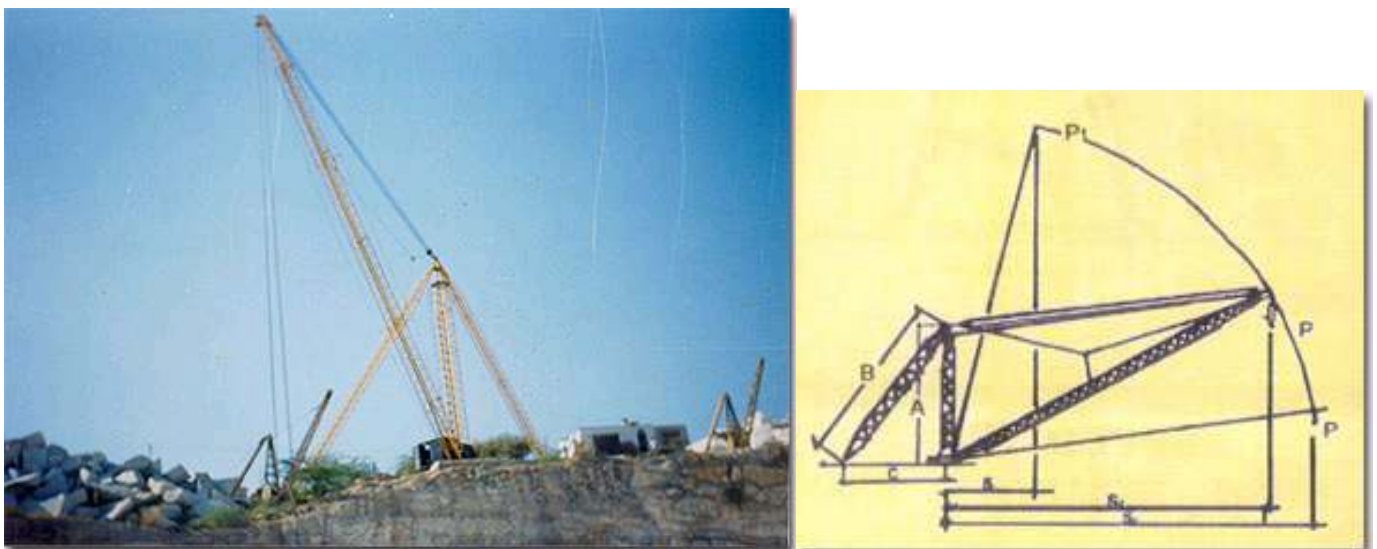


Figura 6.2.7.- Grúa derrick en una cantera.

Durante la realización del corte horizontal es conveniente proporcionar un soporte inferior al bloque con unos tableros de madera, para evitar el desprendimiento eventual de fragmentos, o incluso el vuelco de éste, que pudiera dañar al hilo (Figura 6.2.8).

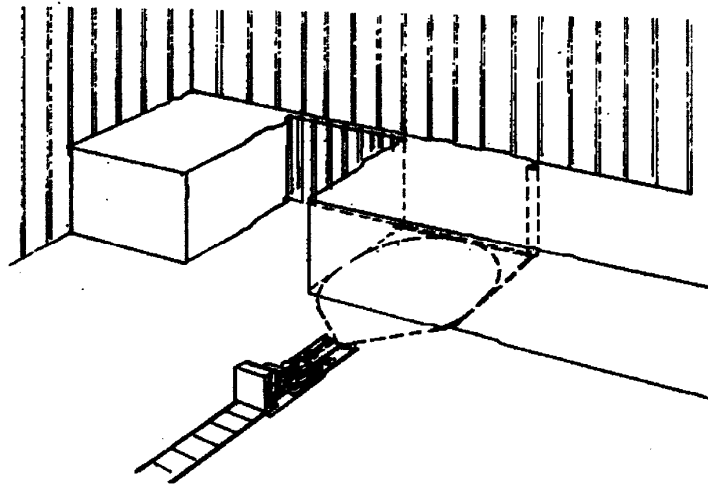


Figura 6.2.8.- Corte horizontal con hilo

La compensación de la longitud del hilo diamantado se consigue desplazando convenientemente la máquina de accionamiento.

Rozadoras de brazo (Figuras 6.2.9 y 6.2.10).

El origen de las rozadoras de brazo se encuentra en la minería del carbón y de las sales potásicas, habiéndose extendido al sector de las rocas ornamentales como consecuencia de los avances logrados en las herramientas de corte, primero de carburo de tungsteno y después diamantadas. Los útiles de carburo de tungsteno tienen, a pesar de los elevados rendimientos de corte, unas vidas cortas y precisan de afilados cada cierto tiempo.

La abrasividad y la resistencia a compresión de las rocas son dos de los parámetros que condicionan el empleo de estas máquinas, pudiéndose afirmar que los valores límite son para la sílice un 2% y para la resistencia a la compresión 150 MPa, aunque en Bélgica se explotan rocas de hasta 170 MPa.



Figura 6.2.9.- Rozadora con tren de rodaje sobre orugas.

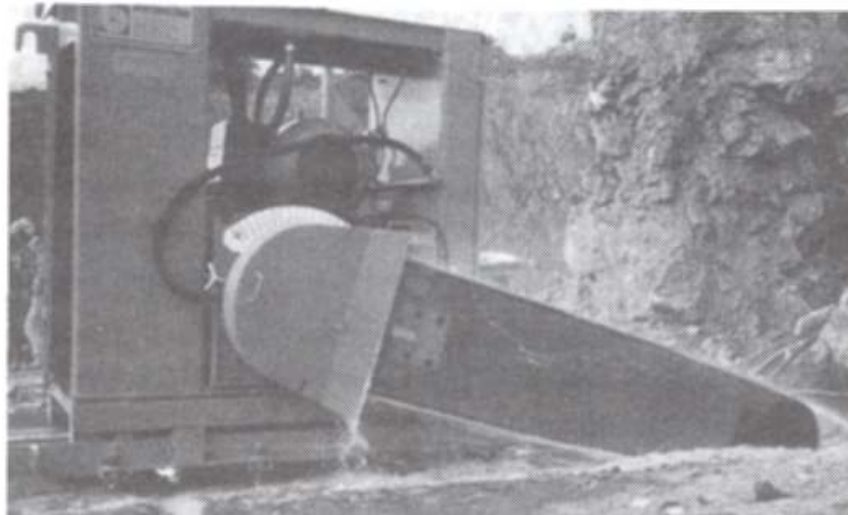


Figura 6.2.10.- Rozadora iniciando un corte con cadena diamantado.

En terrenos horizontales, para realizar la apertura de la cantera es preciso crear un hueco inicial en cada nivel, extrayendo varios bloques conformados por los cortes verticales pero sin el corte horizontal. Para el desprendimiento de esos bloques del propio macizo rocoso se puede recurrir a diferentes técnicas, tales como colchones hidráulicos o neumáticos, empujadores hidráulicos, etc. (Figura 6.2.11).

Posteriormente, para extraer de sus huecos los bloques se suelen efectuar unos taladros que permiten colocar unos cables o cocas para su elevación. El hueco inicial o canal debe tener una anchura mínimo entre 3 y 6 m, para poder maniobrar a continuación en condiciones de seguridad.

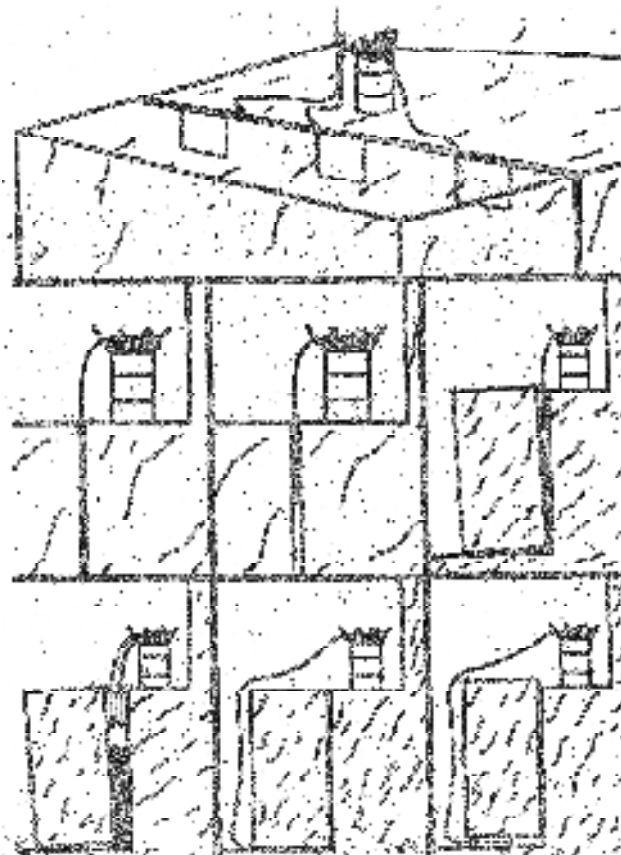


Figura 6.2.11.- Esquema de utilización de colchones hidrobags para el despegue de bloques.

A continuación, las rozadoras efectúan el corte de los bloques, tanto en sentido horizontal como vertical, directamente sobre las plataformas de los bancos. Primero se suelen realizar sucesivos cortes paralelos, en dirección perpendicular a la cara del banco, seguidos del corte horizontal a lo largo del frente y perpendicular a la cara del talud, y posteriormente la subdivisión vertical paralela al frente, a una distancia de éste marcada por el tamaño del bloque comercial (Figura 6.2.12).

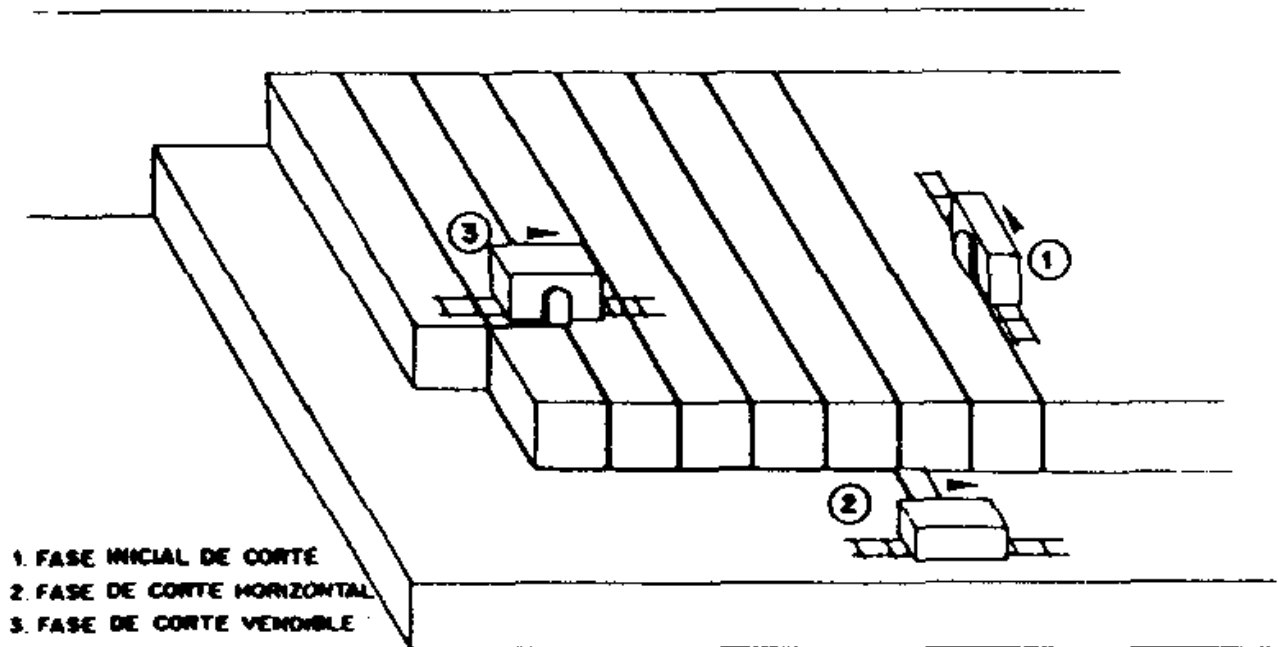


Figura 6.2.12.- Explotación a cielo abierto.

Como puede deducirse, estos equipos son adecuados para canteras que disponen de amplias plataformas de trabajo y frentes suficientemente largos. Su empleo es particularmente interesante en yacimientos homogéneos con rocas poco fracturadas.

Actualmente las rozadoras de brazo se emplean sobre todo en canteras de mármol, pero también se utilizan en explotaciones de pizarra y algunos tipos de arenisca.

Las rozadoras de brazo pueden trabajar conjuntamente con otros equipos; así en las canteras de mármol es muy frecuente ver equipos "exclusivamente diamantados", es decir, la combinación del hilo diamantado y las rozadoras de brazo con cadena diamantada.

Las principales operaciones que se efectúan con estas máquinas, dentro del ciclo básico de explotación son las siguientes (Figura 6.2.13):

- 1.- Corte horizontal con la rozadora de brazo.
- 2.- Perforación de un barreno vertical coincidiendo con la arista oculta del bloque a extraer.
- 3.- Corte vertical con hilo en la cara lateral.
- 4.- Corte vertical con hilo en la cara posterior.

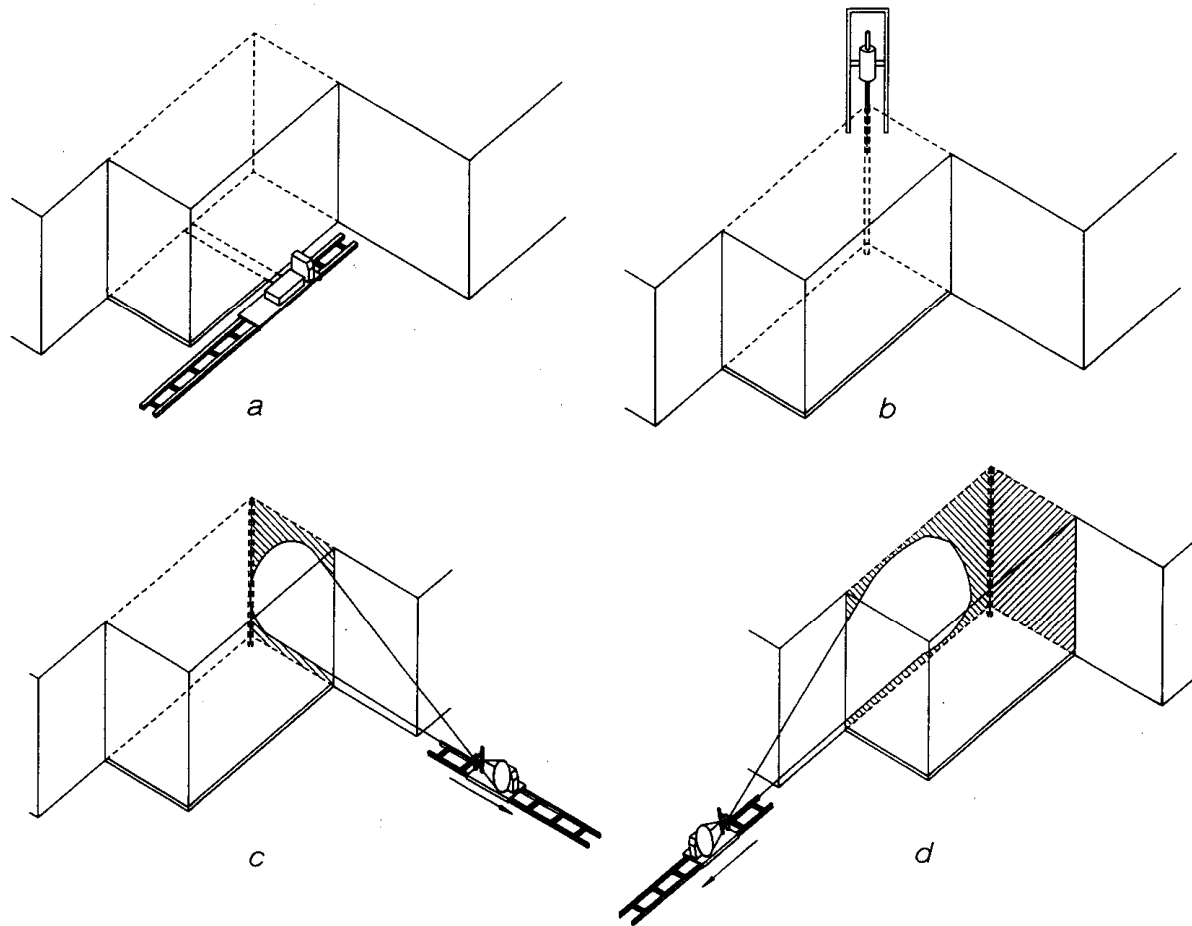


Figura 6.2.13.- Operaciones realizadas con una rozzadora y un equipo de hilo diamantado.

A continuación se procede al vuelco del bloque primario sobre la plaza de la cantera, mediante empujadores hidráulicos o una pala con implemento de empuje, para llevar a cabo su subdivisión. Para estos cortes secundarios se puede emplear un pequeño equipo de hilo diamantado o, como se hace más tradicionalmente, martillos perforadores y cuñas.

En el caso de tener que proceder a la apertura de un nuevo banco las operaciones que se efectúan son las siguientes (Figura 6.2.14):

- 1.- Corte horizontal con la rozzadora de brazo.
- 2.- Perforación de barrenos verticales.
- 3.- Cortes verticales laterales con hilo diamantado.
- 4.- Corte vertical posterior con hilo diamantado.

Este último corte se realiza teniendo el equipo de hilo en el nivel superior al que se encuentra la rozzadora.

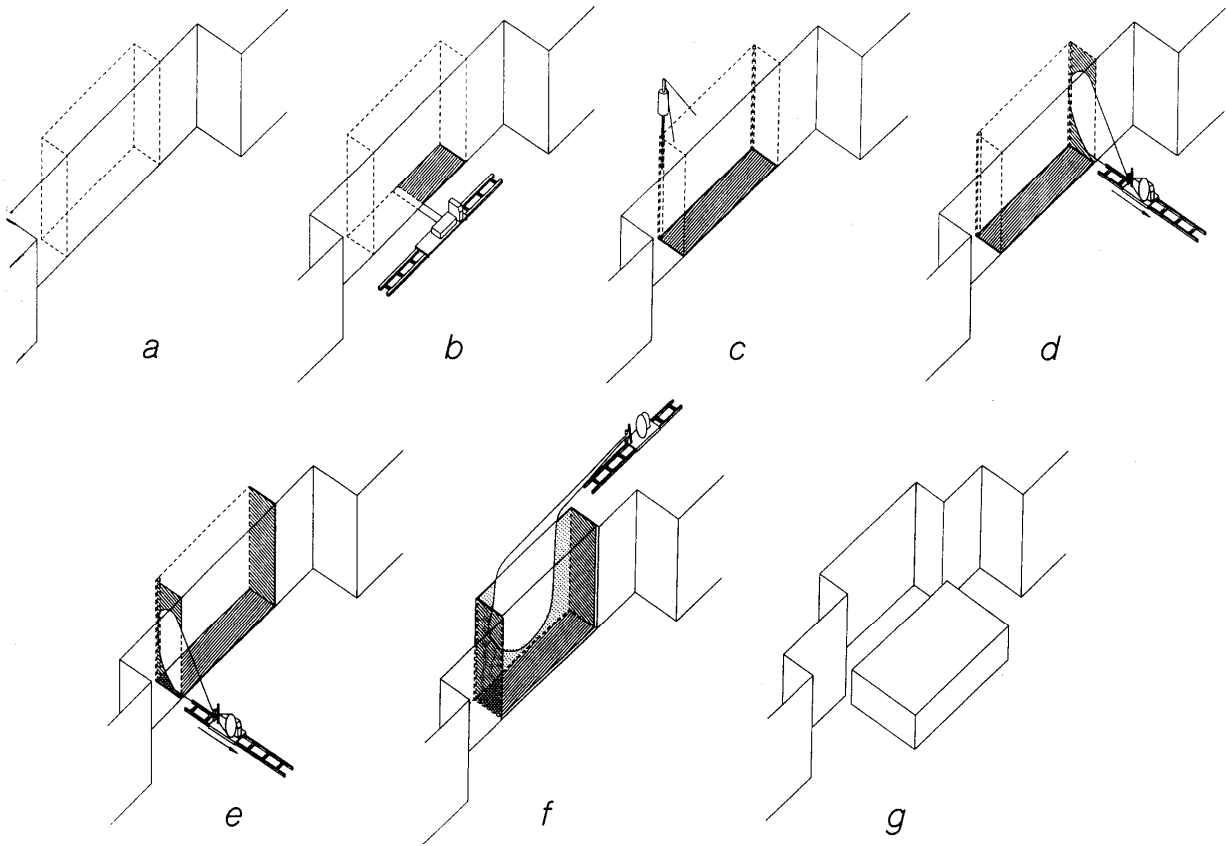


Figura 6.2.114. Apertura de un banco con rozadora y equipo de hilo diamantado.

Finalmente en las figuras 6.2.15 y 6.2.16 puede verse una explotación de granito y mármol respectivamente, con los equipos principales y auxiliares que se utilizan.

También existen técnicas de arranque con perforación y voladura.

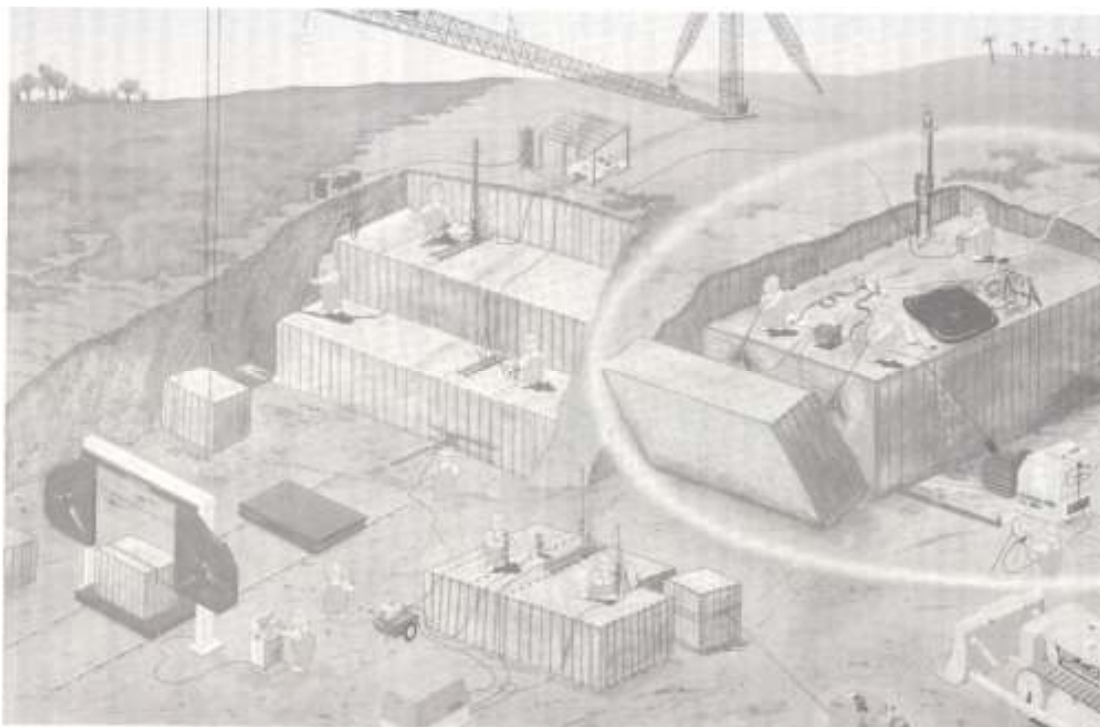


Figura 6.2.16.- Equipos empleados en las cancheras de granito.

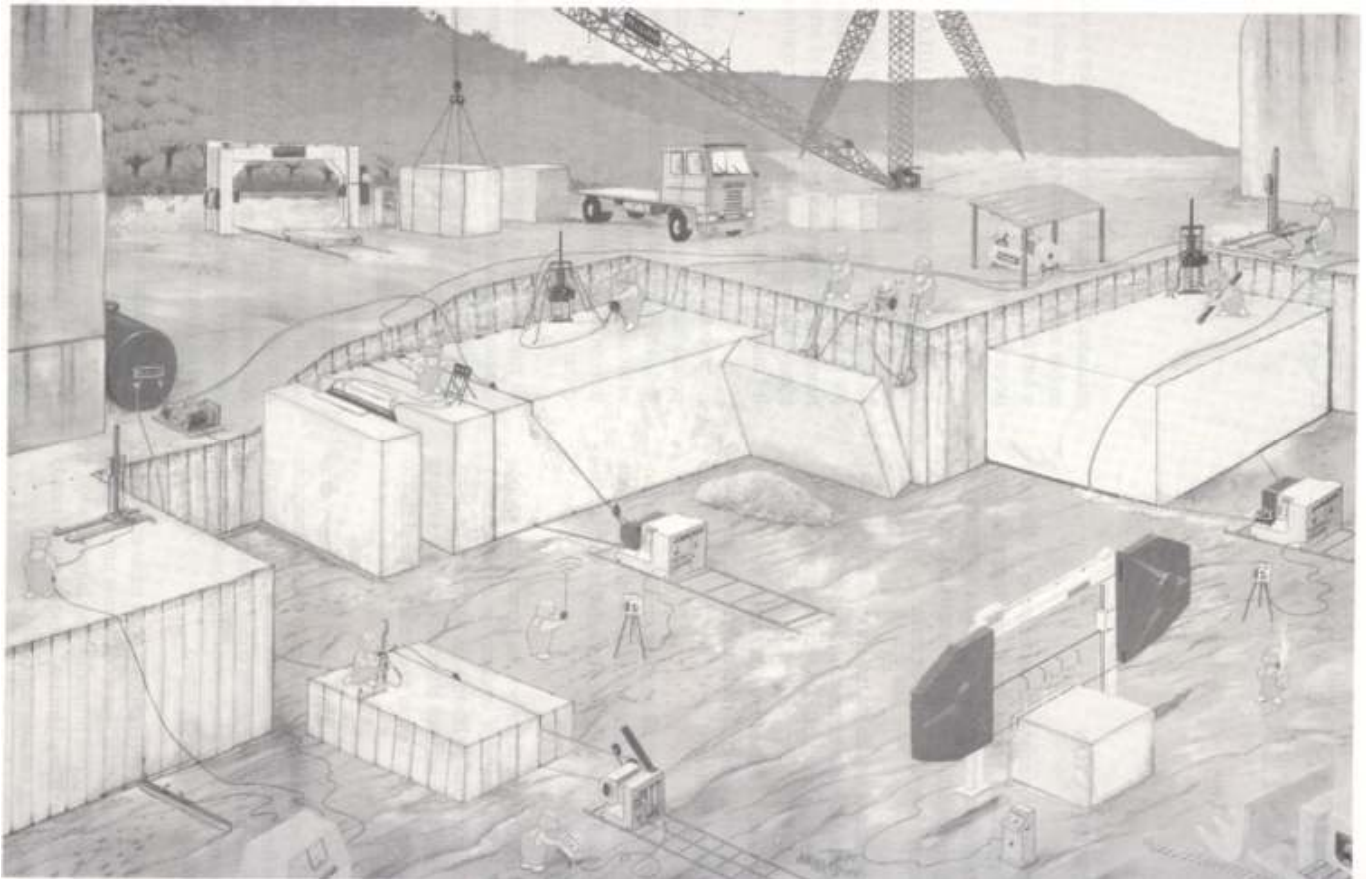


Figura 6.2.16.- Equipos principales y auxiliares empleados en las canteras de mármol.



Figura 6.2.17.- Fachada de un edificio de piedra natural.

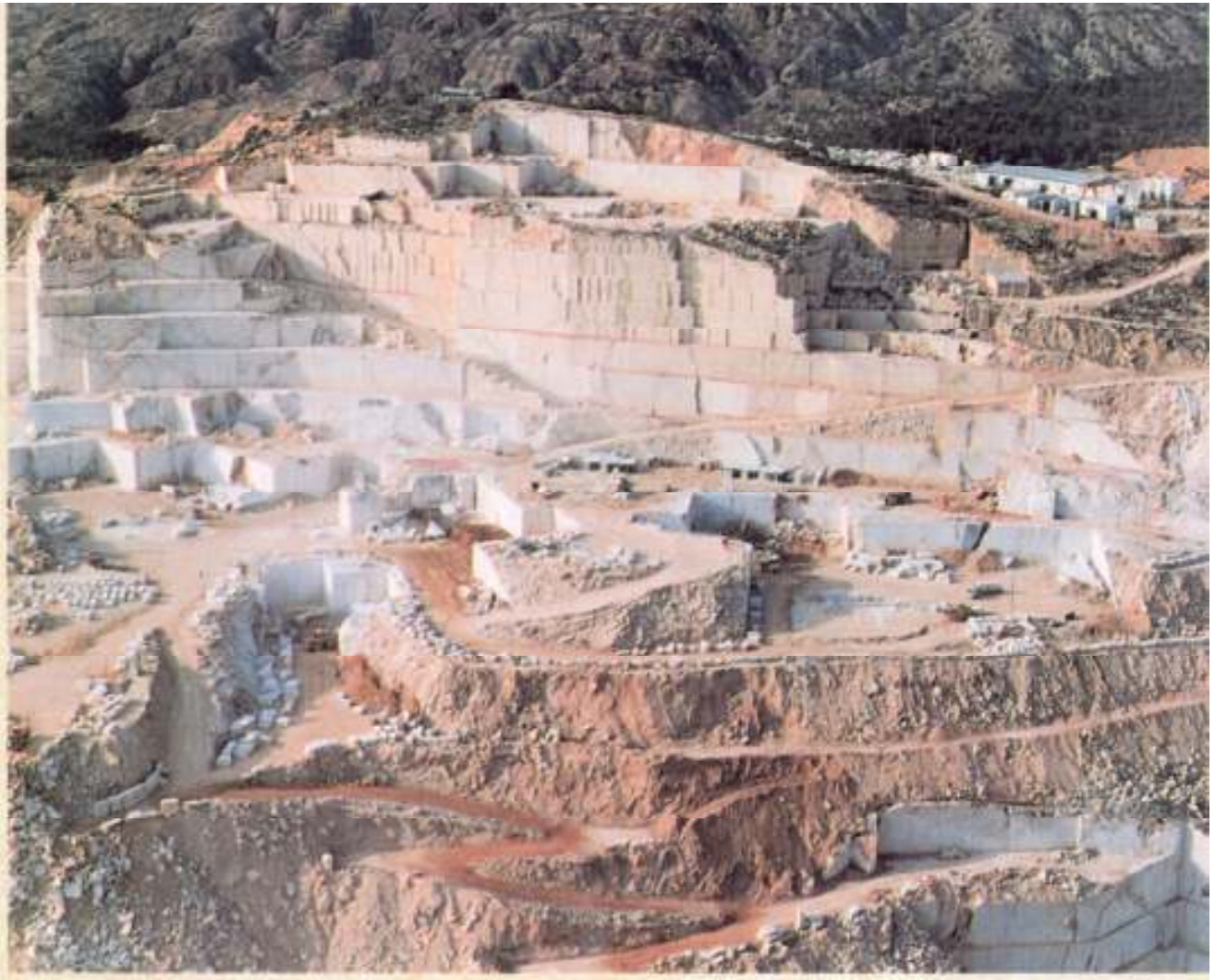


Figura 6.2.18.-Canteras de mármol.

6.3.- CANTERÍA.

6.3.1.-Introducción.

El oficio de cantero es uno de los más antiguos del mundo. A lo largo de la historia de la Humanidad, todas las grandes civilizaciones han construido templos, palacios, iglesias, murallas y casas persiguiendo, además de una utilidad, plasmar en piedra una serie de conceptos o ideales que de haber estado construidos en otros materiales no hubieran asegurado de igual forma la inmortalidad de sus obras.

La importancia de los trabajos de cantería queda manifiesta simplemente al observar las iglesias y las grandes catedrales europeas, construidas utilizando como pieza base los sillares o las obras levantadas anteriormente por los romanos (vías de comunicación, puentes, acueductos, etc.) con adoquines, bloques o mampuestos.

Hoy en día, además de la utilización en la construcción de edificios, un sector muy importante en el que están presentes los trabajos de cantería es el constituido por el arte funerario.

6.3.2.- Definición.

Son obras de fábrica con piedras naturales, labradas o sin labrar, trabadas directamente o con algún conglomerante.

6.3.3.- Trabajo de las piedras.

Una de las características básicas que deben poseer las rocas empleadas en cantería es LA LABRABILIDAD, definida como la aptitud o facilidad que presenta una roca a dejarse dividir, desbastar, labrar o pulimentar. El corte, realizado con sierras o con sistemas de cuñas, deberá seguir la dirección del grano de la roca, sobre todo si ésta está estratificada. Normalmente, la aptitud de labrabilidad disminuye cuando las piedras son demasiado duras, excesivamente tenaces o con una estratificación demasiado marcada.

Dado que las piedras se colocan en obra en su estado natural, salvo tratamientos de conservación, los trabajos que se realizan antes de dicha colocación, van encaminados a darles la forma adecuada que deben tener en obra, así una vez que se han extraído los bloques de la cantera es necesario darles la forma adecuada para su posterior colocación en la obra.

Las diversas operaciones se engloban con el nombre de labra de la piedra y no se realizan siempre todas a una misma piedra, sino que dependen del uso a que se destinen. Estas operaciones son las siguientes:

Corte:

Se realiza a pie de cantera para evitar bloques excesivamente grandes y de difícil transporte.

Para este trabajo se utilizan mazas, cuñas y sierras. Lo normal es utilizar sierras de dientes en las rocas blandas y helicoidales en las duras.

Desbaste:

Para dar a las piezas unas dimensiones aproximadas a su perfil definitivo, se procede al desbaste, ya que la forma conseguida en la operación anterior es irregular.

Se realiza en taller, labrando con cincel, con martillo de desbastar o con martillo neumático, dejando siempre una holgura de 3-4 cm. denominada "creces de cantera" para evitar roturas que arruinen el bloque.

Acabado o labra:

Abarca una serie de operaciones, realizadas cada vez con mayor esmero y precisión según avanza el trabajo, hasta dar a la piedra el tamaño y la forma deseada y definitiva antes de su colocación en obra. Dependiendo del grado de perfección buscado, la labra será basta o tosca, mediana o fina, en función del estilo y la calidad de la obra.

Se utilizan diversas herramientas como cinceles lisos o dentados, escodas, almádenas, bujardas y martillos neumáticos.

Talla:

Le da un aspecto exterior totalmente acabado. Cuando el acabado debe tener un nivel exigente, se efectúan una serie de operaciones denominadas talla, por medio de diversas herramientas como punteros, cinceles, gubias, bujardas o más modernamente, punteros eléctricos o discos de pulir.

Normalmente la piedra de sillería, se encuentra aquí terminada, pero en aplacados y pavimentos, es necesario pulirla para un menor ataque químico.

Pulido:

Se realiza en los casos citados o en piedras decorativas. Consiste en desgastar la superficie dejándola perfectamente lisa, aunque sin brillo.

Para poder pulir la piedra, debe ser dura, de grano fino y homogénea. Las mejores son los mármoles, granitos y alguna caliza. Se realiza con abrasivos frotando la superficie, primero con productos blandos y luego más duros y finos de grano fino, pero siempre de mayor dureza que la piedra a pulir. Se realiza a máquina mediante discos a gran velocidad. En el pulido de mármoles se utiliza el asperón o piedra pómez y en los granitos esmeril o carborundum.

Bruñido:

Se realiza para quitar las rayas producidas por los abrasivos y dar brillo superficial. Se realiza con discos de esparto, agua y blanco de España, trípoli o polvo de azufre.

Previamente las piezas son sometidas al curado o cerrado de poros con un "máctic" o cola. Actualmente se utilizan resinas sintéticas de curado rápido con polvo de la misma piedra.

Actualmente existen numerosos tipos de máquinas y herramientas que permiten realizar la mayoría de las operaciones de corte y labra en cantería de una forma más eficaz y rentable que con los tradicionales métodos y herramientas manuales. Sin embargo, el dominio de las técnicas manuales de la labra de la piedra, fruto del conocimiento de la piedra natural, proporciona al cantero la posibilidad de efectuar todo tipo de trabajos adicionales, tales como labrar molduras, realizar muescas, etc., en piedras preparadas anteriormente con máquinas. Del mismo modo, el conocimiento de los métodos y herramientas manuales de labra se hace imprescindible a la hora de aplicarlos en intervenciones de conservación y restauración en edificios de nuestro Patrimonio.

En [la figura 6.3.1](#) pueden verse diferentes herramientas utilizadas en cantería.



Figura 6.3.1.- Diferentes herramientas utilizadas en cantería.

6.3.4.- Aplicaciones de los materiales pétreos.

6.4.3.1.- Introducción.

Las aplicaciones de los materiales pétreos naturales pueden dividirse en cuatro tipos distintos, según la función a cumplir en una obra (Figura 6.3.4.1.1):

- FÁBRICAS.
- PAVIMENTOS.
- CUBIERTAS.
- APLACADOS.

Para cada tipo de obra se fabrican piezas adecuadas, utilizándose para ello, las rocas apropiadas a su uso, es decir, que posean las propiedades a exigirles en su función. Por ello se divide el estudio de cada aplicación en tres apartados:

- MORFOLOGÍA DE PIEZAS Y NOMENCLATURA.
- EXIGENCIAS DE PROPIEDADES.
- MATERIALES PÉTREOS ADECUADOS.

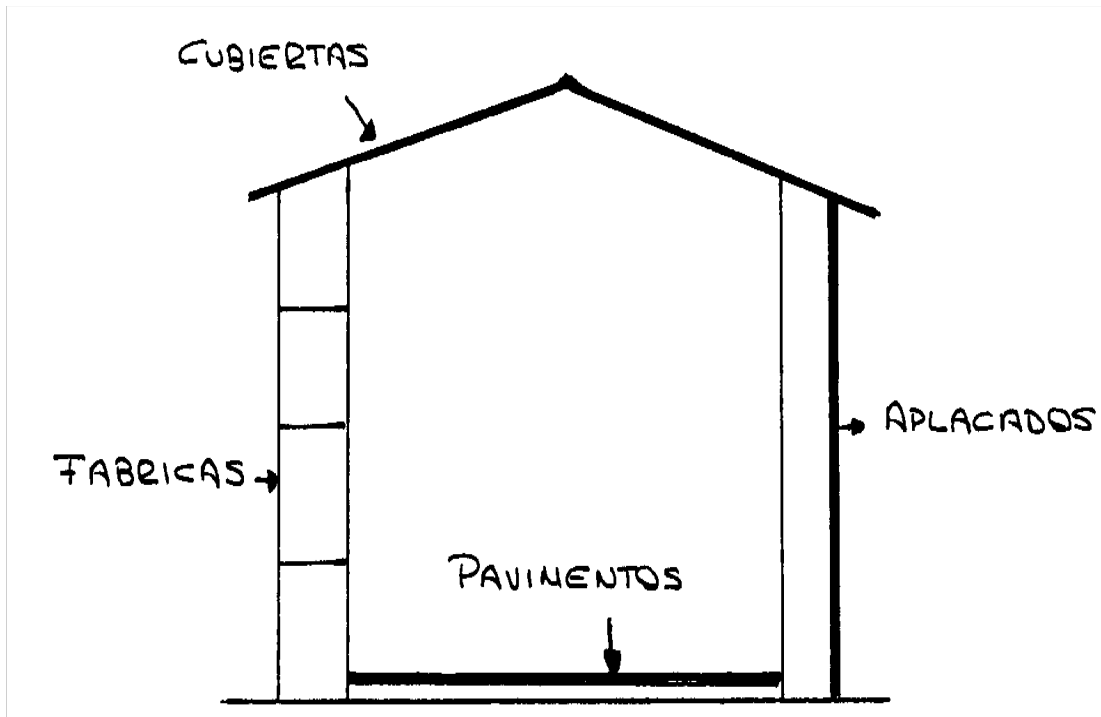


Figura 6.3.4.1.1.- Aplicaciones de los materiales pétreos

6.4.3.2.- Fábricas de piedra.

Las fábricas de piedra, son los elementos constructivos realizados con piezas aparejadas en seco o con mortero y que resisten mecánicamente a compresión (muros, pilares, arcos, bóvedas...). Se realizan con piedra, ladrillos, bloques... limitándonos en este apartado al estudio de las de piedra, prácticamente en desuso en la actualidad, pero de importancia fundamental en la historia de la construcción.

Morfología (Definiciones de elementos de piedra natural para obra de fábrica):

Existen tres tipos básicos de piezas para fábricas según el grado de labra y tamaño (Figura 6.3.4.2.1):

- Mampuesto:

Se denominan mampuestos a las piedras de pequeñas dimensiones, de forma más o menos irregular, nada o apenas desbastadas, que puedan ser fácilmente manejadas por un solo hombre. Su peso oscila, según sus medidas y naturaleza, entre quince (15) y veinticinco (25) kg, lo que supone un volumen del orden de una centésima de metro cúbico. Se utilizan para la realización de muros, procurando que encajen entre ellos o rellenando los huecos con piedra pequeña o ripios.

- Sillarejo:

Existen dos tipos de sillarejos:

- Sillarejos aplantillados. Se denominan sillarejos aplantillados a las piezas manejables a mano, de volumen y peso análogos al de los mampuestos, de forma aproximadamente prismática recta, con una o más caras labradas y uniformes de tamaño, dentro de la hilada o aparejo de la fábrica en que se colocan. Se disponen en obra en aparejos de igual altura.

- Sillarejos toscos. Se denominan sillarejos toscos a las piezas manejables a mano, de volumen y peso análogos al de los mampuestos y que, teniendo una forma aproximadamente prismática recta, no tengan ninguna cara labrada.

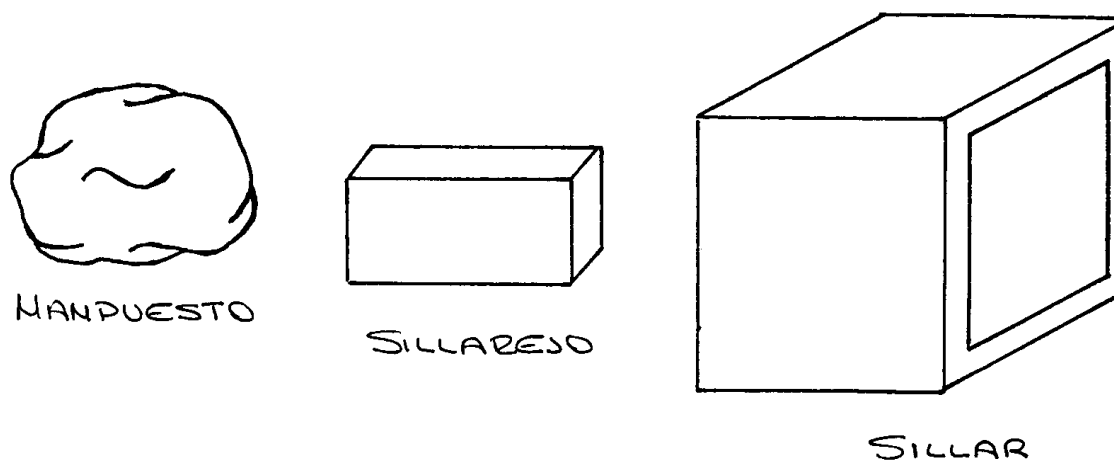


Figura 6.3.4.2.1.- Aplicaciones de los materiales pétreos

- Sillares (Figura 6.3.4.2.2):

Se denominan sillares las piezas de piedra de dimensiones tales, que exijan el empleo de útiles y mecanismos para su traslado y empleo (por ejemplo, grúas) y muy trabajadas con una o más caras labradas. Sus medidas rebasan los cuarenta centímetros, en dos direcciones al menos, cuando sean prismáticas rectas o se aproximan por exceso a esta cantidad, cuando sean aplantilladas. Su volumen, aproximadamente, de una vigésima parte de metro cúbico (50 dm^3) y su peso oscila, según sus medidas y naturaleza, entre los setenta y cinco (75) y los ciento cincuenta (150) kg.

Normalmente son de forma paralelepípedica, aunque pueden adoptar otras muy diversas según su disposición en obra (cilíndrica, hexagonal, etc.). Su cara vista se llama paramento, las laterales juntas, la superior sobrelecho y la inferior lecho.

Casi todos los templos de la antigüedad, grandes catedrales, palacios, iglesias, etc., se construyeron utilizando como pieza base los sillares.

Según el nivel de labra se denominan sillería recta, moldurada, aplantillada (con entrantes y salientes), aberrugada (borde fino y resto abujardado) almohadillada (todo labra fina).

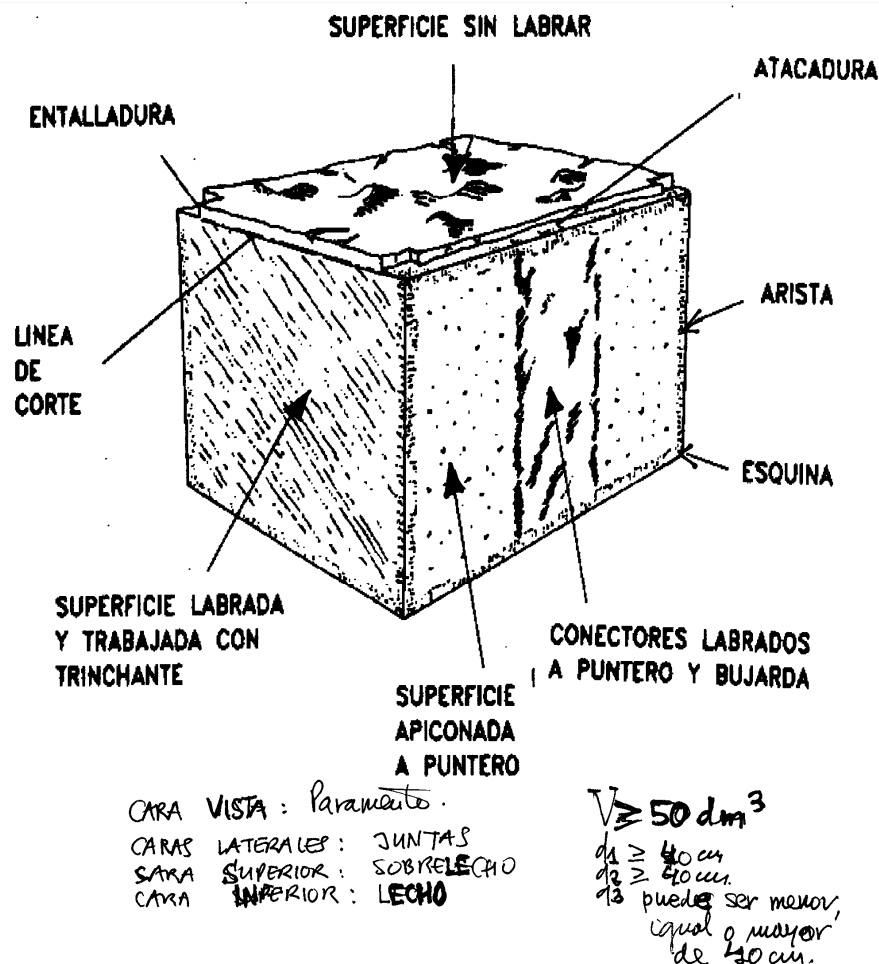


Figura 6.3.4.2.2.- Sillar. Elementos geométricos.

- Piezas de labra.

Se denominan piezas de labra aquellas piezas de considerables dimensiones, para cuyo traslado y empleo son imprescindibles útiles y mecanismos poderosos, y cuyas caras y contornos están trabajados y labrados, de acuerdo con su destino constructivo y ornamental.

Exigencias:

- Físicas: Cierta dureza pero fácil labra, adherencia a morteros, no ser heladizas (baja porosidad).
- Mecánicas: Resistir a compresión + 500 Kg/cm² (50 MPa).
- Químicas: Resistir agentes atmosféricos.

Materiales:

- Calizas y tobas compactas: Dan buena labra y resistencia mecánica. Débiles químicamente.
- Areniscas: Buena adherencia mortero. Las de alta porosidad son heladizas. Buena labra.
- Silíceas: Gran resistencia química. Duras y poco adherentes a morteros.
- Granitos: Muy resistentes mecánicamente. De difícil labra.

La construcción de sillares es el proceso más elemental en la labra de la piedra. Una vez preparados éstos, se ha obtenido el material base para construir una obra de mayor envergadura.

Tipos de fábricas.

Los tipos de fábricas adoptan la denominación del tipo de pieza utilizada en su realización:

Mampostería (Realizada con mampuestos):

Muros compuestos por piedras sin labrar de diferentes tamaños, en general pequeñas, colocadas de forma que se rellenen los huecos. Pueden ser en seco o con mortero de unión.

En la mampostería en seco no se emplea ningún tipo de mortero. Se utilizan unas piedras pequeñas llamadas ripios para acuñar los mampuestos y rellenar los huecos entre éstos. Por su parte, en la mampostería con un mortero de cal o cemento las piedras deben adaptarse unas a otras para dejar el menor porcentaje de huecos relleno de mortero. Es necesario dejar llaves que den trabazón al conjunto para evitar la junta vertical longitudinal.

Según su nivel de labra se denominan (Figura 6.3.4.2.3):

- Ordinaria: piedra sin trabajar.
- Careada: Labrada por una cara a punzón.
- Concertada: Labra a dos caras vistas.
- Mixta: Con elementos de ladrillo u hormigón.

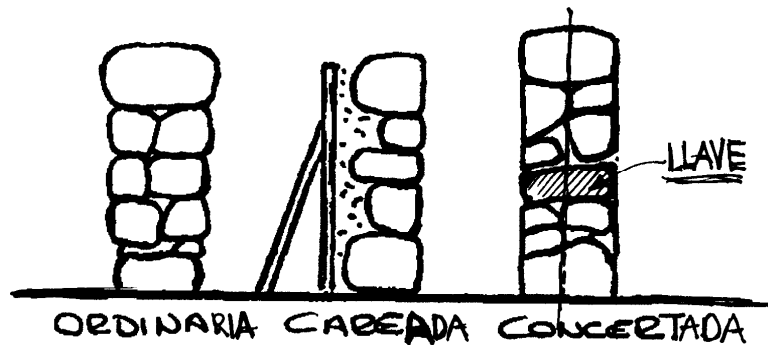


Figura 6.3.4.2.3.- Aplicaciones de los materiales pétreos: Mampostería

Aparejo (Realizada con sillarejos) (Figura 6.3.4.2.4):

Fábricas realizadas con sillarejos dispuestos en hiladas, de acuerdo a las reglas de construcción que aseguren su trabazón y mejor comportamiento mecánico. También existen aparejos mixtos de piedra y otro material.

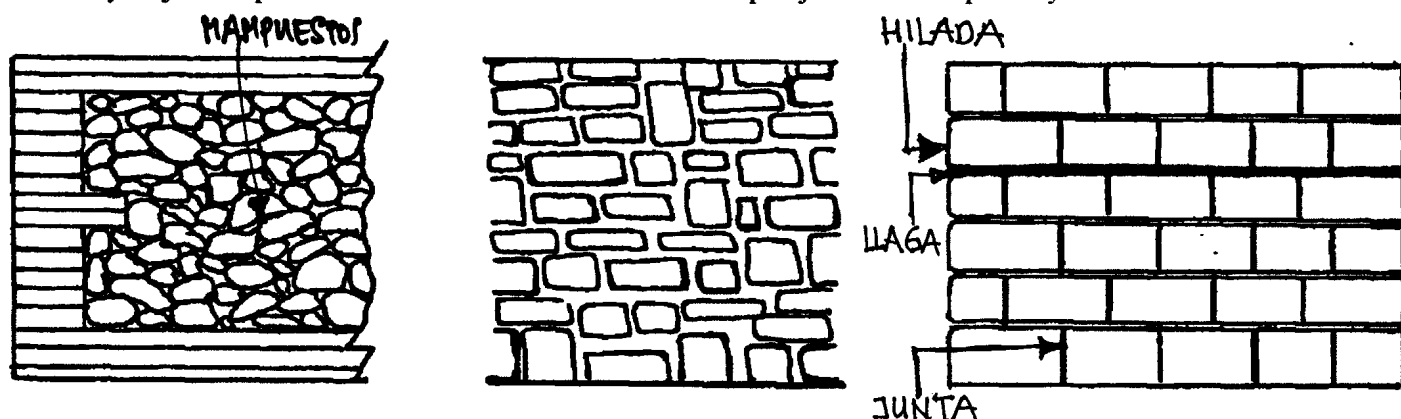


Figura 6.3.4.2.4.- Aplicaciones de los materiales pétreos: Aparejos

Se denomina hilada al conjunto de piezas colocadas en un mismo plano horizontal, recibiendo la capa de mortero entre hiladas el nombre de llaga y las verticales juntas.

Sillería (Figura 6.3.4.2.5).

Se denominan así las obras que se ejecutan con sillares perfectamente aparejados con numeración de sus piezas dispuestos de tal forma que queden sostenidos mutuamente por yuxtaposición y sentándose unos sobre otros con la interposición de un mortero.

Si el sillar está colocado de tal forma que su dimensión mayor es paralela al paramento del muro, se dice que está colocado a soga; si es perpendicular a tizón; y si atraviesa todo el muro, llave. Si sus paramentos son lisos y normales, la sillería se llama recta, si tiene molduras, moldurada y si tiene entrantes y salientes, tilada.

El asiento de los sillares se suele hacer sobre una capa de mortero de 2 cm de grueso, la cual quedará reducida a 3 milímetros después de colocar el sillar y comprimirlo con mazo de madera. El contacto con los planos de juntas laterales se hace a hueso, y se rellenan posteriormente las juntas con mortero muy fino. En el asiento definitivo no se deben usar ni cuñas ni calzos de ningún tipo. En ocasiones puede haber necesidad de unir la sillería con otros elementos empleados en la construcción mediante elementos metálicos. Así, para asegurar la trabazón se utilizan grapas o machihembrados de las piezas.

La estereotomía es la ciencia que estudia la disposición correcta de los sillares, estableciendo distintos tipos de aparejos según convenga a la fábrica (muros, arcos...).

Existen una serie de reglas constructivas que garantizan la correcta ejecución de la obra, destacando por su importancia en el comportamiento del material las siguientes:

- En mampostería usar varios tamaños de piedra, sin rellenar huecos con mortero (usar ripios) y evitar que se toquen unas a otras pues no se transmiten las cargas correctamente en su superficie.
- En general buscar la trabazón de las piezas, evitando juntas continuas que perjudican la resistencia del conjunto. En vertical se hace "matando" las juntas y a lo ancho colocando llaves.
- Si se colocan con mortero se deben mojar las piezas pues mejora la adherencia al eliminar el polvo superficial.
- Las rocas sedimentarias deben trabajar con cargas perpendiculares a sus estratos para evitar el deslajamiento.
- Juntas: pueden realizarse de distintos tipos según el plano del muro: Rehundida, enrasada o resaltada.



Figura 6.3.4.2.5.- Obra realizada con sillares



Figura 6.3.4.2.5.- Obra realizada con sillares

6.3.4.3.- Pavimentos.

Es la aplicación de los materiales pétreos totalmente vigente, distinguimos entre el uso en edificación en interiores (Figura 6.3.4.3.1.a) (en zonas de mayor o menor paso) o exteriores (Figura 6.3.4.3.1.b) (patios y accesos). Los urbanos pueden ser a su vez peatonales o de tráfico rodado. Ello nos lleva a exigir un mayor o menor nivel de resistencia al desgaste en el material a emplear.



(a)



(b)

Figura 6.3.4.3.1.- Pavimentos interiores en piedra natural.

Morfología: Las formas de las piezas dependen también del uso en edificación o urbano.

-Losas o placas (Figura 6.3.4.3.2.a): Piezas cortadas a sierra con una dimensión (el espesor) muy inferior a las otras dos. Suele ser de 3 a 4 cm. variando las otras por encima de 20 cm. Son estándar las de 30x30, 40x40, 40x60, etc. Su superficie puede estar pulida o rugosa con menor problema de deslizamiento (uso en exteriores).

Se emplea en revestimientos de otros tipos de fábrica, en pavimentos y en cubiertas. Los revestimientos de mármol, y casi todo tipo de rocas ornamentales que admiten buen pulimento, suelen ser de este tipo.

Para estos usos, la piedra deberá estar exenta de defectos y cuando deban estar colocadas en el exterior deberán cumplir toda una serie de condiciones que les permita resistir la acción de los agentes atmosféricos sin deformaciones ni alteraciones.

- Peldaños (Figura 6.3.4.3.2.b): Pueden ser despiezados en dos losas largas y estrechas, denominándose tabica a la vertical (15-20 cm. de altura) y huella a la horizontal (25-35 cm. ancho). El largo es variable siendo en edificaciones de 80-100 cm. Los enterizos más en desuso por su gran peso, son piezas prismáticas alargadas, presentando únicamente dos caras lisas ya que el resto queda oculto en obra.

A la hora de construir una escalera se aconseja lo siguiente:

- 1.- Si $H =$ Huella y $C =$ Contrahuella, $H + 2C =$ de 61 a 64 cm, que corresponde a un viejo principio de cálculo de los carpinteros. Actualmente, se llega a descender hasta 60 cm en escaleras estrechas.
- 2.- Una huella de 25 a 29.5 cm de manera que permita colocar cómodamente el pie (la supresión de las contrahuellas facilita el paso en las escalera de huella estrecha);
- 3.- Altura de los peldaños de 15.7 a 18.4 cm (actualmente las escaleras ofrecen alturas que pueden llegar a los 20 cm en peldaños muy estrechos);
- 4.- Un peldaño de frente rehundido de 3 cm es aconsejable, puesto que hace que una escalera rígida sea más fácil de subir, y aumenta la anchura del plano de la huella;
- 5.- Para que una escalera no sea agotadora, es necesario que no sobrepase 21 peldaños por tramo, el 216'0 corresponderá al rellano. De la misma manera, la altura de cada peldaño debe ser invariable, con la excepción eventual del peldaño de salida.
- 6.- Una escalera se sube con más facilidad cuando está orientada en el sentido contrario de las agujas del reloj.
- 7.- La altura de paso, es decir, la altura entre el borde de la huella y el techo no debe ser inferior a 1.80 m, a fin de evitar riesgos de posibles golpes en la cabeza.
- 8.- Se cuenta habitualmente 0.70 m de paso en una escalera corriente, pero esta dimensión puede ser reducida en escaleras de caracol (hasta 0.45 m), lo que permite situarlas en espacios estrechos.

- Bordillos (Figura 6.3.4.3.2.c): También de forma prismática de menor tamaño y cuya dimensión menor es el ancho (10-20 cm.) y la intermedia la vertical (20-30 cm.) con largo variable (sobre 60 cm.).

Se utiliza para delimitar pavimentos de distinto tipo o uso o marcar el límite de un pavimento.

- Adoquines (Figura 6.3.4.3.2.d): Pieza paralelepédica análoga al sillarejo pero de dimensiones menores (15x18x10 cm.) y con una cara vista. Su resistencia a compresión comprobada en el laboratorio debe ser al menos de 130 MPa.

Las rocas que se emplean en pavimentación suelen ser rocas de grano medio o fino. Tienen forma de tronco de pirámide con aristas vivas.

Su aplicación en firmes está en desuso por la mano de obra que exige su colocación aunque en restauraciones y en casos especiales todavía se utilizan.

Exigencias:

- Físicas: Ser antideslizantes en exteriores, con superficies rugosas. Tener adherencia a los morteros. Muy baja porosidad y grano fino.
- Mecánicas: Gran resistencia a la abrasión. Resistencia a la flexión.
- Químicas: Resistencia a agentes atmosféricos y a los ácidos (vertido de aceites y gasolina, productos de limpieza...).

Materiales:

- Granitos: Sobre todo cuarzosos por su gran dureza y resistencia química.
- Mármoles: Buenos por su compacidad, aunque más blandos y débiles químicamente.
- Calizas cristalinas y tobas: Admiten pulimento.
- Pizarras silíceas: Cumplen todas las exigencias.
- Calizas: Para bordillos y peldaños por su fácil labra. Débiles químicamente y algo blandas.
- Basaltos: En adoquines. Gran dureza.

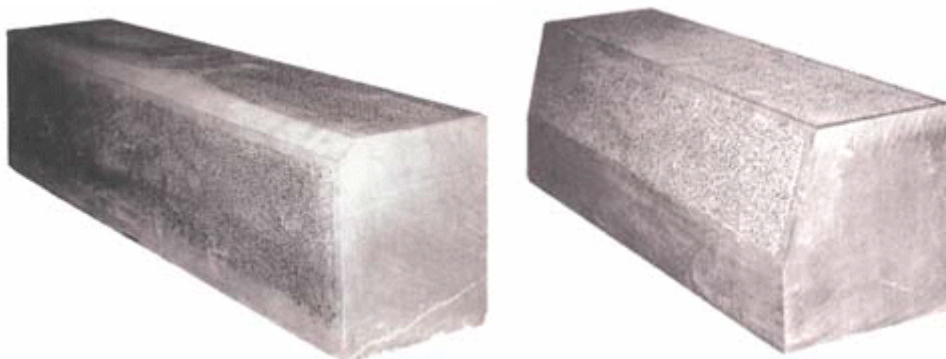
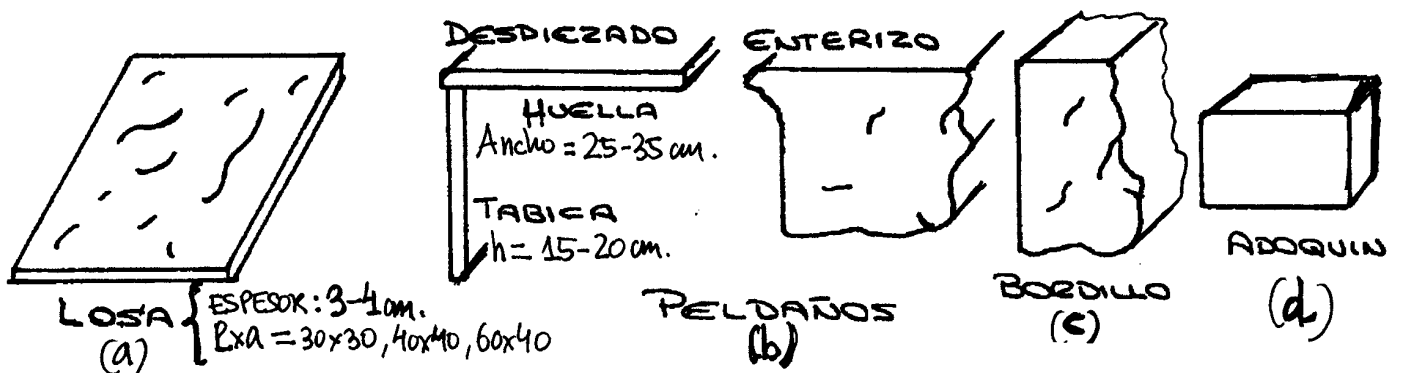


Figura 6.3.4.3.2.- Aplicaciones de los materiales pétreos: Pavimentos

Tipos de pavimentos.

Pavimentos interiores:

Losas colocadas a junta recta o trabajunta, ya que no importa en este caso la trabazón, sobre capa de gravín y mortero de agarre. Suelen ir pulimentadas para mayor belleza y resistencia química. Buen resultado en mármoles, travertinos y pizarras. Para mucho uso granitos.

Pavimentos urbanos:

Enlosados iguales a los anteriores pero con superficie antideslizante rugosa. Usar granitos ya que el mármol no admite bien el no estar pulido.

- Adoquinados a junta recta sobre lecho de arena con aglomerante asfáltico para impermeabilizar. Buen asiento y durabilidad. Usar basaltos o granitos.
- Pavimentos venecianos a base de pequeñas piezas o tasquiles de mármol (Fragmentos que saltan de la piedra al labrarla) u otro material pétreo colocados de forma continua sobre mortero. Se deben dejar juntas de dilatación en grandes superficies.
- Mosaico incierto de lascas (Trozos pequeños y delgados desprendidos de una piedra) o restos de labra de losas, encajando unas con otras sobre una capa de mortero.

6.3.4.4.- Cubiertas (Figuras 6.3.4.4.1 y 6.3.4.4.2).

Su aplicación es poco corriente en los materiales pétreos por su excesivo peso, se realiza con piedras lajosas, fácilmente divisibles en losas finas, en concreto las pizarras.

- Morfología: Losas o placas de reducido espesor, entre 4 y 6 mm y el resto de dimensiones muy superior, entre 200 y 600 mm. No deben ser muy grandes por su trabajo a flexión.

Exigencias:

- Físicas: Ligereza (Baja densidad). Impermeabilidad (Absorción agua < 0.7%).
- Mecánicas: Gran resistencia a flexión.
- Químicas: Resistencia agentes atmosféricos.

Materiales:

Generalmente, pizarras exfoliables, tanto bituminosas (las de Galicia) como las silíceas más duras (de Segovia) cumplen las exigencias antes citadas, por resistencia a flexión, poco peso, impermeabilidad y resistencia química, además de su fácil trabajabilidad (corte y taladro).

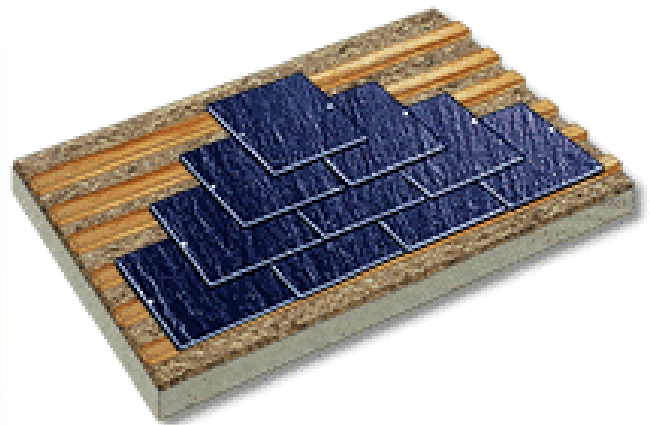
En cuanto a la colocación, las piezas se cortan en dimensiones uniformes, normalmente rectangulares, aunque se adopta también la forma de "escama". Se realizan las perforaciones que permitan el claveteado al soporte de madera. Para ello se utilizan ganchos de acero cincado o inoxidable. Las piezas se solapan entre sí, tanto lateralmente como en el plano de cubierta, comenzando por la parte inferior o alero.



Figura 6.3.4.4.1.- Casa con tejado de piedra natural que no es de pizarra.



(a) Piezas de pizarra



(b) Colocación



Figura 6.3.4.4.2.- Aplicaciones de los materiales pétreos: Cubiertas de pizarra

6.3.4.5.-Aplacados.

Son revestimientos verticales en paramentos, ya sean interiores o exteriores y cuya misión es de protección a los agentes atmosféricos, aunque en interiores es puramente decorativa.

Morfología:

Losas o placas similares a las de pavimentos aunque algo más delgadas (2 a 3 cm.) por no tener misión resistente. El corte puede ser cuadrado, rectangular o poligonal.

Exigencias:

- Físicas: Impermeabilidad. No ser heladizas. Baja conductividad térmica.
- Mecánicas: No son resistentes, en todo caso al impacto.
- Químicas: Resistencia a los agentes atmosféricos.

Materiales:

Casi todos los pétreos son apropiados al no exigírseles una especial dureza y resistencia. Los porosos son más aislantes térmicos y adherentes al mortero, pero menos acústicos e impermeables.

Se utilizan tanto en interiores como exteriores, Mármoles, Travertinos, Calizas, Areniscas, Granitos, teniendo en cuenta que las piedras carbonatadas son débiles a la acción de agentes atmosféricos.

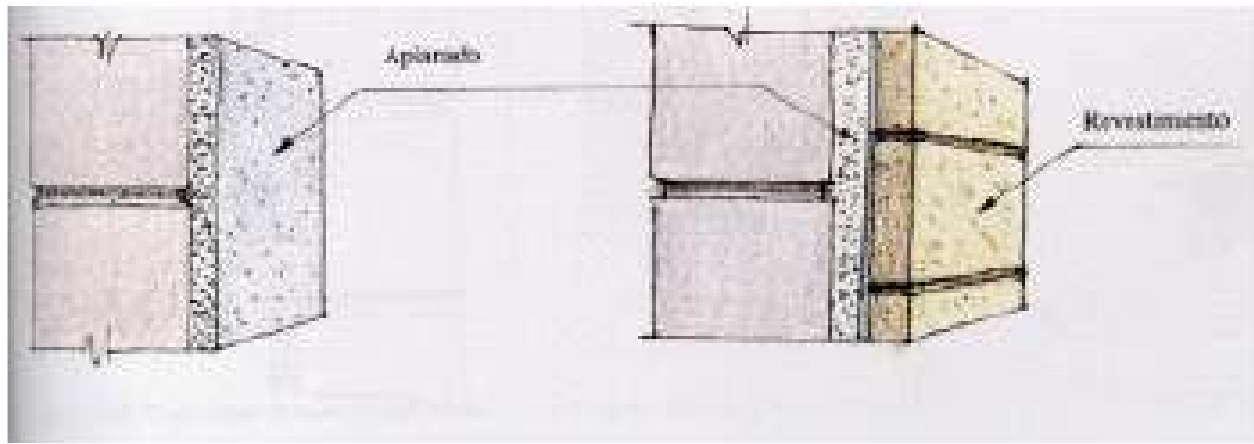
En cuanto a la colocación, con piezas rectangulares se suele usar el sistema de trabajunta, por imitar a la sillería, ya que no tienen misión resistente.

El principal problema es el anclaje al paramento, que puede ser sujeción directa al soporte mediante un material de agarre (Anclaje químico) (Figura 6.3.4.5.1) o un anclaje mecánico formando una fachada ventilada o trasventilada.

La fachada ventilada se compone fundamentalmente de dos hojas. La interior, de carácter resistente o no, y la exterior de protección frente a la acción directa de la lluvia y el sol, separando a ambas una cámara de aire en movimiento que permite mantener la temperatura ambiental, eliminar, facilitando la evaporación, el agua que haya podido penetrar en ella y entre ambas capas los materiales aislantes y los conectores o separadores elásticos de estas dos hojas, los anclajes. La ventilación puede conseguirse facilitando el "tiro" con aberturas practicadas en el arranque y coronación de la cámara o mediante juntas abiertas entre las piezas del aplacado o revestimiento que forman la hoja exterior.

La práctica usual de tomar las piezas con yeso o escayola es inaceptable ya que estos materiales, si bien son de fraguado rápido, son altamente higroscópicos y con la absorción de agua se reblandecen con el consiguiente desprendimiento de las piezas.

Los morteros de cemento no son prácticos por su lento fraguado aunque se pueden utilizar cementos cola, con el inconveniente de su fuerte retracción que puede desprender las piezas.



(a)



(b)

Figura 6.3.4.5.1.- Sujeción de la piedra al soporte: (a).- Sujeción directa (b).-Anclaje mecánico: Fachada ventilada

La utilización de adhesivos como productos de agarre en aplacados de piedra natural es, desde el punto de vista mecánico, correcta. Sin embargo este tipo de sujeciones presenta dos tipos de problemas. Por un lado, la piedra no ventila correctamente, lo que en cierto tipo de climas puede ocasionar un envejecimiento prematuro del material.

Por otra parte resulta, más frecuente de lo normal, una mala colocación del adhesivo, bien por falta de conocimientos del operario, bien por un ahorro de producto, al no rellenar toda la superficie de contacto, ocasionando el desprendimiento repentino de las piezas.

La utilización de anclajes metálicos (Figura 6.3.4.5.2) garantiza la fijación del sistema al soporte y la utilización de perfiles metálicos asegura una colocación perfecta e independiente del recubrimiento pétreo, respecto del soporte de colocación. Ahora, las losas pétreas se pueden colocar independientes respecto del soporte y del resto de las losas, por lo que se evita la acumulación de esfuerzos y por tanto el riesgo de roturas y desprendimientos. Además, el sistema de fachadas ventiladas representa un importante ahorro energético para las viviendas. El recubrimiento pétreo produce una cámara de aire con características intermedias, entre la atmósfera y el edificio, lo cual combinado con un aislamiento termo-acústico continuo, mejora la habitabilidad y reduce el coste en la climatización de la edificación.



(1)

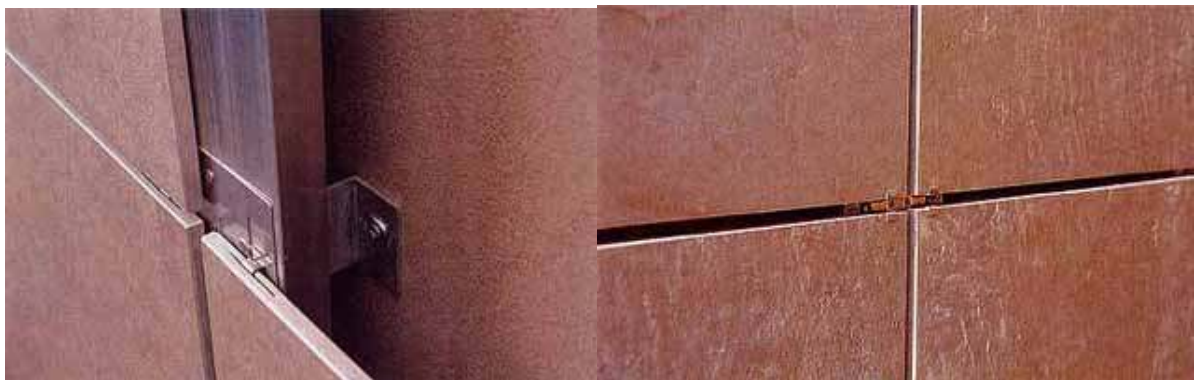


Figura 6.3.4.5.2.- Distintas fases del montaje de la perfilaría de una fachada ventilada sistema FV.

1. Detalle separador en L. 2. Perforación para la colocación de separadores.
3. Disposición de los separadores ya colocados. 4. Colocación de los perfiles.
5. Tramo de fachada con los perfiles ya colocados.

Lo adecuado es utilizar arpones de acero cincado o inoxidable, sobre los que se apoya la pieza, impidiendo que carguen unas sobre otras y que se suelten. La cámara interior se puede rellenar o no con un mortero para mejor resistencia al impacto, pero entonces el aislamiento de la humedad es menor.

Debe quedar bien clara la limitación de las dimensiones de las placas de piedra que, salvo necesidades de proyecto muy justificadas, no deben dar superficies mayores de 1.00 m². (teniendo en cuenta la dificultad de montaje de placas mayores) y que el canto mínimo no debe ser menor de 30 mm en granitos de buena calidad y 40 mm en el resto de piedras calizas y mármoles, aumentándose estos valores mínimos en piedras muy porosas o veteadas como el travertino.

En la figura 6.3.4.5.3 pueden verse diversos aplacados de piedra natural.



Figura 6.3.4.5.3.-Aplacados de piedra natural.

6.3.5.- Rocas más utilizadas.

6.3.5.1.- Rocas ígneas.

De entre todas ellas destacamos los granitos y basaltos por sus aplicaciones constructivas:

Granito.

Es una roca formada por tres minerales cuyos cristales se pueden diferenciar a simple vista: Cuarzos, feldespatos y micas en sus distintas variedades y porcentajes variables, dando lugar a una gama de granitos de aspecto y propiedades diferentes.

Su formación se produjo en las capas profundas de la tierra por lo que se clasifica como roca Ígnea Intrusiva, apareciendo en la superficie en grandes embolsamientos o batolitos que emergen en el transcurso del tiempo.

El tamaño de sus cristales varía dependiendo de la velocidad de enfriamiento aunque normalmente éste ha sido lento permitiendo la agrupación cristalográfica por lo que el tamaño de grano suele ser medio o grueso y raramente fino que se forma con enfriamientos rápidos. Dicho tamaño oscila entre 0,1 a 1,2 mm (medio) y 1 a 2 mm (grueso), aunque presentan a veces cristales de mayor tamaño (fenocristales).

Su composición química influye enormemente en su comportamiento pero también su constitución cristalográfica. De estas dos variables dependen básicamente sus propiedades y características, existiendo una gran gama de calidades entre los granitos.

El cuarzo: Es un óxido de sílice (SiO_2) que aporta gran resistencia mecánica a la roca (puede alcanzar los 2.000 Kg/cm^2) y la mayor dureza que alcanzan los materiales usados en construcción (7 en la escala de Mohs) así como una elevada resistencia química (sólo atacable por el ácido fluorhídrico).

El feldespato: Es un silicato complejo con dos variedades según el elemento químico que predomine en su composición. Las ortoclasas (potásico) y las plagioclasas (sódico-cálcicos). Es un mineral duro y resistente pero menos que el cuarzo (6 en la escala de Mohs) presentando en su aspecto químico el problema de la caolinización, alteración por agentes atmosféricos en presencia de humedad, separándose cristales de SiO₂ por un lado y de silicatos aluminicos por otro, hidratándose estos últimos dando lugar a las arcillas y caolines.

La mica: Es un silicato con aluminio, potasio y sodio pero que aparece hidratada. Tiene dos variedades características: La moscovita (potásica de color blanco) y la biotita (ferromagnésica de color negro) siendo más alterable. Las micas dan granitos blandos (al estar hidratada su dureza baja a 2 ó 3) menos resistentes mecánicamente (pero más los formados por biotita o mica negra que los que contienen moscovita o mica blanca) al igual que químicamente (los enlaces de los átomos metálicos son más débiles que los del Si con el O del cuarzo). También la mica tiene mayor dilatación térmica disgregándose la roca por el calor. Hace sin embargo más labrable el material siendo, en general, los granitos difíciles de trabajar.

El tamaño del grano influye así mismo de forma importante en la resistencia mecánica y química. Los granos gruesos dan mayor resistencia a esfuerzos de compresión pero, al ser menos coherentes y adherentes, la resistencia a flexotracción es menor que en los de grano fino, más compactos y de partículas mejor adheridas, con lo que también se comportan mejor a la abrasión.

Físicamente son más disgregables por posible heladicidad del agua en el interior de la roca, aunque la porosidad es muy reducida en todos los granitos. El ataque químico, sin embargo, es más significativo en los cristales pequeños que presentan mayor superficie específica de contacto con agentes agresivos como el CO₂ atmosférico que ataca a las micas y los feldespatos en presencia de la humedad.

En general es una roca dura, dependiendo de su contenido de cuarzo y feldespatos, de alta resistencia mecánica, aunque menos los micáceos, y también química con los problemas ya citados.

Al admitir el pulimento reducimos notablemente la agresión química, más fácil en superficies rugosas donde se depositan los agentes agresivos. Su fácil labra es otra característica que impide trabajos complejos por lo que se usa en bloques o placas, cortados con sierra diamantada. Su uso está indicado en pavimentos por su resistencia al desgaste o abrasión y en aplacados de paramentos, usándose también en fábricas de sillería en las zonas donde más abunda como Galicia, Castilla o Cataluña. Las variedades más conocidas en España son el gris Segovia, el verde Santiago, el rosa Porriño y el rojo Imperial.

Basaltos.

Su formación en capas externas de la tierra, hace que esté clasificada como roca efusiva o volcánica. Su enfriamiento rápido le confiere estructura cristalina pero de micrograno, teniendo aspecto de masa verde grisácea.

No contiene cuarzo pero el feldespato y el olivino, mineral principal con Fe, le confieren gran dureza (menor que el granito) y resistencia mecánica muy elevada. Roca poco alterable químicamente.

Su particular característica de dividirse en prismas permite la fácil obtención de sillarejos y adoquines para construcción.

6.3.5.2.- Rocas sedimentarias.

La disgregación de las formaciones litológicas por procesos de degradación física y/o alteración química, da lugar a la formación de las rocas sedimentarias.

Las rocas sedimentarias, como se expuso en temas anteriores, pueden tener diversas clasificaciones, estableciéndose aquí las siguientes:

- Clásticas o detríticas: Formadas por clastos o detritus de otras rocas.
- Químicas: Formadas en la fase evaporítica de la sedimentación.
- Organógenas: Cuando el elemento cementado es básicamente de origen orgánico o restos fósiles.

Dentro de esta clasificación se considera a su vez la granulometría o distribución por tamaños y la composición de los mismos, con gran influencia en las características constructivas del material.

De entre ellas destacamos por su aplicación en construcción las calizas y las areniscas.

Calizas.

Son rocas cuyo mineral más característico es la calcita o carbonato cálcico, CO_3Ca , conteniendo también dolomía o carbonato magnésico CO_3Mg y óxidos metálicos de Al y Fe ya que hay que tener en cuenta que, debido a su origen sedimentario, la heterogeneidad es una característica de su composición.

Su origen puede ser químico por precipitación de soluciones bicarbonatadas (como la toba o travertino) o de tipo orgánico por cementación caliza de esqueletos y caparazones de animales (como la creta). Pueden presentar estructura cristalina o amorfa según la variedad de calcita que las forme como mineral principal.

Su resistencia mecánica es bastante inferior a la de los granitos (no superan los 500 Kg/cm^2) pero suficiente para su uso en construcción. Su valor depende directamente del grado de porosidad, los minerales y el tamaño de los cristales. La dureza es del orden de 3-4 en la escala de Mohs, siendo pues una roca bastante blanda y labrable.

Su debilidad química es el principal problema que presentan, pues producen efervescencia con los ácidos que las atacan y disuelven. Los agentes atmosféricos producen un efecto importante sobre la piedra ya que, en presencia de humedad, que facilita la combinación química, el CO_2 forma bicarbonatos cálcicos solubles en agua y el SO_2 de los humos y atmósferas ácidas industriales forma sulfatos cálcicos o yesos también solubles y que general costras que se desprenden disgregando la piedra.

El calor afecta también a estas rocas ya que a los 900°C se descomponen dando lugar a CO_2 y CaO o cal viva, disgregándose.

Su uso en construcción es muy importante ya que son materias primas de cales y cementos, formando parte de hormigones y aglomerados, bituminosos como gravas y arenas de machaqueo.

En obra se usan directamente en fábricas de mampostería, sillería y aplacados así como en elementos decorativos, no siendo apropiadas en pavimentación por su desgaste, aunque algunas calizas cristalinas se usan en embaldosados y bordillos.

Existen variedades que admiten bien el pulimento y comercialmente se venden como mármoles aunque no lo son, como ocurre con los travertinos o tobas, la piedra de Borriol y los denominados crema marfil y rojo Alicante.

Areniscas.

Las rocas detríticas están formadas por material fragmentado depositado de origen diverso, pudiendo aparecer disgregado o cementado.

Los depósitos pueden deberse a las siguientes causas:

- Depósitos por hielo: deposita clastos sin clasificar y sin apenas alteración per sé.
- Depósitos por viento: manifiestan estratificación cruzada según la dirección del flujo.
- Depósitos por agua: deposita clastos con mayor grado de clasificación según su densidad, porosidad, grado de redondez, esfericidad...
- Por esfuerzos mecánicos: Dando conjuntos macloideos o miloníticos de ámbito local.

Las sedimentarias detríticas compactas son rocas que, a causa de fenómenos físico-químicos como la compactación y otros procesos de diagénesis se produce la cementación del material fragmentado por materiales en solución, pasando de sedimentos a ser rocas coherentes. Las arenas pueden estar constituidas por diversos minerales procedentes de la disgregación de rocas ígneas o sedimentarias como el cuarzo y feldespatos (de la descomposición de los granitos) y la calcita (de rocas calizas) dando lugar a arenas silíceas o calizas, llevando también compuestos férricos y minerales diversos.

El cemento y/o matriz son las sustancias que consolidan los clastos, dando lugar a rocas compactas. Pueden ser de tipo silíceo (SiO_2), calizo (CO_3Ca), etc., según las sales que precipiten sobre las arenas.

Son cuatro los tipos fundamentales de areniscas según la composición química de las arenas y el cemento: arenas silíceas con cemento silíceo o calizo y arenas calizas con cemento silíceo o calizo.

Según el tamaño de grano se denominan, según Petitjhon y otros autores en (Tabla 6.3.5.2.1):

- Ruditas > 2 mm.
- Arenitas, entre $\frac{1}{16}$ a 2 mm.
- Lutitas $< \frac{1}{16}$ mm.

En el caso de alto contenido calizo pasan a denominarse Calciruditas, Calcarenitas o Calcilutitas. Cuando el contenido en elementos orgánicos en forma de restos esqueléticos duros o fósiles es elevado también reciben la denominación de biocalcarenitas o bioruditas.

Sus propiedades varían enormemente de unas a otras ya que el predominio de compuestos silíceos mejora la resistencia mecánica y sobre todo la dureza por el cuarzo, mientras que las calizas son menos resistentes y duras. También el contenido de Fe influye favorablemente en dichas propiedades.

En cuanto a resistencia química la influencia es positiva en la sílice o cuarzo, mientras que la caliza hemos visto que es muy atacable. El Fe al pasar a formas más oxidadas aumenta de volumen con rotura interna de la roca.

Tabla 6.3.5.2.1.- Clasificación de las areniscas según el tamaño de grano,

| TAMAÑO DE GRANO.(mm) | CLASE | COMPACTAS | CARBONATADAS |
|----------------------|-------------|--------------------------|-----------------|
| De 2 a 256 | RUDITAS -> | BRECHAS CONGLOMERADOS | -> CALCIRUDITAS |
| De 1/16 a 2 | ARENITAS -> | ARENISCAS | -> CALCARENITAS |
| De 1/256 a 1/16 | LUTITAS -> | LIMOLITAS ARCILLITAS | -> CALCILUTITAS |

La porosidad es un factor fundamental en su comportamiento pues, además de restar resistencia mecánica, facilita el ataque químico e incluso acciones físicas como el hielo por agua ocluida, produciendo la disgregación de la piedra. Es importante también el grado de cementación, ya que si los granos no tienen la suficiente adhesión las propiedades mecánicas se reducen considerablemente.

Su uso en construcción es muy variado por su fácil talla, ya que suelen extraerse embebidas en agua, endureciendo luego. Se utilizan en aplacados, jambeados y decoración, no siendo adecuadas en pavimentos por su erosionabilidad. Son rocas abundantes en toda España.

6.3.5.3.- Rocas metamórficas.

Los fenómenos geológicos ocasionan modificaciones de la presión y temperatura que producen transformaciones de la estructura de las rocas ígneas y sedimentarias, dando lugar a las rocas metamórficas, de igual o similar composición química a la piedra original, pero de distinta cristalografía y propiedades.

Las principales rocas de este grupo, desde el punto de vista constructivo, son las pizarras y los mármoles. El grado de metamorfosis influye notablemente en las propiedades dando origen a diversas calidades de cada roca.

Pizarras.

Son rocas procedentes de la metamorfosis de rocas arcillosas por presión y temperatura. Aparecen estructuradas según los lechos de la sedimentación original, siendo fácilmente divisibles en láminas de pequeño espesor, llegando a los 5 o 6 mm.

Sus propiedades básicas son:

- Una buena resistencia a flexión respecto a otros pétreos.
- Facilidad de corte y taladrado al ser una roca blanda.
- Ligereza y buena resistencia química a los agentes atmosféricos.

Su porosidad es muy reducida con absorción al agua similar al granito. Hay variedades que admiten el pulimento.

Las aplicaciones que se derivan de estas propiedades son, en primer lugar, la de elemento de cubrición por su durabilidad, ligereza y resistencia a flexión. También se usa en faldones verticales de cubiertas, aplacados y pavimentos.

En España se encuentran buenas pizarras en Bernardos (Segovia) y en Galicia, País Vasco y Extremadura.

Mármoles.

Son rocas procedentes de la transformación de calizas y dolomías que, a causa de las grandes presiones y temperaturas, aumentan su dureza y recristalizan en mayor tamaño de grano, reduciendo su porosidad.

Los mármoles procedentes de rocas dolomíticas (CO_3Mg) tienen mayor dureza, resistencia al calor y tamaño de grano que los de origen calizo.

Los minerales base son blancos, dando lugar a mármoles puros, debiéndose la coloración a impurezas que, según la concentración, ofrecen una gran gama de tonalidades que van de gris a negro (por tinción de carbones) de rosa a rojo oscuro (debido al hierro) y verdes (por el Olivino o silicato magnésico). Los dibujos y veteados son debidos a elementos fosilizados en su interior, o a filtraciones de sales y minerales por las grietas que se ocasionan en la metamorfosis.

Su resistencia mecánica a compresión es variable, no superando los 800 Kg/cm^2 . La dureza es mayor que la del mineral de origen (3 en la calcita y 4 en la dolomía) y resisten bien a la abrasión, pudiéndose pulir y labrar.

Su resistencia química mejora con el pulimento pero son atacables por los ácidos (incluso débiles como el láctico o el cítrico) y también por agentes atmosféricos (CO_2 y SO_3) en presencia de humedad, aunque en menor grado que las calizas por su gran compacidad.

Su utilización en construcción es muy amplia, desde pavimentos a aplacados exteriores e interiores y en elementos decorativos o esculturales.

En España son muy abundantes, aunque se importan variedades de países como Italia, Portugal, Bélgica o Yugoslavia.

Las variedades más conocidas del levante español son: Blanco y gris de Macael (Almería), crema (Játiva), negro (Callosa), rojo (Aspe y Monovar) y rosa (Valencia).

6.3.6.- Propiedades de la piedra natural.

6.3.6.1.- Introducción.

Las propiedades de las rocas ornamentales sirven para poder diferenciarlas unas de otras y para poder dar a cada una la utilización más adecuada a sus características. La mayor parte de esas propiedades será de gran importancia para evaluar la resistencia mecánica y estabilidad de parte o de la totalidad de las obras en que vayan a ser empleadas, otras tendrán incidencia en la seguridad de utilización de las construcciones o, en caso de incendio en la higiene y salud de los usuarios, en la protección contra el ruido o en el ahorro de energía y aislamiento térmico de los edificios.

La evaluación de las propiedades de una roca ornamental se obtiene después de someterla a ensayos en laboratorios especializados. Por otro lado, el resultado obtenido en un determinado ensayo realizado a una roca ornamental caduca pasado cierto tiempo. Tiene un período de validez limitado, que dependerá de las características estratigráficas del yacimiento de donde es extraída y del ritmo de explotación a que esté sometido.

Las discontinuidades estratigráficas, los cambios laterales de facies, la mayor o menor facturación, la existencia de pliegues y otros factores geológicos presentes en un yacimiento pueden implicar cambios significativos de las propiedades de un material pétreo en distancias horizontales y verticales muy cortas.

Tomando en consideración aquellas propiedades más directamente relacionadas con la resistencia mecánica y la estabilidad de las construcciones, y dependiendo del uso a que vaya a estar destinada una roca ornamental, cada característica técnica, independientemente de su valor, tiene una importancia relativa diferente tal y como se indica en la tabla 6.3.6.1.1 y se comenta en los apartados siguientes.

Tabla 6.3.6.1.1.-Importancia de las características tecnológicas de la piedra natural en relación con sus aplicaciones en construcción.

| CARATERISTICA TECNOLOGICA | REVESTIMIENTOS | | PAVIMENTOS | | PELDAÑ OS ESCALE RA | PIZARRAS CUBIERTA S |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|---------------------------|
| | INTERIO RES | EXTERIO RES | INTERIOR ES | EXTERIOR ES | | |
| 1.- DESCRIPCION PETROGRAFICA | I | I | I | I | I | I |
| 2.- ANALISIS QUIMICO | PI | PI | PI | PI | PI | PI |
| 3.- DENSIDAD APARENTE | I | I | I | I | I | I |
| 4.- ABSORCION AGUA | PI | I | PI | I | PI | MI |
| 5.- RESISTENCIA COMPRESION | PI | I | PI | I | I | -- |
| 6.- RESISTENCIA FLEXION | PI | I | I | I | MI | MI |
| 7.- RESISTENCIA CHOQUE | -- | -- | I | MI | MI | -- |
| 8.- RESISTENCIA HELADAS | -- | MI | -- | MI | -- | -- |
| 9.- RESISTENCIA DESGASTE | PI | PI | I | MI | MI | -- |
| 10.- RESISTENCIA CAMBIOS TERMICOS | PI | MI | PI | MI | I | MI |
| 11.- RESISTENCIA ANCLAJE | I | MI | -- | -- | -- | -- |
| 12.- MODULO ELASTICIDAD | -- | I | -- | I | -- | PI |
| 13.- COEFICIENTE DILATAACION | -- | MI | -- | I | -- | -- |
| 14.- MICRODUREZA KNOOP | -- | PI | I | MI | I | -- |
| 15.- RESISTENCIA SO ₂ | -- | I | -- | I | -- | MI |
| 16.- CONTENIDO CARBONATOS | -- | -- | -- | -- | -- | MI |

MI = MUY IMPORTANTE I = IMPORTANTE PI = POCO IMPORTANTE

En la figura 6.3.6.1.1 y como ejemplo se dan las propiedades más características de las pizarras Bernardos.





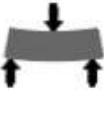





| | | | | |
|---|---|--|---|---|
|  | 2,77 g/cm ³ Densidad aparente | | 104,69 Mpa Resistencia a la compresión |  |
|  | 0,01 % Resistencia a las heladas | | 0,23 % Absorción de agua |  |
|  | 49,41 Mpa Resistencia a la flexión | | 4,48 mm Resistencia al desgaste por rozamiento |  |
|  | 3.979,16 N Resistencia a los anclajes | | 0,05 % Resistencia a los cambios térmicos |  |
|  | 0,05 % Resistencia al choque | | <0,02 % Resistencia a los ácidos |  |

Figura 6.3.6.1.1.- Propiedades de las pizarras Bernardos.

6.3.6.2.- Descripción petrográfica.

La descripción petrográfica de una roca ornamental es importante conocerla a fin de poder establecer su clasificación petrográfica, y poner en evidencia una serie de características, como pueden ser la existencia de poros, discontinuidades, fisuras, alteraciones, etc., que pueden tener influencia en el comportamiento del material en su fase de utilización y condicionar su evolución en el transcurso del tiempo.

6.3.6.3.- Análisis químico.

El conocimiento de la composición química de una roca sirve para poner de manifiesto la presencia de compuestos que, aún en cantidades pequeñas, por ser fácilmente alterables, pueda afectar a la durabilidad de un material en su fase de utilización.

La composición química de una roca ornamental sólo se llega a determinar en ocasiones muy especiales, pues el ensayo se encarece a medida que aumenta el grado de precisión de las determinaciones. Habitualmente se recurre a hallar el contenido porcentual de unos pocos elementos químicos, cuya elección depende del tipo de roca.

No existe ninguna norma UNE para determinar la composición química de granitos, mármoles, calizas o pizarras ornamentales. Tal vez sea porque es una determinación poco importante para rocas inalteradas.

Los componentes principales que es preciso determinar cuando se realiza la caracterización química de una roca son: SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, y pérdida por calcinación.

6.3.6.4.- Densidad aparente y coeficiente de absorción de agua.

Estas dos determinaciones se obtienen a partir de un mismo ensayo y entre ambas existe una relación inversa.

Para un mismo tipo de roca, cuanto mayor sea la densidad aparente, menor es la porosidad y menor será el coeficiente de absorción de agua, por el contrario a menor densidad aparente, mayor porosidad y mayor coeficiente de absorción de agua.

Una roca porosa absorberá más agua y sus minerales serán más susceptibles al ataque por la propia agua o por otros agentes químicos.

Para un mismo tipo de roca, aquella que sea más porosa presentará valores más bajos de resistencia a esfuerzos mecánicos.

La densidad aparente es necesario para el cálculo del peso propio de los elementos que constituyen la obra.

El coeficiente de absorción de agua es de suma importancia cuando los materiales van a estar colocados a la intemperie, en contacto con agua o con la humedad del suelo.

Según la Norma UNE 22-172 de granitos ornamentales y la Norma UNE 22-182 de mármoles y calizas ornamentales, el ensayo para determinar la densidad aparente y la absorción de agua se realiza con tres probetas cúbicas de 7 cm de arista, desecadas previamente en estufa a 110 °C hasta peso constante, G_S , sumergidas posteriormente en agua filtrada, a 20 °C, también hasta peso constante G_H , durante un tiempo mínimo de 48 horas.

A partir de los pesos en seco G_S , pesos en húmedo G_H y de los pesos de las probetas húmedas sumergidas en agua G_A , se determinan la densidad aparente, ρ_a y el coeficiente de absorción de agua, C_A , mediante las expresiones siguientes:

$$\rho_a = \frac{G_S}{G_H - G_A} \quad (6.3.6.4.1)$$

$$C_A(\%) = 100 \frac{G_H - G_S}{G_S} \quad (6.3.6.4.2)$$

El coeficiente de absorción de agua mide el tanto por ciento en peso de agua absorbida en relación al peso en seco de la probeta. Como resultados definitivos se toman las medias aritméticas de los resultados de las tres probetas.

Para pizarras ornamentales, de acuerdo con la Norma UNE 22-191, se emplean cuatro placas o losas representativas de una partida y se utiliza el mismo procedimiento operativo que para granitos y mármoles.

La densidad aparente se obtiene a partir de la expresión anterior (6.3.6.4.1), pero según la norma debe expresarse en $\frac{g}{cm^3}$, mientras que para la absorción de agua la norma señala que se emplee la siguiente expresión:

$$C_A(\%) = 100 \frac{G_H - G_S}{G_H - G_A} \quad (6.3.6.4.3)$$

que mide el tanto por ciento en peso de agua absorbida en relación al volumen de las probetas.

Si se comparan las expresiones (6.3.6.4.2) y (6.3.6.4.3) y se aplican a una pizarra ornamental, dado que G_s , siempre será mayor que G_H-G_A , resultará que la absorción de agua referida al peso de las muestras será menor que si se refiere al volumen de las mismas. Esto significa que si se determina la absorción de agua de una pizarra siguiendo las normas UNE de granitos o de mármoles, se obtiene un valor más pequeño, y por tanto mejor que si se hace con su propia norma.

6.3.6.5.- Resistencia a compresión.

El valor de resistencia a compresión debe conocerse siempre que la roca tenga que soportar cargas elevadas, tanto en su propia utilización como durante el transporte y almacenamiento.

En términos generales, puede decirse que las rocas empapadas en agua resisten menos que cuando están secas, y que las rocas estratificadas resisten más cuando el esfuerzo se ejerce en dirección normal a la estratificación que cuando se ejerce paralelamente.

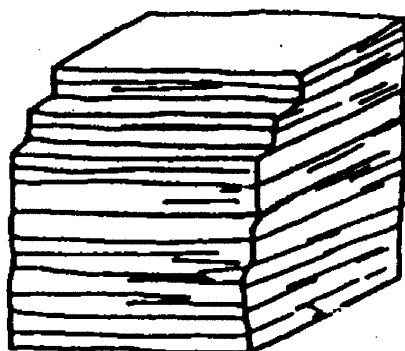
Tanto para granitos (Norma UNE 22-175) como para mármoles y calizas (UNE 22-185) y para pizarras ornamentales (UNE 22-194), el ensayo se realiza con seis probetas, de forma cúbica con 7 cm de arista, o de forma cilíndrica con 7 cm de diámetro y una relación $\frac{\text{Altura}}{\text{Diámetro}}$ que no sea inferior a 1.

Las probetas se sumergen en agua filtrada, a 20 °C durante 48 horas y posteriormente se someten a cargas crecientes y centradas en las superficies de aplicación hasta la rotura. En el ensayo se emplea una prensa provista de rótula de segmento y se utiliza una velocidad de aplicación de la carga comprendida entre 0.49 y 0.98 MPa/s.

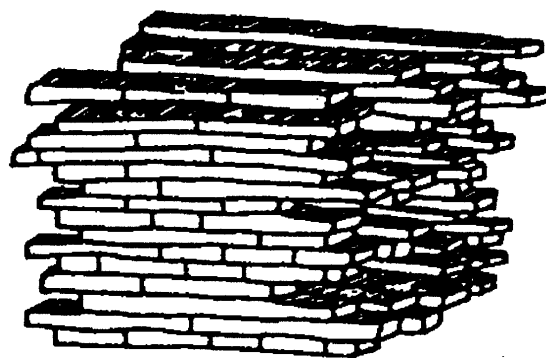
La resistencia a compresión se obtiene dividiendo las cargas de rotura por los promedios de las áreas de las bases superior e inferior de cada probeta. Se expresa en megapascales (MPa).

Las tres normas indican que en tres probetas la carga se aplique en dirección paralela a la dirección de aserrado y en las otras tres en dirección perpendicular.

En aquellos casos en que la dirección de aserrado no está marcada en las probetas se da como resultado el promedio de los valores obtenidos para las seis probetas. En otras ocasiones, cuando se aprecia la estratificación en rocas sedimentarias o esquistosidad en pizarras, las cargas se suelen aplicar en dirección perpendicular a esas direcciones.



ESTRATIFICACION



ESQUISTOSIDAD

Un factor muy importante en la realización del ensayo es que debe existir paralelismo entre las bases superior e inferior de cada probeta. La falta de paralelismo hace que el reparto de cargas no sea uniforme y que se obtengan valores de resistencia a compresión más bajos.

6.3.6.6.- Resistencia a flexión.

Este tipo de sollicitación está presente en el caso de las pizarras de techar y en algunas de las utilizaciones de mármoles y granitos cortados en placas, como por ejemplo dinteles de huecos y peldaños de escaleras. Cobra particular relevancia en el caso de revestimiento exterior de edificios de gran altura por los empujes a que son sometidas las placas por la acción del viento.

Si un elemento constructivo tiene que trabajar a flexión se producirán tracciones en algunas de sus partes, y las rocas resisten mal las tracciones. Por consiguiente, si los esfuerzos que ha de soportar una placa son elevados o los apoyos están muy separados habrá que dotarla de un canto o espesor grande.

De acuerdo con la Norma UNE 22-176 de granitos ornamentales y la Norma UNE 22-186 de mármoles y calizas ornamentales, la determinación de la resistencia a flexión se puede realizar con seis probetas prismáticas de 300 x 25 x 40 MM, que es el caso más habitual, o con probetas de 90 x 30 x 30 MM talladas a partir de testigos de sondeos, que previamente hayan estado sumergidas en agua filtrada, a 20 °C, durante un tiempo mínimo de 48 horas.

Para probetas de 300 x 25 x 40 mm el ensayo se realiza en una prensa a la que se adapta un dispositivo de flexión como el que se esquematiza en la [figura 6.3.6.6.1](#), empleando una carga que se transmite a velocidad de 10 N/s a través de dos rodillos cilíndricos distanciados 100 mm sobre la probeta situada sobre los dos apoyos cilíndricos separados 200 mm.

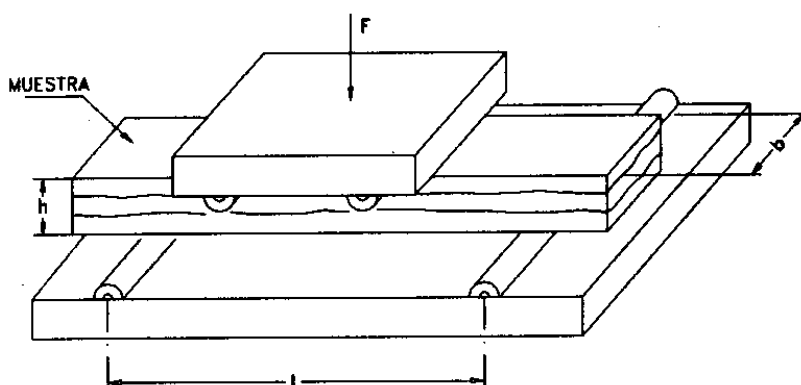


Figura 6.3.6.1.1.- Dispositivo de flexión para probetas de 300 x 25 x 40 mm.

La resistencia a flexión, σ_f , en megapascales, se obtiene a partir de la expresión:

$$\sigma_f(\text{MPa}) = \frac{1}{100} \frac{3FL}{4bh^2}$$

en la que F es la carga de rotura en N, L la distancia entre apoyos inferiores en cm, b la anchura en cm de las caras sometidas al esfuerzo y h la altura de la probeta en cm.

Para probetas de 90 x 30 x 30 mm, el ensayo se realiza en una prensa a la que se adapta un dispositivo de flexión como el que se esquematiza en la [figura 6.3.6.6.2](#). La carga se aplica a través de un único rodillo oscilante, centrado sobre la probeta, que a su vez se apoya en dos rodillos separados 80 mm, empleando una velocidad de carga de 70 N/s.

El valor de la resistencia a flexión, σ_f , se obtiene de la expresión:

$$\sigma_f(\text{MPa}) = \frac{1}{100} \frac{3FL}{2bh^2}$$

en la que F, L, b, h tienen el mismo significado que en el caso anterior.

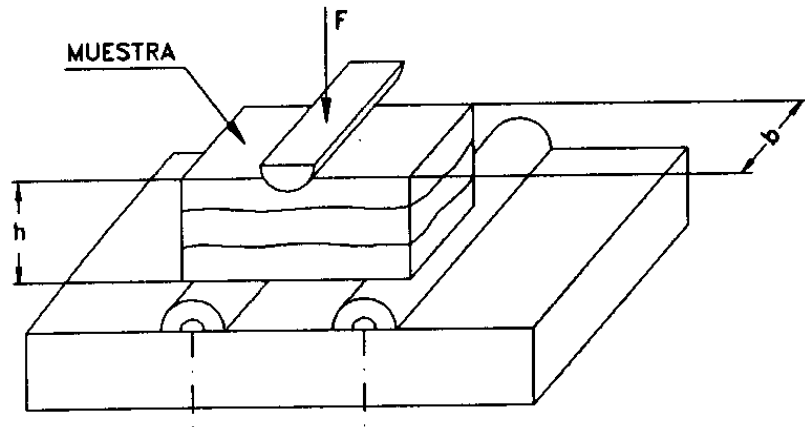


Figura 6.3.6.1.2.- Dispositivo de flexión para probetas de 90 x 30 x 30 mm.

La norma indica que en tres probetas el esfuerzo se ejerza en dirección paralela a la de aserrado y en otras tres en dirección perpendicular, pero al igual que ocurre con el ensayo de resistencia a compresión, en muchas ocasiones esas direcciones no aparecen indicadas.

Para placas y losas de pizarras ornamentales, Norma UNE 22-195, se emplean cuatro piezas enteras como mínimo, secas o embebidas en agua, que sólo se podrán cortar cuando sobresalgan lateralmente de los apoyos de la máquina de ensayo.

El dispositivo de flexión que se emplea es el que se esquematiza en [la figura 6.3.6.1.3](#), empleando una separación entre apoyos de 200 mm o de 100 mm dependiendo del tamaño de las piezas. La velocidad de carga ha de ser de 10 N/s.

La expresión que da el resultado de la resistencia a flexión es la misma que se emplea para granitos, mármoles y calizas con probetas de 90 x 30 x 30 mm.

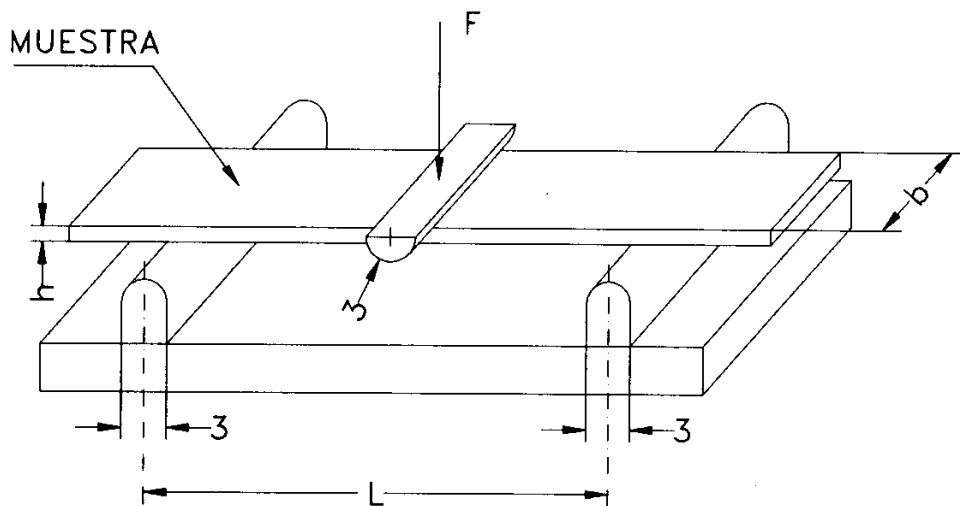


Figura 6.3.6.1.3.- Dispositivo de flexión para placas de pizarra.

6.3.6.7.- Resistencia al choque.

El valor de la resistencia al choque es importante para una roca que vaya a ser empleada en solados, peldaños de escaleras, en encimeras o mostradores, aunque la rotura de las placas se suele producir generalmente en zonas próximas a las aristas o vértices, por problemas de asentamiento que ponen en evidencia un esfuerzo de flexión u otro efecto de rotura, más que un impacto producido por la caída de objetos.

Para la determinación de la resistencia al choque de placas y losas de pizarras ornamentales, Norma UNE 22-196, se utilizan cuatro placas de 20 x 20 x 3 cm.

Sobre cada placa situada en un lecho de arena de 10 cm de espesor, se deja caer una esfera de acero de 1 kg de peso desde una altura inicial de 5 cm, que se va aumentando gradualmente en 5 cm hasta que se produce la rotura de la muestra o hasta haber alcanzado una altura máxima de caída de 150 cm.

El resultado final es la media aritmética de las alturas a las que se produce la rotura de cada una de las muestras.

Para granitos, Norma UNE 22-179, y mármoles y calizas ornamentales, Norma UNE 22-189, se emplea el mismo procedimiento operativo utilizando cuatro placas de 20 x 20 x 3 cm con una esfera de 1 kg y cuatro plaquitas de 12 x 5 x 1 cm, procedentes del ensayo de microdureza Knoop con una esfera de 250 g de peso.

Como resultado final del ensayo se da el valor medio de las resistencias al choque de cada uno de los lotes de probetas, a pesar de que la Norma UNE 22-189 indique que el resultado final será la media aritmética de la resistencia al choque del conjunto de las ocho muestras.

6.3.6.8.- Resistencia a las heladas.

El valor de la resistencia a las heladas de una roca puede llegar a restringir su utilización en pavimentos y revestimientos para exteriores de edificios en áreas geográficas con climas húmedos y fríos. Las pizarras empleadas para techar, por su propia naturaleza y composición mineralógica, suelen mostrar gran capacidad de resistencia a las heladas, de ahí que su determinación sea poco significativa en este tipo de materiales.

La resistencia a las heladas pone de manifiesto la posibilidad de fracturación por la acción de las heladas. Se define por la pérdida de peso, expresada en % del peso inicial, después de haber sometido las probetas a 25 ciclos de heladas y deshielos.

El ensayo de resistencia a las heladas para granitos, mármoles y calizas ornamentales, Normas UNE 22174 y 22-184, se realiza sobre un mínimo de tres probetas cúbicas de 7 cm de arista. Las superficies de las caras deberán ser acabadas con carborundum cuyos granos estén comprendidos entre un tamiz 0.32 UNE 7-050 y otro tamiz 0.63 UNE 7-050.

Se desecan las probetas en una estufa a la temperatura de 110 °C, hasta peso constante. Se considera peso constante cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas no difiera en más del 0.2 %. A continuación, las probetas se sumergen totalmente en el agua, del tanque de deshielo, durante 48 h, utilizando unos recipientes adecuados.

Posteriormente se someten las probetas a 25 ciclos de hielo y deshielo, de modo que cada ciclo comprenda una permanencia de 20 h a temperatura de -15 °C y 4 h en agua a temperatura de 16 a 20 °C. Finalizado el último ciclo se desecan las probetas, hasta peso constante, determinándose el peso seco final.

En el caso de que la muestra se haya disgregado en varios trozos se considerara como peso final el de mayor peso. Si la muestra se desmenuza totalmente, se considera que el peso final es cero.

Los resultados se obtendrán de la forma siguiente:

$$H = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100$$

donde:

H = Índice o módulo de resistencia a las heladas

G₁ = Peso inicial de la probeta seca

G₂ = Peso final de la probeta después de los 25 ciclos de heladas y deshielo

Se tomara como resultado del ensayo la media aritmética de los resultados obtenidos en las tres muestras. Se expresarán también las alteraciones superficiales observadas así como la fracturación o destrucción de las probetas, si las hubiera.

Para pizarras ornamentales, Norma UNE 22-193, el procedimiento operativo es el mismo, pero utilizando cuatro placas o losas enteras sumergidas previamente en agua durante sólo 4 horas.

Además de la variación de peso y de las posibles alteraciones superficiales, se determina el módulo de rotura a flexión después de los ciclos de hielo- deshielo y se compara con el módulo de rotura a flexión de otras muestras secas y sin alterar.

6.3.6.9.- Resistencia al desgaste.

Una roca que sea más resistente al desgaste por abrasión que otra, será más apropiada para ser empleada en pavimentos que vayan a estar sometidos a tráfico intenso; por el contrario, sus costes de transformación, elaboración y pulimento serán mayores.

Para granitos, Norma UNE 22-173, mármoles y calizas, Norma UNE 22-183 y pizarras ornamentales, Norma UNE 22 -192, el ensayo de resistencia al desgaste por rozamiento se realiza con dos probetas cúbicas de 7 cm de arista, que se someten a desgaste por abrasión sobre un pista giratoria horizontal de acero, a lo largo de un recorrido de 1.000 m.

Sobre la pista se vierte abrasivo de carborundum, cuyos granos estén comprendidos entre un tamiz 0.33 y un tamiz 0.63, en cantidad de 50 g por cada cara de probeta a desgastar y agua filtrada a razón de 1 litro por cada cara.

Cada probeta está sometida durante el ensayo a una presión constante de 0.0588 MPa y se desgastan por tres caras que formen triedro.

A partir de la diferencia entre los volúmenes inicial y final de las probetas y de la superficie total de las caras sometidas a desgaste se calcula el desgaste lineal en mm, cuyo valor promedio se da como valor de resistencia al desgaste del material.

$$D(mm) = \frac{V_i - V_f}{A} = \frac{L_i^3 - L_1 L_2 L_3}{3L_i^2}$$

donde:

V_i = Volumen inicial de la probeta (mm³).

V_f = Volumen final de la probeta (mm³).

A = Superficie de las caras de las probetas en contacto (mm²).

6.3.6.10.- Resistencia a los cambios térmicos.

El resultado que se obtiene del ensayo de resistencia a los cambios térmicos se utiliza para predecir el comportamiento de un material pétreo frente a la acción de los agentes atmosféricos, de ahí su importancia para materiales que vayan a ser utilizados a la intemperie. El ensayo se realiza sometiendo a la roca a ciclos repetitivos de secado en estufa e inmersión en agua, por lo que la denominación de resistencia a los cambios térmicos tal vez resulte inadecuada y sea más apropiada llamarla resistencia a los cambios de humedad.

Para placas y losas de pizarras ornamentales, Norma UNE 22-197, se emplean cinco placas de forma rectangular o cuadrada representativas de una partida. Una placa se mantiene inalterada en ambiente de laboratorio, las otras cuatro se desecan en estufa a 105 °C hasta peso constante y se someten a 25 ciclos de calentamiento en estufa durante 20 h a 105 °C e inmersión en agua durante 4 horas a 20 °C.

Al final de los ciclos de humedad - sequedad se determinan las variaciones de peso de las probetas, se valoran las alteraciones superficiales que se hayan podido producir por comparación con la muestra y se ensayan a flexión, comparando el módulo de rotura de las cuatro probetas sometidas a ensayo con el de cuatro probetas inalteradas.

Los resultados se obtendrán de la forma siguiente:

$$R(\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} 100$$

donde:

R = Índice o módulo de resistencia a los cambios térmicos

P₁ = Peso inicial de la probeta seca

P₂ = Peso final de la probeta después de los 25 ciclos de de humedad-sequedad.

Para granitos, mármoles y calizas ornamentales no existe norma UNE. Se sigue el mismo proceso operativo utilizando cinco placas, pulidas si es el caso. Al final de los 25 ciclos de humedad - sequedad se registran las variaciones de peso y se describen las alteraciones superficiales de las probetas, sin someterlas a ensayos de resistencia a flexión.

6.3.6.11.- Módulo de elasticidad.

Mide la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria de una roca dentro del período elástico.

Las rocas muy compactas y de grano fino, como pueden ser las intrusivas y algunas metamórficas, muestran módulos de elasticidad elevados. Las rocas sedimentarias poco coherentes y muy porosas presentan módulos de elasticidad bajos. Para un mismo tipo de roca y para un valor determinado de la tensión aplicada, aquella que tenga un módulo de elasticidad más alto tendrá un valor más bajo de la deformación unitaria y, por tanto, será más consistente.

El módulo de elasticidad puede considerarse una determinación poco importante en cualquiera de los usos habituales de las rocas ornamentales, a menos que vayan a ser empleadas como piedra de mampostería o de sillería.

La Norma UNE 22-177 de granitos ornamentales y la Norma UNE 22-187 de mármoles y calizas ornamentales definen el módulo elástico de una roca como la relación entre la carga aplicada y la deformación unitaria dentro del período elástico.

Para la realización del ensayo se emplea una máquina apta para ensayos de compresión provista de un extensómetro capaz de medir deformaciones verticales en el punto medio de una probeta con precisión de 0.01 mm.

Sobre cada probeta se aplican cargas a razón de 0.49 a 0.98 MPa/s, de manera continua, sin choques ni brusquedades, hasta que se produzca la rotura, midiendo las cargas correspondientes a unas deformaciones verticales de 0.1 mm, 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm y así sucesivamente.

En un sistema de coordenadas rectangulares se representan en abscisas las deformaciones unitarias y en ordenadas las cargas, obteniendo una nube de puntos a la que se ajusta una curva. El módulo de elasticidad se obtiene calculando la pendiente de la curva y se expresa en megapascales.

Para el ensayo se emplean cuatro probetas cilíndricas con una relación (Altura/Diámetro) de la base comprendida entre 2 y 2.5. Dos probetas deben estar cortadas con la altura paralela a la dirección de aserrado y en otras dos en dirección perpendicular a la de aserrado, ejerciendo los esfuerzos en esas direcciones.

Para pizarras ornamentales la Norma UNE 22-195 que regula el ensayo de resistencia a flexión indica la forma de hallar el módulo de elasticidad adaptando al equipo un deflectómetro capaz de medir deformaciones verticales en el punto medio de las probetas mientras se realiza el ensayo.

Representando las cargas aplicadas y las flechas medidas por el deflectómetro en un sistema de ejes coordenados rectangulares, ajustando una recta o la nube de puntos y aplicando una fórmula se obtiene el valor del módulo de elasticidad de una pizarra ornamental.

A diferencia de estos módulos de elasticidad, en estudios de restauración de obras de piedra se suele emplear el módulo de elasticidad dinámico, ya sea longitudinal, a flexión o a torsión, que se determina mediante ensayos de frecuencia de resonancia.

Excitando una probeta de material, variando la frecuencia de excitación y registrando los desplazamientos de la probeta, se determina la frecuencia fundamental de resonancia. Conocida ésta, la longitud de la probeta y el peso específico aparente, a partir de una fórmula se obtiene el módulo de elasticidad dinámico.

Este método se emplea para detectar fisuras o microfisuras invisibles desde el exterior de una roca, alteraciones internas o comprobar reforzamientos de la cohesión conseguidos con ciertos tratamientos.

6.3.6.12.- Coeficiente de dilatación lineal

Como todos los materiales, las rocas se dilatan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Dada la baja conductividad térmica de las rocas, las dilataciones y contracciones suelen afectar sólo a una capa superficial de poco espesor. Debido a ello pueden llegar a producirse descascarillamientos en algunos tipos de rocas, ya que la masa interna no sigue los movimientos de la capa superficial por no haber sufrido una diferencia de temperatura tan acusada como ésta.

El coeficiente de dilatación lineal de una roca mide la variación relativa de longitud que experimenta una probeta de forma prismática en función de la temperatura. Su conocimiento puede resultar de gran importancia a la hora de prever juntas de dilatación cuando un material pétreo va a ser utilizado al exterior, en lugares con grandes cambios de temperatura.

No existe ninguna norma UNE para la determinación del coeficiente de dilatación lineal térmica de rocas ornamentales. El ensayo se puede realizar siguiendo el procedimiento operativo descrito por un documento de RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayo y de Investigación para Materiales de Construcción) del año 1978.

Para la realización del ensayo se utiliza un medidor de expansión constituido por un plato inferior, sobre el que se fija la muestra, y por una barra horizontal superior, soportada por dos columnas de acero invar, que lleva un captador que transforma el desplazamiento mecánico en una señal eléctrica que puede recogerse en un registrador (Figura 6.3.6.12.1).

Se emplean tres probetas como mínimo, de forma cilíndrica o prismática, en cuyos centros se disponen captadores de temperatura. Cada muestra, montada en el medidor de expansión, se introduce en una cámara climática haciendo variar la temperatura entre 10 y 50 °C, a una velocidad máxima de $10 \frac{^\circ\text{C}}{h}$, registrando simultáneamente la evolución de la deformación de la probeta y las variaciones de temperatura.

El coeficiente de dilatación lineal, en milímetros por metro y grado centígrado, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Coeficiente de dilatación lineal} \left(\frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right) = 1000 \frac{\Delta L}{L \Delta T}$$

que relaciona la deformación ΔL en mm con la longitud L de la probeta en mm y la variación de temperatura ΔT en °C.

Cuando no se dispone del instrumental necesario para efectuar un registro continuo de temperaturas y deformaciones lo que se hace es medir el coeficiente de contracción lineal a partir de probetas calentada previamente en estufa, utilizando un medidor de expansión y anotando el acortamiento que experimentan las probetas desde que salen de la estufa hasta que alcanzan la temperatura ambiente.

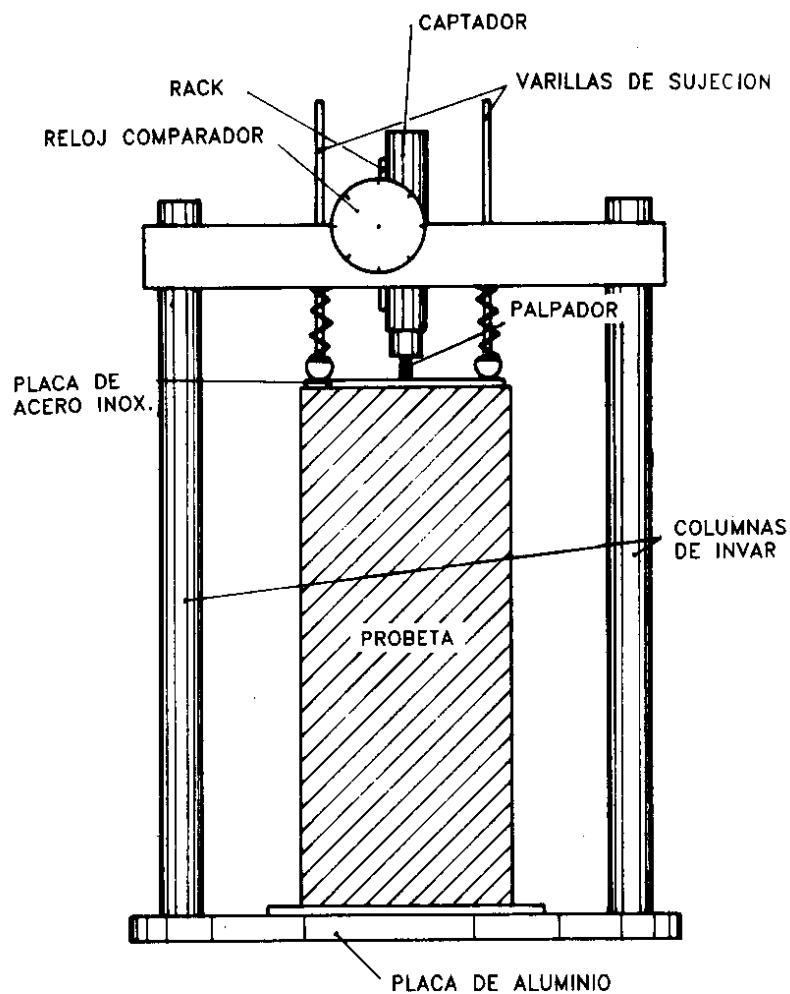


Figura 6.3.6.12.1.- Esquema de un medidor de dilatación lineal.

6.3.6.13.- Microdureza Knoop

Mide la resistencia que opone una roca a ser penetrada por una punta de diamante tallada en forma de pirámide muy obtusa. Sustituye, por ser más fácilmente reproducible, a la tradicional Dureza Mohs o resistencia de una roca al rayado por diferentes minerales patrón. Se suele emplear en rocas carbonatadas, pero en granitos y rocas afines su determinación carece de sentido, dadas las microdurezas tan dispares de los diferentes minerales que las integran. La dureza de una roca depende de las durezas de sus minerales y de la coherencia. Se emplea para evaluar la resistencia superficial de una roca frente a agentes destructores y tiene una marcada influencia en las labores de tallado y pulido de materiales pétreos.

Se realiza para mármoles y calizas ornamentales, Norma UNE 22-188, y en menor medida para granitos ornamentales, Norma UNE 22-178, pues como se ha indicado anteriormente, para este tipo de rocas es poca representativa dada la heterogeneidad de sus minerales y la forma de realizar la determinación.

En el ensayo se emplea un microdurómetro, que en esencia consiste en un microscopio con micrómetro, un plato portamuestras y un penetrador con punta de diamante Knoop que produce huellas rómbicas alargadas (Figura 6.3.6.13.1).

Se utilizan cuatro probetas prismáticas de 12 x 5 x 1 cm que han de tener una de las caras mayores pulidas, por lo que no se pueden ensayar rocas que no adquieran brillo por pulimento.

En cada cara pulida se marcan dos alineaciones distantes 2 cm, paralelas a las aristas mayores de la probeta. Sobre cada una de las dos alineaciones, a distancias de 1 cm, se realiza una huella mediante la aplicación al penetrador de una carga de 100 g que actúa durante 30 segundos, midiendo la longitud de la diagonal mayor de cada rombo, efectuando un total de 20 lecturas.

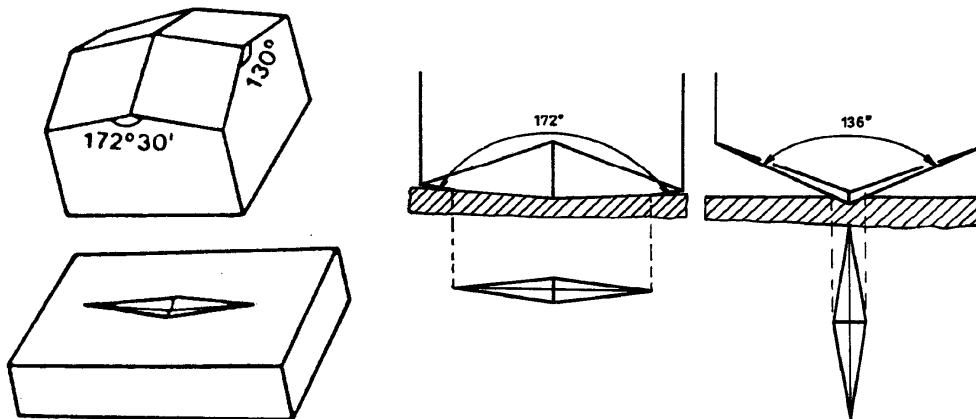


Figura 6.3.6.13.1.- Punta piramidal Knoop y huella rómbica.

La microdureza Knoop, expresada en megapascales, se calcula mediante la expresión:

$$DK(\text{MPa}) = 139.454 \frac{P}{L^2}$$

en la que P es la carga de 100 g y L la longitud de cada una de las diagonales mayores de los rombos en mm. El resultado del ensayo es la media aritmética de las microdurezas de las cuatro probetas.

6.3.6.14 Resistencia al SO₂.

El resultado que se obtiene en el ensayo de resistencia al anhídrido sulfuroso sirve para evaluar el comportamiento de una roca que va a ser utilizada a la intemperie en ambientes urbanos e industriales contaminados, ya que se caracterizan por la existencia de óxidos de azufre y nitrógeno en la atmósfera, de ahí que resulte de particular importancia para cualquier tipo de roca que vaya a ser empleada en pavimentos y revestimientos exteriores y en cubiertas de edificios.

Hasta el presente no hay ninguna norma UNE que pueda utilizarse para la determinación de la resistencia al anhídrido sulfuroso de los materiales pétreos utilizados con fines ornamentales.

El ensayo se realiza con siete placas de 20 x 15 cm de superficie, una de las cuales se mantiene inalterada como muestra patrón, que tengan una cara pulida si es que el material se va a comercializar así.

Se desecan tres probetas en estufa durante 24 horas y otras tres se mantienen sumergidas en agua desionizada durante 24 horas. Posteriormente se pesan y se colocan en posición vertical en una cámara hermética, 10 cm por encima de un recipiente que contenga una disolución de ácido sulfuroso que es la que genera los vapores de SO₂.

Transcurridos 21 días se extraen las probetas de la cámara de ataque y se dejan secar 24 horas en ambiente de laboratorio antes de pesarlas y examinarlas.

Como resultado del ensayo se da la pérdida o ganancia de peso y se hace una valoración visual de las alteraciones superficiales, cambios de color, desprendimientos de material u otros posibles defectos que puedan afectar a la estructura de los materiales ensayados.

6.3.6.15.- Resistencia al anclaje.

El valor de la carga de rotura que una placa de roca ornamental puede soportar en los agujeros de anclaje a un paramento condiciona el espesor mínimo que ha de tener y, por consiguiente, el peso de los elementos que constituyen la fachada.

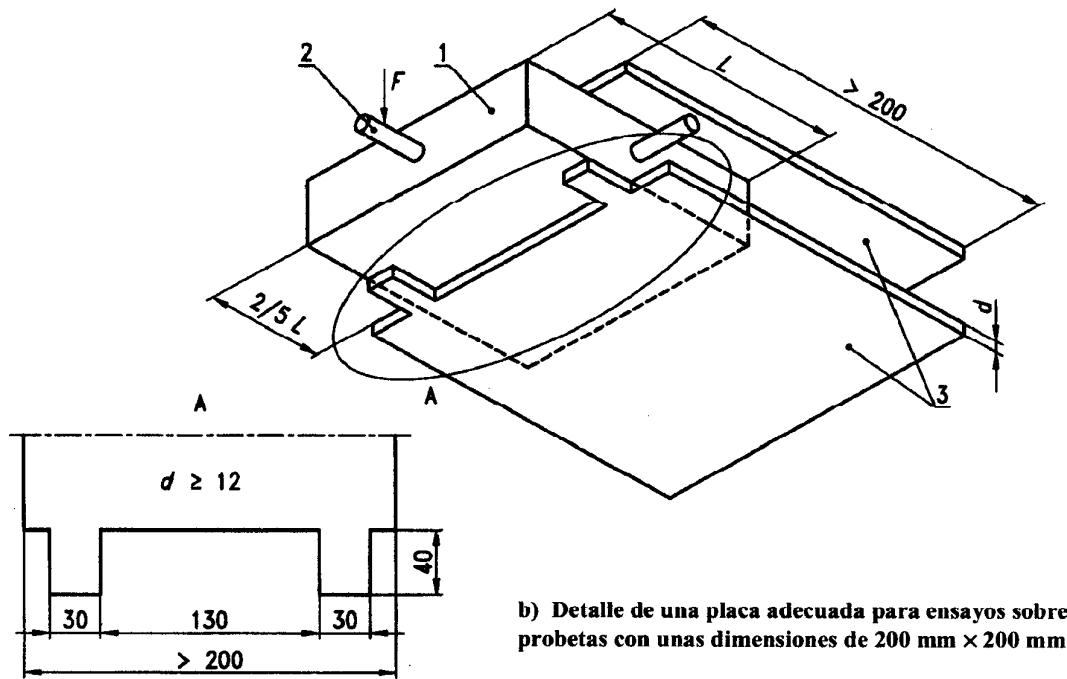
La norma UNE-EN 13364 especifica un método de ensayo para determinar la carga de rotura de anclajes para piedra natural utilizada en revestimiento de edificios.

El ensayo consiste en aplicar una fuerza en una dirección perpendicular a las caras de la probeta, a través de un anclaje previamente colocado en un taladro en uno de sus laterales y medir la carga de rotura de la probeta.

Los equipos necesarios son:

- Una balanza capaz de pesar probetas con una precisión de 0.01% de su masa.
- Un horno ventilado capaz de mantener una temperatura de $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- Un dispositivo de medición lineal con una precisión de 0.05 mm.
- Una taladradora rotativa, equipada con una broca de diamante o carburo de tungsteno.
- Una máquina de ensayo con una fuerza apropiada, de acuerdo con la Norma EN 12390-4 y calibrada según dicha norma.
- Un dispositivo de sujeción consistente en dos placas metálicas de la forma y dimensiones mostradas en la [figura 6.3.6.15.1](#).
- Un dispositivo para aplicar cargas perpendiculares al eje del anclaje ([Figura 6.3.6.15.2](#)).
- Un cuarto o cámara cuya temperatura de aire pueda mantenerse a $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$

a) Vista general

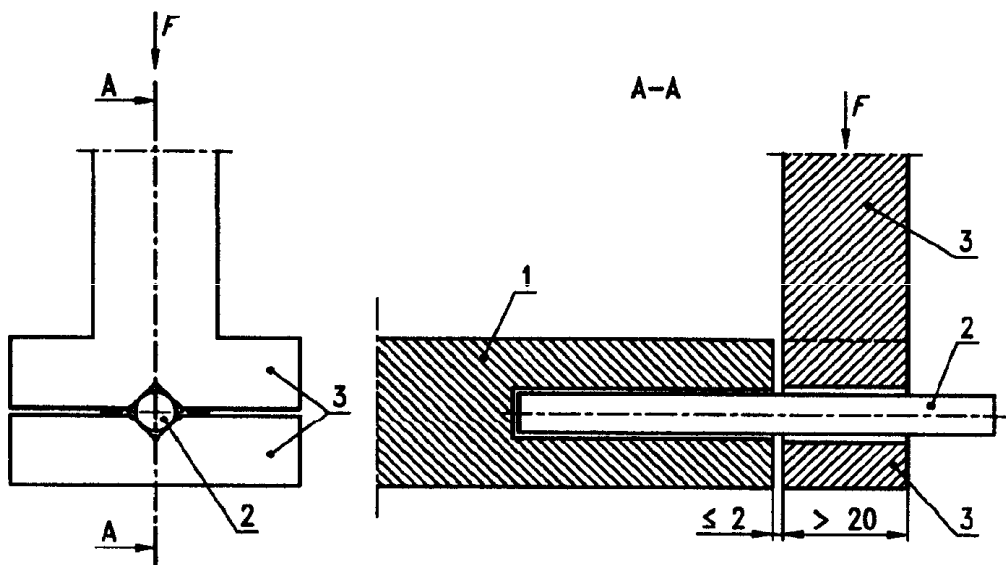


b) Detalle de una placa adecuada para ensayos sobre probetas con unas dimensiones de 200 mm x 200 mm

Leyenda: 1.- Probeta 2.- Anclaje 3.- Placa metálica

F = Fuerza aplicada sobre la probeta. L = Longitud de la probeta, d = espesor de la placa metálica

Figura 6.3.6.15.1 - Dispositivo de sujeción para mantener fija la probeta.



Leyenda: 1.- Probeta 2.- Anclaje 3.- Dispositivo para la aplicación de la carga

F = Fuerza aplicada sobre la probeta

Figura 6.3.6.15.1 - Dispositivo para aplicar cargas perpendiculares al eje del anclaje

El número mínimo de probetas dependerá de la presencia de planos de anisotropía.

Si la piedra no muestra planos de anisotropía, se llevarán a cabo 10 ensayos del Tipo 0 (Figura 6.3.6.15.3.a) sobre tres probetas.

Si la piedra muestra planos de anisotropía:

- se deben llevar a cabo 10 ensayos de Tipo I (Figura 6.3.6.15.3.b) sobre tres probetas cortadas paralelamente a los planos de anisotropía.

- se deben llevar a cabo 10 ensayos de Tipo IIa (Figura 6.3.6.15.3.c) y 10 ensayos de Tipo IIb (Figura 6.3.6.15.3.d) sobre cinco probetas cortadas perpendicularmente a los planos de anisotropía.

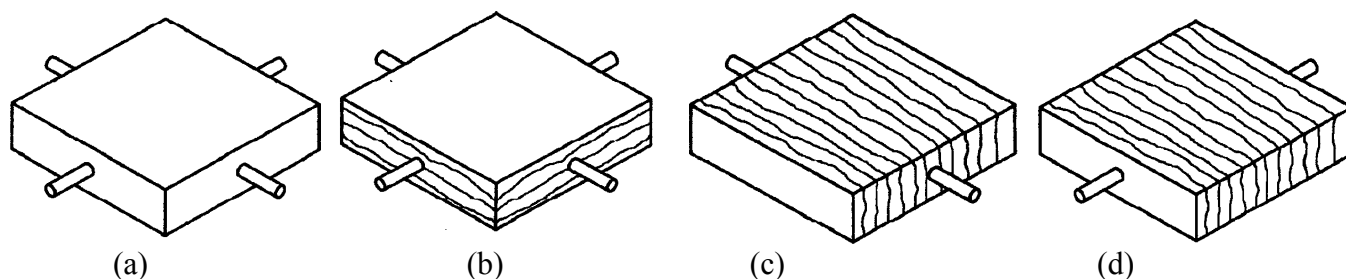


Figura 6.3.6.15.3 – (a).- Disposición del ensayo para una probeta sin planos de anisotropía (Tipo 0)
(b).- Disposición del ensayo para una probeta con la carga aplicada perpendicularmente a los planos de anisotropía (Tipo I)
(c).- Disposición del ensayo para una probeta con la carga aplicada paralelamente a los planos de anisotropía (Tipo IIa)
(d).- Disposición del ensayo para una probeta con la carga aplicada paralelamente a los bordes de los planos de anisotropía (Tipo IIb)

Las probetas serán losas cuadradas con las siguientes dimensiones:

| Espesor | Dimensiones |
|-----------------|--------------------|
| 20 mm a 65 mm | 200 mm × 200 mm |
| > 65 mm a 80 mm | 300 mm × 300 mm |

El centro del taladro debe situarse en medio de la longitud de la probeta, el diámetro se debe determinar de acuerdo con los requisitos de su uso y la profundidad debe ser de (30 ± 2) mm.

Los taladros se deben perforar en húmedo con una taladradora que no sea de percusión, con una broca de diamante o carburo de tungsteno.

Las probetas se deben secar hasta masa constante a (70 ± 5) °C en un horno ventilado después de perforar los taladros, pero antes de colocar en su sitio los anclajes.

La masa constante se alcanza cuando la diferencia entre dos pesadas separadas por un intervalo de (24 ± 2) horas es inferior al 1% de la primera de las dos pesadas. Después de secar y antes de colocar los anclajes, las probetas se almacenarán a (20 ± 5) °C hasta que alcancen el equilibrio térmico.

Después del acondicionamiento, se medirá el espesor (d) y la distancia desde el borde de cada taladro a la cara inferior de la probeta en la dirección de la fuerza (d_1), redondeando a 0.5 mm.

Los anclajes deberán estar fabricados de acero inoxidable tipo 1.4571, de acuerdo con la Norma EN 10088-1 y su diámetro se debe determinar de acuerdo con el uso requerido. La longitud del anclaje deberá ser ≥ 50 mm.

Se coloca uno de los laterales de cada una de las probetas en una posición horizontal superior. Se coloca el anclaje verticalmente y centrado en el taladro. Se introduce y fija el anclaje en el taladro una longitud de

(25 ± 1) mm utilizando un mortero preparado con cemento CEM I52.5 R de acuerdo con la Norma EN 197-1 y con una proporción en masa de agua/cemento de (0.6 ± 0.1).

Se espera como mínimo una hora y, a continuación, se repite el mismo proceso para otro de los laterales de la probeta que va a ensayarse

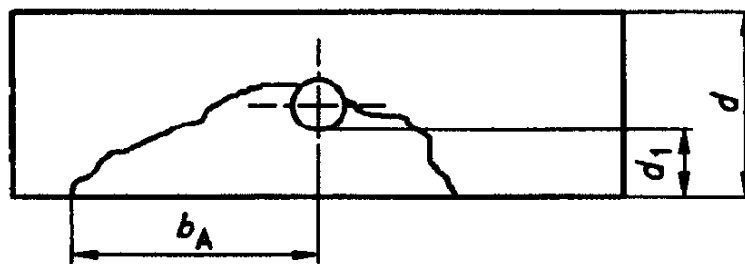
Las probetas se deben almacenar a (20 ± 5) °C durante 48 h, como mínimo, antes de ensayarlas.

La probeta se fija entre dos placas de metal del dispositivo de sujeción a no más del 60% de la longitud de la probeta (Figura 6.3.6.15.1).

La carga se aplicara en una dirección perpendicular al eje del anclaje a una distancia máxima de 2 mm del borde de la probeta por medio del sistema que se muestra en la figura 6.3.6.15.2.

La carga se incrementará uniformemente a una velocidad de (50 ± 5) $\frac{N}{s}$ hasta que la probeta rompa. Se registrará la carga de rotura redondeando a 50 N.

Si el anclaje se dobla, entonces se debe repetir el ensayo con un anclaje de mayor diámetro y una nueva probeta. Después de que la probeta rompa, se medirá la distancia máxima desde el centro del taladro hasta el borde de la fractura (b_A) (Figura 6.3.6.15.4).



Leyenda: d = Espesor de la probeta
 d_1 = Distancia desde el taladro hasta la cara en la dirección de la fuerza
 b_A = Distancia máxima desde el centro del taladro hasta el borde de la fractura

Figura 6.3.6.15.4.- Rotura del taladro del anclaje

Expresión de los resultados:

Para cada dirección relevante de carga, se deben calcular los siguientes valores medios a partir de los resultados individuales registrados en cada ensayo

- El valor medio de la distancia desde el taladro a la cara, cuando se produce la rotura (d_1), expresado en milímetros y redondeando a 1.0 mm;
- El valor medio de la máxima distancia desde el centro del taladro al borde de la fractura (b_A) expresado en milímetros y redondeando a 1.0 mm;
- El valor medio de la carga de rotura (\bar{F}), expresado en Newton y redondeando a 50 N.

Para cada dirección relevante de carga.

- El valor medio \bar{d}_1 y el valor medio \bar{b}_A expresados en milímetros y redondeados a 1.0 mm;
- El valor medio de la carga de rotura (\bar{F}), expresado en Newton y redondeando a 50 N.

6.3.6.16.- Contenido en carbonatos.

El contenido en carbonatos de una pizarra de techar es una determinación importante, pues puede llegar a limitar el espesor mínimo de las tejas incidiendo en el peso de una cubierta.

La razón se encuentra en que el carbonato cálcico reacciona con el ácido sulfúrico presente en atmósferas contaminadas llegando a formar costras o escamas de yeso que se depositan sobre las tejas, acelerando la alteración de las pizarras, facilitando su exfoliación.

Las placas y losas de pizarra que contengan minerales carbonatados, si están en atmósferas contaminadas, sometidas a la acción del ácido sulfúrico, pueden dar lugar a la formación de sulfato cálcico y por hidratación producir alteraciones, de ahí la necesidad de determinar el contenido en carbonatos de las pizarras ornamentales que se realiza de acuerdo con la Norma UNE 22-199, y que la Norma UNE 22-201 de pizarras para cubiertas limita a un 10%.

El método de ensayo se basa en la descomposición de los carbonatos por la acción del ácido clorhídrico, con desprendimiento de anhídrido carbónico gaseoso. Conociendo la cantidad de CO₂ desprendida mediante la medida de su volumen, presión y temperatura, puede calcularse la cantidad de carbonatos que habrá en la muestra ensayada.

En el ensayo se utiliza un Calcímetro de Bemard, (Figura 6.3.6.16.1), que se calibra con carbonato cálcico puro, por lo que no es necesario tener en cuenta la presión y la temperatura.

Para la realización del ensayo se emplean 10 g de muestra pulverizada, desecada previamente en estufa hasta peso constante, que se introducen en el matraz Erlenmeyer junto con un tubito con 3 cm' de ácido clorhídrico diluido.

Una vez conectados los tubos flexibles y enrasada la bureta subiendo o bajando el tubo de nivel que contiene una disolución de cloruro sódico, se mueve el matraz hasta que se vuelque el ácido sobre la muestra pulverizada. Transcurridos 5 minutos, una vez terminada la reacción, se anota la lectura estabilizada de la bureta.

El volumen de CO₂ desprendido en la reacción se obtiene por diferencia entre las lecturas inicial y final de la bureta.

La calibración del aparato se realiza con anterioridad al ensayo de la muestra, de forma análoga a la descrita, utilizando 0.2 g de carbonato cálcico puro.

Si V₁, es el volumen en cm³ de CO₂ desprendido por los 10 g de muestra y V₀ es el volumen en cm³ de CO₂ desprendido por los 0.2 g de CO₃Ca puro, el contenido en carbonato cálcico de la muestra viene dado por la expresión:

$$\text{CO}_3\text{Ca} (\%) = 100 \frac{0.2V_1}{10V_0}$$

El método de ensayo presupone que todos los carbonatos están en forma de CO₃Ca, pero si existen otros minerales atacables por el ácido clorhídrico, por ejemplo la pirrotina que produce un desprendimiento de SH₂, es posible que se produzcan otros gases que falseen el resultado.

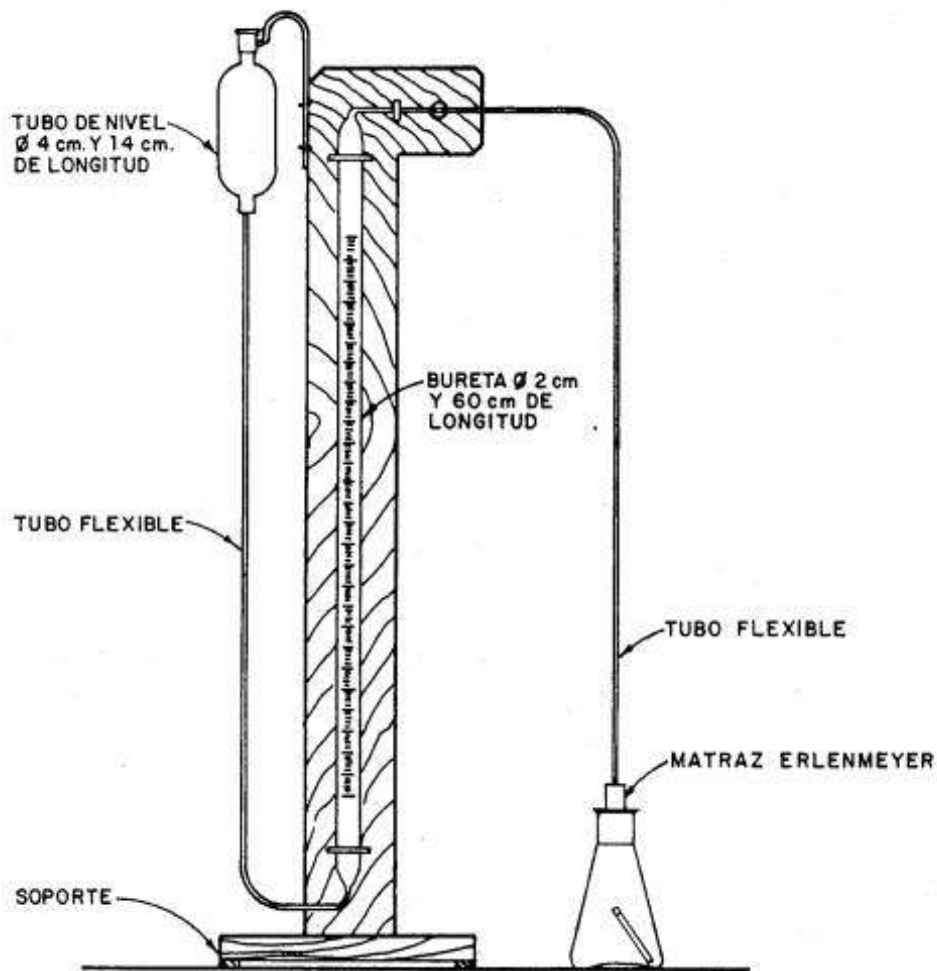


Figura 6.3.6.16.1.- Calcímetro de Bernard.

6.3.6.17.- La normalización en España.

En 1985 IRANOR publicó las 32 normas UNE sobre rocas ornamentales, granitos, mármoles y calizas, pizarras, que aparecen agrupadas por tipo de material en la tabla 6.3.6.17.1. De esas normas sólo una, la UNE 22.201 - 85. " Pizarras Ornamentales. Pizarras para cubiertas" tiene el carácter de especificación. En ella se definen, se precisan las características y se fijan los criterios que deben reunir las pizarras para cubiertas como productos acabados de las explotaciones mineras. Un resumen de las especificaciones contenidas en dicha norma se recoge en la tabla 6.3.6.17.2.

Tabla 6.3.6.17.1.- Normas UNE relativas a rocas ornamentales

| SUBTÍTULO | GRANITOS | MÁRMOLES Y CALIZAS | PIZARRAS |
|--|------------|--------------------|------------|
| Características generales | UNE 22.170 | UNE 22.180 | UNE 22.190 |
| Absorción de agua y peso específico aparente | UNE 22.172 | UNE 22.182 | UNE 22.191 |
| Resistencia al desgaste por rozamiento | UNE 22.173 | UNE 22.183 | UNE 22.192 |
| Resistencia a las heladas | UNE 22.174 | UNE 22.184 | UNE 22.193 |
| Resistencia a la compresión | UNE 22.175 | UNE 22.185 | UNE 22.194 |
| Resistencia a la flexión | UNE 22.176 | UNE 22.186 | UNE 22.195 |
| Módulo elástico | UNE 22.177 | UNE 22.187 | UNE 22.195 |
| Microdureza Knoop | UNE 22.178 | UNE 22.188 | -- |
| Resistencia al choque | UNE 22.179 | UNE 22.189 | UNE 22.196 |
| Tamaño de grano | UNE 22.171 | -- | -- |
| Clasificación | -- | UNE 22.181 | -- |
| Resistencia a los cambios térmicos | -- | -- | UNE 22.197 |
| Resistencia a los ácidos | -- | -- | UNE 22.198 |
| Calcimetría | -- | -- | UNE 22.199 |
| Curvatura de superficie | -- | -- | UNE 22.200 |
| Pizarras para cubiertas | -- | -- | UNE 22.201 |

Tabla 6.3.6.17.2.- Especificaciones relativas a pizarras para cubierta (UNE 22.201 – 85)

| | |
|--|---|
| Origen | Las de una misma partida procederán de un mismo yacimiento salvo que se hayan aceptado otros términos |
| Composición | Materia carbonosa y/o arcilla < 1% CO ₂ , Ca < 10 % |
| Dimensiones y tolerancias | Las indicadas por los fabricantes |
| Espesores | Tolerancias sobre el espesor nominal < ± 50 % > 5 mm para pizarras con mas de 5 % de CO ₂ , Ca |
| Curvatura de superficie (UNE 22.200) | < 1,5 % |
| Color | Uniforme para una misma partida, admitiéndose ligeras variaciones en los tonos |
| Aspecto externo | Sin nudos que sobresalgan más del 50% del espesor Huellas o estrías de profundidad menor del 50% del espesor Sin imperfecciones ni roturas Sin defectos de labrado |
| Inclusiones | Las inclusiones metálicas no atravesarán las placas y se indicará su composición mineralógica |
| Peso | Variaciones < 10% del peso nominal |
| Peso específico aparente (UNE 22.191) | > 2.600 kg/cm ³ |
| Absorción de agua (UNE 22.191) | < 3 % |
| Resistencia a la flexión (UNE 22.195) | Pizarras secas > 28,44 MPa Pizarras embebidas en agua > 22,75 MPa |
| Resistencia a las heladas (UNE 22.193) | Pérdida de peso < 3 % Resistencia a la flexión > 22,75 MPa |

En las tablas 6.3.6.17.3, 6.3.6.17.4, 6.3.6.17.5 y 6.3.6.17.6 se dan las características de una pizarra, un granito, un mármol y una caliza respectivamente.

Tabla 6.3.6.17.3.- Características de la pizarra Bernardos.











| | | | | |
|--|---|--|---|--|
|  | 2,77 g/cm ³ Densidad aparente | | 104,69 Mpa Resistencia a la compresión |  |
|  | 0,01 % Resistencia a las heladas | | 0,23 % Absorción de agua |  |
|  | 49,41 Mpa Resistencia a la flexión | | 4,48 mm Resistencia al desgaste por rozamiento |  |
|  | 3.979,16 N Resistencia a los anclajes | | 0,05 % Resistencia a los cambios térmicos |  |
|  | 0,05 % Resistencia al choque | | <0,02 % Resistencia a los ácidos |  |

Tabla 6.3.6.17.4.- Características de un granito.

| | |
|--|---|
| Densidad aparente: | 2,66 g/cm ³ |
| Coefficiente de absorción: | 0,30 % |
| Coefficiente de heladicidad: | 0,01 % |
| Resistencia desgaste por rozamiento: | 2,90 mm |
| Resistencia a la compresión: | 134,94 Mpa = 109.302 kp/cm ² |
| Resistencia a la flexión: | 11,02 Mpa = 107,75 kg/cm ² |
| Resistencia al choque: | 73,75 cm |
| Resistencia a los cambios térmicos: | = 0,07 % de variación en peso |
| Alteraciones provocadas por la Resistencia a los Cambios térmicos: | Ninguna |
| Atmósfera de SO ₂ : | 0,20 % de variación peso |
| Microdureza: | 3.702,33 MPa |
| Resistencia al anclaje: | 2.081,06 N |

Tabla 6.3.6.17.5.- Características de un mármol.

| | | | |
|--|-------|--------------------|-------|
| Minerales principales | | | |
| Calcita (89%), Moscovita (9%) | | | |
| Minerales accesorios | | | |
| Epidota, Cuarzo, Plagioclasa, Turmalina, Circon, Opacos | | | |
| SiO ₂ | 6,40 | CaO: | 49,0 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,0 | Na ₂ O | 0,00 |
| MgO | 0,66 | MnO | 0,03 |
| K ₂ O | 0,01 | TiO | 0,13 |
| Al ₂ O ₃ | 2,60 | CO ₂ | 39,15 |
| Densidad aparente | 2,71 | g/cm ³ | |
| Absorción de Agua | 0,15 | % | |
| Porosidad aparente | 0,42 | % | |
| Resistencia a compresión | 798 | Kg/cm ² | |
| Resistencia a flexión | 283 | Kg/cm ² | |
| Resistencia desgaste | 0,41 | mm | |
| Resistencia choque | 35,0 | cm | |
| Microdureza Knoop | 136,3 | Kg/mm ² | |

Tabla 6.3.6.17.6.- Características de una caliza

| | |
|---|--|
| Densidad aparente: | 2,18 g/cm ³ |
| Coefficiente de absorción: | 7,88 % |
| Coefficiente de heladicidad: | 0,23 % |
| Resistencia desgaste por rozamiento: | 15,19 mm |
| Resistencia a la compresión: | 24,18 Mpa = 237 kg/cm ² |
| Resistencia a la flexión: | 3,59 Mpa = 35 kg/cm ² |
| Resistencia al choque: | 21,25 cm |
| Resistencia a los cambios térmicos: | = 0,46 % de variación en peso |
| Alteraciones provocadas por la Resistencia a los Cambios térmicos: | Ninguna |
| Atmósfera de SO ₂ : | + 0,85 % de variación peso |
| Alteraciones provocadas por la Atmósfera de SO ₂ : | Amarillamiento generalizado uniforme. |
| Microdureza: | |
| Resistencia al anclaje: | No admite pulido |
| Petrografía: | 1105,88 N Dolomia |

6.3.7.- Acabados de las rocas ornamentales.

Todas las piedras naturales, nos ofrecen la oportunidad de variar su aspecto superficial, en función de la aplicación que le vamos a dar. Es decir, que al decidir que acabado se debe aplicar, juegan papel primordial: tipo de piedra, uso y ubicación. Entre las posibilidades tenemos:

PULIDO.

Con el pulido se consigue una superficie lisa y brillante, con porosidad casi nula, destacando al máximo nivel la estructura, color y textura de la piedra. Este acabado al ser de "poro cerrado", proporciona a la piedra mayor resistencia al ataque de agentes externos, resistencia que se puede aumentar con diversos tratamientos de protección. Cabe resaltar que el poro de la piedra nunca llega a estar cerrado, con el pulido se trata de minimizarlo al máximo. Se aplica principalmente en mármoles y granitos, ya que son rocas muy compactas y con alto grado de cristalinidad.

El pulido se consigue mediante abrasión, pasando por diferentes granulometrías cada vez mas finas, que dan a la piedra ese aspecto de "brillante". En la actualidad se utiliza principalmente el abrasivo diamantado, que permite acortar tiempos y conseguir resultados espectaculares, a la vez que minimiza las fuerzas de trabajo para personas y máquinas con el consiguiente beneficio.



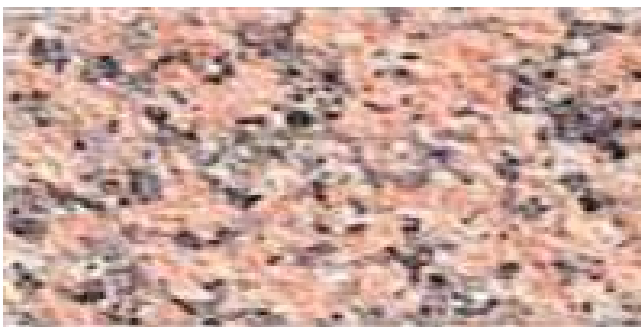
Granito pulido



Mármol pulido

FLAMEADO.

El flameado se puede considerar un acabado exclusivo del granito, proporciona una superficie rústica, rugosa con cierto relieve y de aspecto vitrificado. El flameado consiste en aplicar altas temperaturas mediante mecheros de oxiacetileno de más de 2.500° C, lo que provoca un choque térmico con la superficie de la piedra y el posterior desprendimiento de pequeñas lascas y esquirlas. Este proceso no deja "quemaduras" en la piedra y se consigue un alto grado de protección contra agentes atmosféricos.



Granito flameado

APOMAZADO.

El apomazado, proporciona una superficie similar a la del pulido pero sin brillo, la superficie queda lisa, pero completamente mate. Podríamos decir que el apomazado es el paso previo a la consecución del brillo. Este acabado se aplica en piedras compactas, con un grado mínimo de dureza.

Al igual que el pulido se consigue mediante abrasión, y en esto caso es más frecuente la utilización de abrasivos convencionales como el carburo de silicio. Se aplica en todas las piedras.



Caliza apomazada

Mármol apomazado

ABUJARDADO.

Proporciona una superficie rugosa y homogénea, con pequeños cráteres uniformemente repartidos. Existen varios tipos de bujardas, que dependiendo del número y tamaño de las puntas produce un abujardado fino o grueso. Otro factor que determina la rugosidad de la superficie es la fuerza y las repeticiones. El abujardado es uno de los acabados más tradicionales, ya que se aplica golpeando repetidas veces con una bujarda que va punteando la superficie hasta dejarla con la textura deseada. En la actualidad se utilizan máquinas automáticas, que utilizan martillos neumáticos y carros automáticos para labrar tablas o grandes superficies. Se puede aplicar en granitos, mármoles, calizas y areniscas.



Mármol abujardado

Caliza abujardada

ARENADO.

Podríamos considerar el arenado, un "mini abujardado", ya que en términos generales, las características de los dos procesos son muy similares, variando el método empleado. El arenado consiste en golpear la superficie con arena de sílice o corindón, impulsada por aire a través de una boquilla que "dispara" la arena contra la piedra. En función de la presión que se aplique a la arena, la piedra presentará un punteado más o menos profundo, y siempre resaltando un poco el color de la piedra. Se aplica en todas las piedras.



Mármol arenado

Caliza arenada

SERRADO.

El serrado es casi siempre un paso obligado dentro de cualquier línea de producción, y se aplica a mármoles, granitos, calizas y areniscas. El serrado deja una superficie lisa muy porosa y rugosa al tacto, la piedra queda mate, de tono blanquecino y normalmente está muy arañada con la huella de la herramienta utilizada para serrar. Estas herramientas suelen ser: flejes de acero, hilo de acero, hilo diamantado o disco diamantado.



Mármol serrado

ENVEJECIDO.



Caliza envejecida

OTROS ACABADOS.

Mediante la aplicación de diversas variantes sobre los acabados descritos en esta página, se pueden conseguir efectos de repetición o patrones, aplicados principalmente para decoración. Un claro ejemplo es la combinación de zonas pulidas con zonas abujardadas, arenadas o rayadas. También puede realizarse el resinado de los poros.



Caliza apomazada poro resinado

Caliza apomazada poro abierto

6.4.- Elaboración del mármol y granito.

6.4.1.- Introducción.

La elaboración de mármoles y granitos comprende la realización en los talleres de todas las operaciones necesarias para transformar los bloques obtenidos de la cantera en planchas y piezas que tengan la forma, medida y acabado que se precisa para su puesta en obra (pavimentos, revestimientos, escaleras para edificaciones, etc.).

El mármol y el granito entran en el taller como materia prima en forma de bloques, mas o menos paralelepípicos, de 6 a 15 t, con unas longitudes de 2.2 a 3 m, anchuras de 1.2 a 1.5 m y alturas de 0.9 a 1.2 m, iniciándose su elaboración en función de las características del material a tratar: tamaño del bloque, dureza, diaclasamiento, estratificación, abrasividad, fragilidad, etc., y de las dimensiones finales que se quiera dar al producto tratado, básicamente plaquetas o tableros (Figura 6.4.1.1).

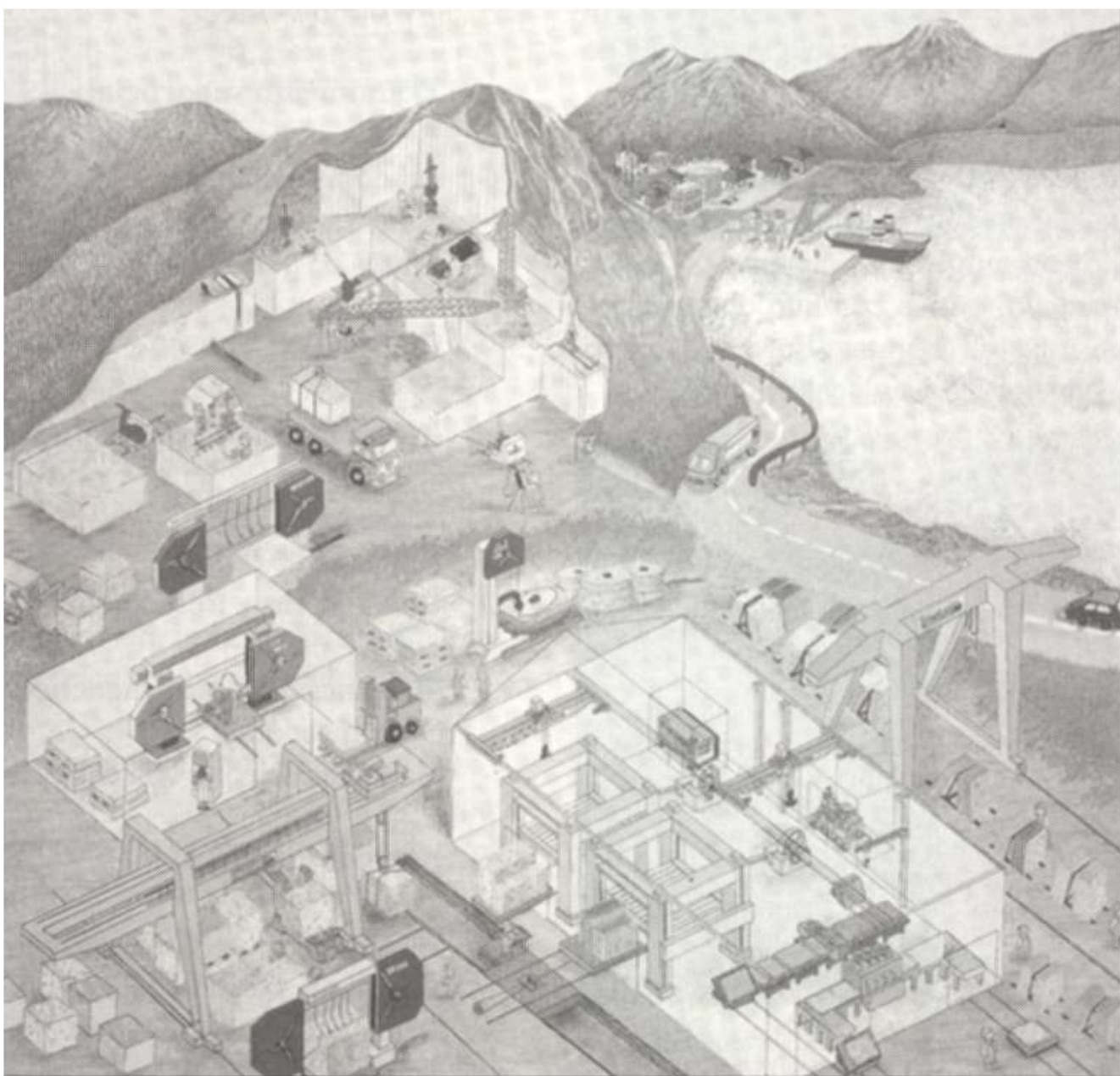


Figura 6.4.1.1.- Ciclo completo del tratamiento de la piedra ornamental

En la [figura 6.4.1.2](#) pueden verse equipos para corte y escuadrado de bloques con hilo diamantado de velocidad variable.



Figura 6.4.1.2.- Equipo para corte y esquadro de bloques con hilo diamantado de velocidad variable.

6.4.2.-Preparación y elaboración de mármol y granito.

La elaboración de mármol o piedras calcáreas que admitan pulimento es sumamente antigua. El tratamiento del granito, diorita, gneis, gabro y demás rocas magmáticas parte de las técnicas empleadas para el mármol, aunque adaptándose a sus características peculiares, fundamentalmente por su mayor dureza y abrasividad.

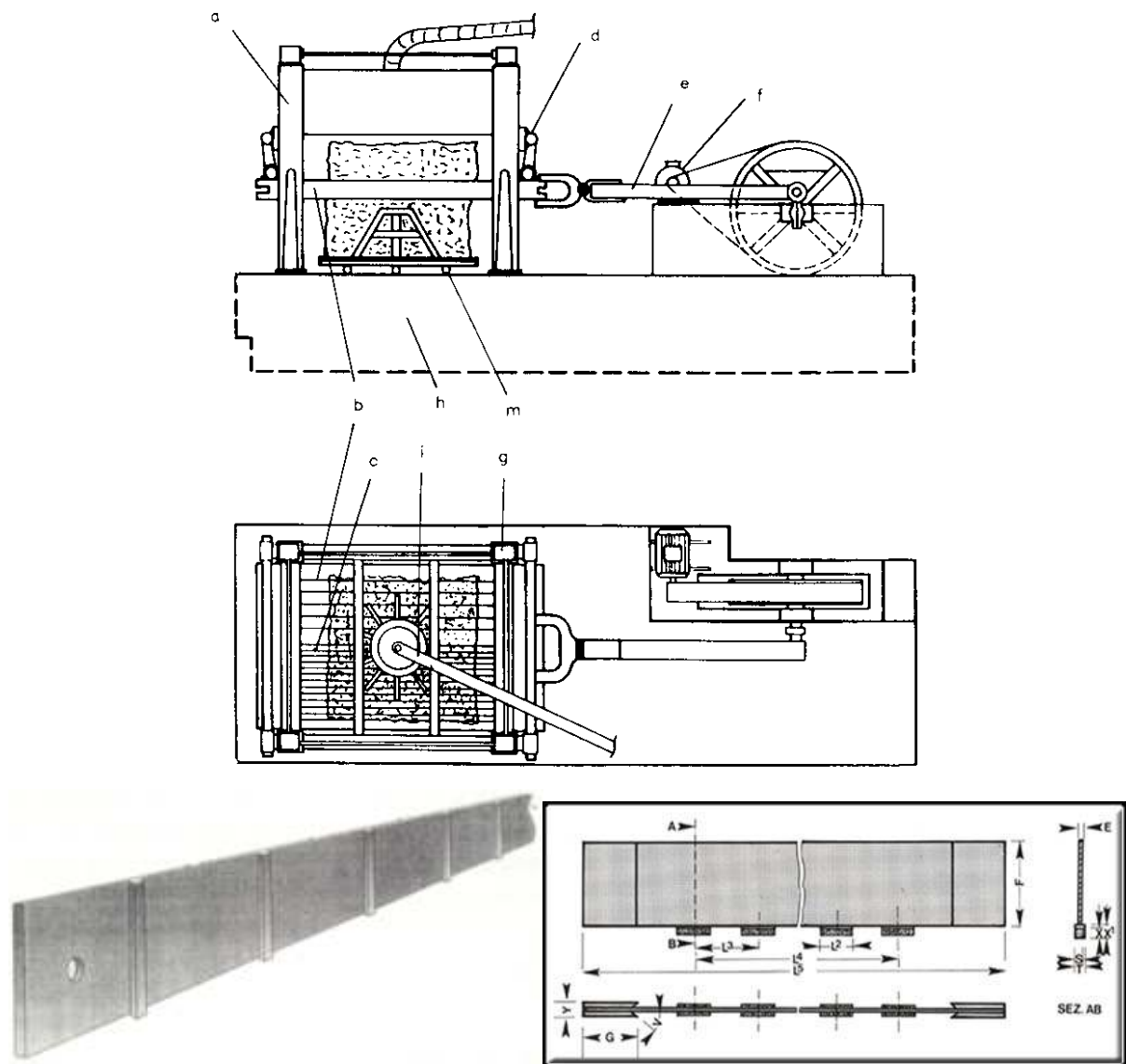
Los productos transformados finales de ambos tipos de rocas se clasifican como losetas de solería en el mercado con unos tamaños usuales en centímetros de 15.5 x 30.5, 30.5 x 30.5, 30 x 60, 40 x 40, 40 x 60, y 60 x 60, y grosores que oscilan entre los 9 y 20 mm. Las piezas de dimensiones superiores a las citadas se denominan tableros, con una anchura máxima no superior a 1.8 - 2 m y un grosor mínimo de 15 mm. Estos formatos de mercado junto con las características del material son básicos a la hora de elegir el tipo de proceso de elaboración.

Los bloques recibidos se almacenan al aire libre, constituyéndose un stock que garantice la independencia del taller frente a las posibilidades de suministro de las canteras. Para su carga, descarga y desplazamiento se dispone de un puente grúa.

Una vez en el taller, existen dos formas de subdividir un bloque:

- (a).- Mediante telares, compuestos por flejes de acero.
- (b).- Mediante cortabloques constituidos por discos diamantados.

Actualmente, los telares multifleje (Figuras 6.4.2.1 y 6.4.2.2) siguen siendo el medio de corte mas ampliamente utilizado, con independencia del tipo de material a tratar, debido fundamentalmente a su mayor rendimiento y menor coste de producción. No obstante, la creciente calidad de los discos diamantados y su mayor velocidad de corte esta desplazando el use de telares multiflejes en el tratamiento de mármoles, no así para el granito cuya investigación se esta orientando hacia los telares de flejes diamantados.



Fleje perforado para telares con movimiento rectilíneo

Fleje con relieve para telar pendular

- (a).- Una robusta armadura de sustentación.
- (b).- Un telar portacuchillas dotado de un movimiento alternativo mas o menos horizontal
- (c).- Un cierto numero de flejes de acero paralelos y bien tensados dentro del telar.
- (d).- Balancines o guías para la sustentación del telar.
- (e).- Biela para proporcionar el movimiento alternativo al telar.
- (f).- Motor con volante y excéntrica.
- (g).- Dispositivo para el descenso lento con velocidad programada del telar portaflejes y para las separaciones rápidas del mismo hacia arriba.
- (h).- Recipiente de recogida de la suspensión abrasiva en circulación y la correspondiente bomba sumergida antidesgaste.
- (i).- Tubería de transporte y equipo de distribución de la mezcla a presión en forma de lluvia sobre los flejes.
- (j).- Dosificador para la granalla abrasiva.
- (k).- Dosificador y distribuidor para la cal.
- (l).- Instalación para la eliminación de la mezcla refrigerante en exceso.
- (m).- Carro soporte para el/los bloques a aserrar.
- (n).- Instalación eléctrica de mando y de funcionamiento automático.

Figura 6.4.2.1.- Esquema de un telar multifleje.



Figura 6.4.2.2.- Telar multifleje

Los diversos equipos utilizados por el sector pueden clasificarse en función del tipo de operación a realizar:

- | | |
|-------------------------------|---|
| (a).- Precorte | - Telar monolama. - Corte con hilo. |
| (b): Corte primario | - Telar de granalla con movimiento pendular o semirrectilíneo. - Telar de flejes diamantados. - Cortabloques monodisco gigante. - Cortabloques multidisco con disco secundario horizontal. |
| (c).- Corte secundario | - Sierras manuales. - Sierras puente. - Sierras multidisco. |
| (d).- Tratamiento superficial | - Pulidoras manuales. - Pulidoras puente. - Trenes de pulido. - Bujardas. - Flameadoras. |

- (e).- Acabados y trabajos especiales
- Biseladoras.
 - Pulidoras de cantos.
 - Taladradoras y fresadoras.
 - Tornos.
 - Maquinas de control numérico.
 - Contorneadoras.
 - Maquinas de corte con chorro de agua.
- (f).- Equipos auxiliares
- Sistemas de control automático de mezclas.
 - Sistemas de carga y descarga manual y automática.
 - Sistemas de volteo de planchas y baldosas, etc.

Aserrado con telar multifleje. (Figura 6.4.2.1).

Es la maquina que se utiliza en la primera etapa de elaboración industrial de la roca ornamental, cortando los bloques en un número determinado de planchas, cuya anchura será la altura del aserrado y su longitud la del bloque. Actualmente existen en el mercado telares con capacidad para tratar hasta 29 m³ en bloques.

Funcionamiento.

Los flejes, gracias al movimiento pendular o semirrectilineo que efectúa el marco portacuchillas, a la presión vertical de corte y a la acción abrasiva de la granalla de acero o fundición que mezclada con agua y cal se vierte continuamente sobre el bloque, van realizando lentamente la operación de aserrado de la roca (Figura 6.4.2.1).

Una vez obtenidas las planchas y losas, se realizan diferentes operaciones para el acabado, entre las que se incluyen el pulido, abujardado, apomazado, flameado, etc.

Corte con hilo diamantado.

El hilo diamantado ha desplazado completamente al hilo helicoidal en su utilización como herramienta de corte en los talleres de marmolería, permitiendo obtener un corte mas delgado y uniforme, superficies serradas casi pulidas y exentas de oxidaciones, todo ello a una velocidad de corte muy superior.

Su campo de aplicación es muy amplio. Normalmente se utilizan junto a los monolamas para preparar el plano superior de los bloques que van a ser elaborados con multidisco, o bien alisar la cara lateral de aquellos bloques que van a disponerse juntos en un carro portante, mejorando el llenado para su posterior aserrado con telar.

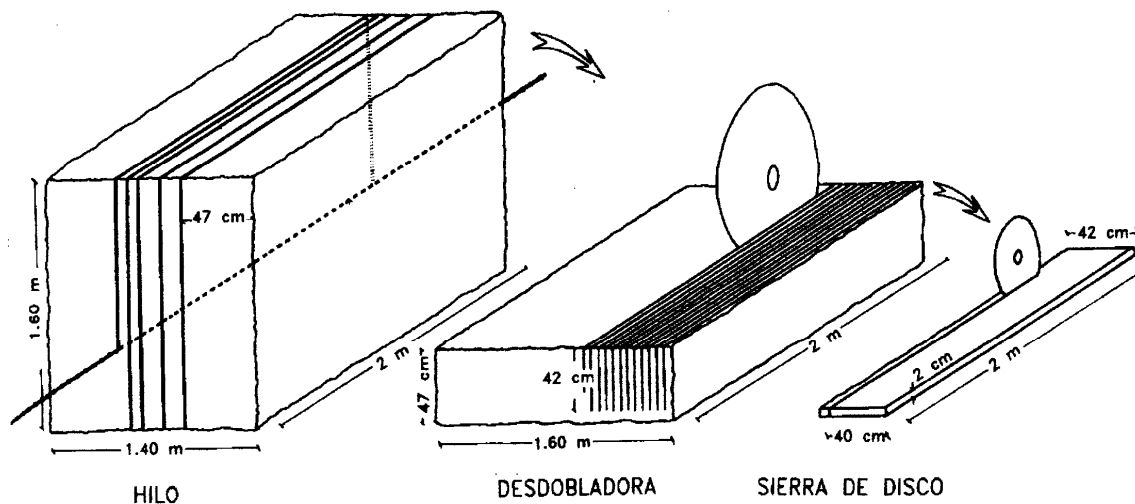
Otra aplicación muy frecuente es el corte directo de bloques para la obtención de tablas y planchas de espesores prefijados, que seguidamente se elaboraran con disco para la fabricación de planchas y baldosas (Figura 6.4.2.3.a).

Este sistema esta constituido esencialmente por un robusto pórtico de acero electrosoldado para asegurar un corte flexible sin vibraciones, dos grandes volantes de 1.5 a 2.5 m de diámetro, dotados de desplazamiento vertical a lo largo de las columnas del pórtico, y que guían y tensan el hilo diamantado, pudiéndose realizar cortes con alturas comprendidas entre los 1.5 y 2.3 m. y longitudes de 2.2 a 3.8 m. Estos grandes volantes reducen la fatiga del hilo y evitan el ovalado de las perlas diamantadas, estando cubiertos por unas carcasas que protegen al operario en caso de rotura brusca del hilo. El hilo es refrigerado en todo momento mediante agua en circuito cerrado, siendo continuamente filtrada.

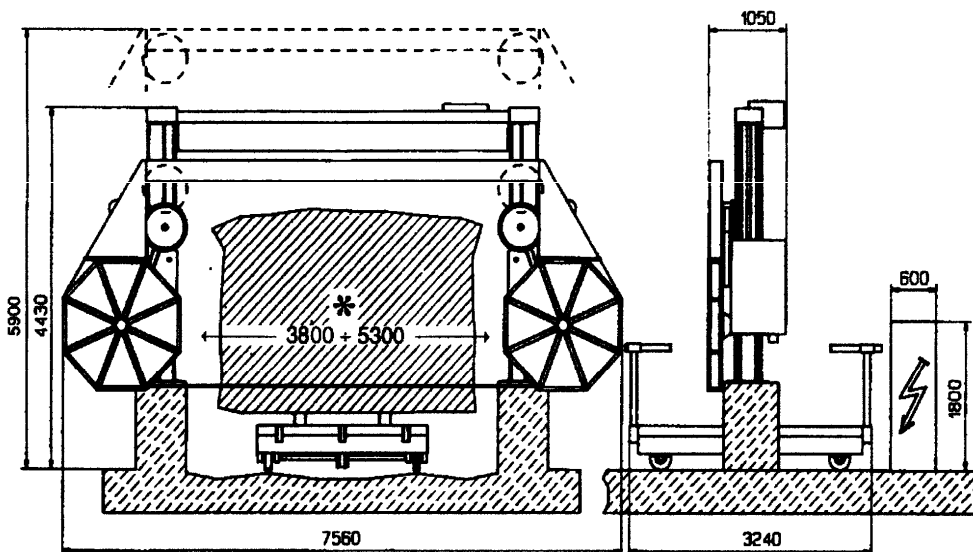
Una pareja de cuñas electromecánicas impiden el cierre de las placas cortadas durante la salida del hilo (Figura 6.4.2.3.b)

Un sistema automático acciona el carro portabloques con capacidad de hasta 12 toneladas, existiendo la posibilidad de programar el corte con varios espesores diferentes. La velocidad de trabajo del hilo (40 - 15 m/s) varia con la serrabilidad del material a cortar, siendo mayor con el mármol (38 m/s) que con el granito (22 m/s). La velocidad de descenso o cala es de 0.1-5 m/h, y la potencia instalada de 20-30 kW.

El sistema de descenso del hilo esta formado por un motor eléctrico de velocidad variable, por lo que se puede ajustar para el corte de cualquier tipo de piedra. Al estar controlada automáticamente, se logran unos cortes precisos y lisos, y en particular en el corte de planchas de espesor reducido. También permite efectuar cortes según líneas quebradas, interrumpiendo el trabajo en el momento oportuno y cambiando la posición de la piedra para continuar con el corte en otro sentido, lo que representa un gran ahorro de material, existiendo una limitación para espesores superiores a los 60 cm debido a la convexidad del hilo (Figura 6.4.2.4)



(a).- Corte de bloques con hilo diamantado.



(b).- Esquema de cortadora de hilo diamantado.

Figura 6.4.2.3.- Corte con hilo diamantado,

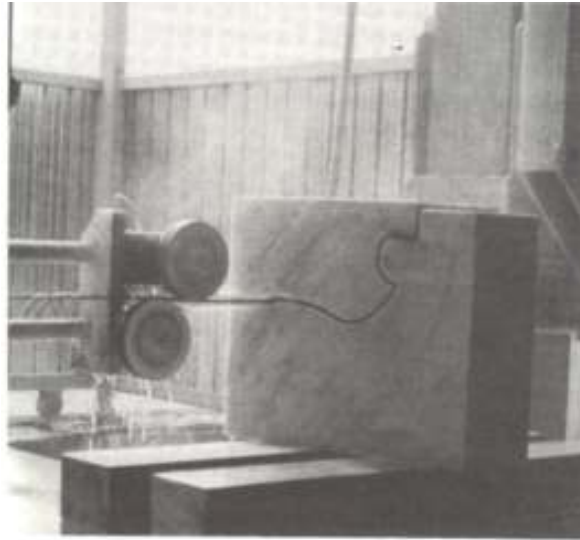


Figura 6.4.2.4.- Bloque cortado con hilo siguiendo una plantilla

Aserrado con cortabloques.A

Las sierras cortabloques se encuentran a la cabeza de la fabricación en grandes series de productos terminados cuadrados y rectangulares de medida constante o variable, procediendo directamente al corte de los bloques según un ciclo específicamente desarrollado y puesto a punto en el curso de los diez últimos años, aunque limitado a las rocas de dureza media y planchas con anchuras que, en general, no superan los 60 cm. También se utilizan cuando el bloque es muy irregular y es desaconsejable su corte con telar debido al bajo rendimiento y elevado coste que supondría (Figura 6.4.2.5).



Figura 6.4.2.5.- Cortabloques monodisco.

Al disponer de discos diamantados de gran diámetro se pueden realizar cortes muy profundos en sucesivas pasadas de 3 a 8 cm cada una, llamadas "incrementos", empleándose uno o varios discos verticales en paralelo, normalmente de 3 a 12, que pueden cortar en un sentido o en ambos, y obteniéndose tiras divididas cuyo ancho en conjunto puede llegar a ser 30 cm. El número de "incrementos" necesarios para alcanzar una profundidad dada disminuye con la serrabilidad de la roca.

Asimismo, estos equipos suelen estar dotados de un disco horizontal acoplado con el vertical y que permite obtener baldosas cuyos lados paralelos tienen una altura máxima igual a 1/3 del diámetro del disco vertical. El corte horizontal se efectúa una vez que las tiras están cortadas a la profundidad definitiva. La potencia de estas máquinas es de 112 kW para el motor vertical y de 37 kW para el horizontal, consumiéndose el 50-60 % de la potencia instalada (Figura 6.4.2.6).

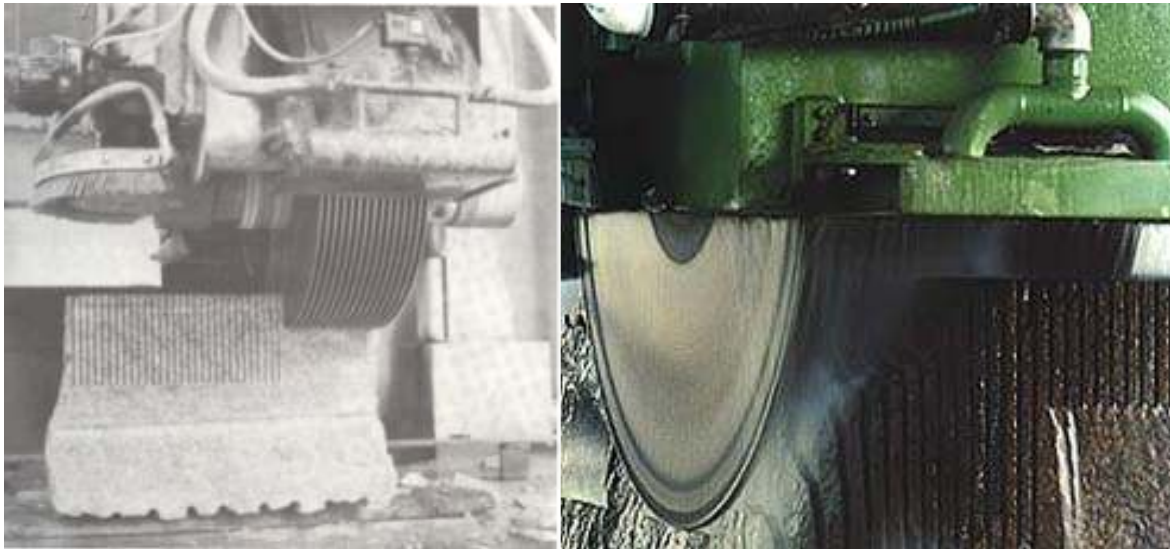


Figura 6.4.2.6.- Cortabloques con movimiento tridimensional

En ocasiones, cuando se trabaja con mármol, se cortan liras más gruesas, múltiplo del espesor final que han de ser desdobladas posteriormente. El objeto de esta operación es incrementar la capacidad de aserrado del cortabloques. El rendimiento medio para un cortabloques de granito es de $5 \frac{m^2}{h}$ y de 7 a 15 $\frac{m^2}{h}$ para uno de mármol.

En los modelos más sencillos el cabezal de corte vertical está formado por un frente móvil que se desliza a lo largo de una viga-puente. Esta a su vez dispone de movimiento vertical. El carro portabloques se mueve a medida que el corte avanza en la misma dirección, estando toda la operación controlada por ordenador. Estos modelos se utilizan para el corte de bloques de mármol con una única pasada.

Existe un nuevo tipo de cortabloques de puente con estructura muy rígida, concebido para cortar bloques de granito utilizando discos de mayor diámetro (1.6 m), y con una mayor precisión. El bloque se coloca sobre un carro móvil que lo sitúa bajo el cabezal de corte y se para. A continuación este cabezal desciende verticalmente y realiza el corte transversal en la dirección de mayor rigidez estructural. Una vez completado el corte transversal, el carro sitúa la siguiente parte del bloque a cortar. Finalmente, se realiza el corte horizontal de las planchas con la sierra auxiliar (Figura 6.4.2.7). Cuando se utiliza un cortabloques monodisco, el bloque es cortado en toda su altura sin el concurso del disco horizontal auxiliar.

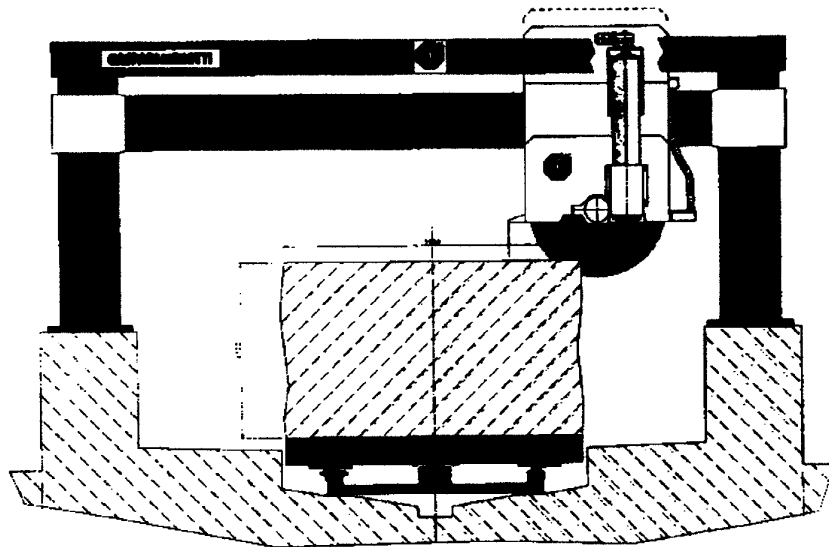


Figura 6.4.2.7.- Esquema de un cortabloques de estructura rígida.

Por medio de diversos ensayos de laboratorio se ha podido comprobar la relación existente entre la velocidad periférica del disco y la serrabilidad, para obtener los resultados más idóneos.

Cada régimen de corte, función de la mayor o menor serrabilidad de la roca, tiene una velocidad de disco óptima. Al aumentar la velocidad del disco, aumenta la velocidad de corte y con ella el par de torsión. Así, para el caso del granito, un régimen de corte de $150 \frac{cm^2}{min}$ con una velocidad periférica de $26 \frac{m}{s}$ necesita una potencia media de corte de 2.6 kW y un par de torsión de 0.2 Nm. Para una velocidad de corte de $600 \frac{cm^2}{min}$ la velocidad de disco óptima es de $38 \frac{m}{s}$, con una potencia media de 7.7 kW y un par de torsión de 0.39 Nm.

Por ello, al tener unos parámetros óptimos de corte cada tipo de roca, éstos han de estudiarse en cada planta con el fin de abaratar los costes de aserrado al ser uno de los que más pesan de todo el proceso de elaboración de la roca ornamental.

El consumo de agua para la refrigeración del corte y evacuación de detritus varía desde los 35 a $60 \frac{l}{min}$ por disco vertical, hasta los $25 \frac{l}{min}$ para el disco horizontal.

Este tratamiento ha abierto un nuevo e interesante campo para el mercado de los productos de cantera, ya que, debido a la versatilidad de las cortadoras, permite el aprovechamiento de los bloques pequeños o deteriorados que podrían no ser considerados aprovechables desde el punto de vista económico para su aserrado con telar tradicional, y, como consecuencia, serían tratados como escombros.

Los modernos cortabloques están dotados de instalaciones semiautomáticas de descarga de baldosas y de alimentación mediante tren continuo. Normalmente las baldosas son cortadas a una dimensión constante.

Posteriormente pasan a través de hendiduras automáticas verticales que cortan las láminas en productos finales.

Actualmente, este nuevo sector del mercado esta alcanzando dimensiones importantes, puesto que el aserrado con cortabloques se ha completado con maquinas automáticas de tratamiento de superficies (pulido, abrillantado y, ocasionalmente, tratamiento de cantos), elevándose la productividad y disminuyendo progresivamente los costes de producción (Figura 6.4.2.8).

Estos procesos se han desarrollado mas para su uso con rocas calcáreas que ígneas, ya que, si bien los rendimientos horarios con éstas últimas son similares a los de un telar convencional, no sucede lo mismo con los costes directos de operación, que son netamente superiores (del 60 al 100 %), aunque existe una gran confianza en lograr unos resultados similares a medio plazo.

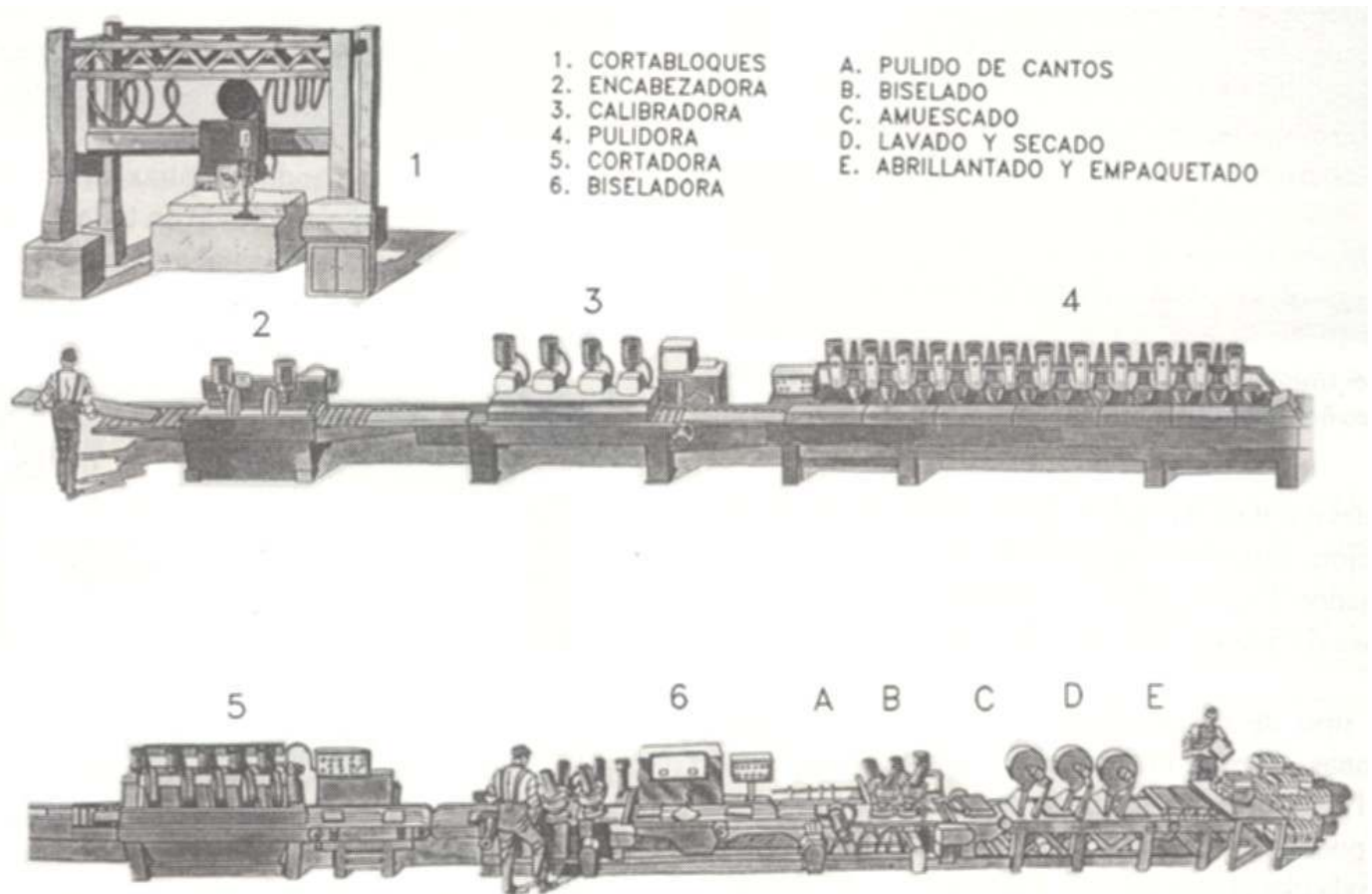


Figura 6.4.2.8.- Sistema integral de elaboración.

Elaboración de las planchas.

Las planchas y losetas en bruto, que son producidas en los telares y cortabloques, constituyen un producto semitransformado destinado a convertirse en uno acabado mediante un proceso de elaboración en cadena compuesto por una serie de tratamientos elementos mecánicos, muchos de los cuales son similares para el mármol y granito, difiriendo en su acabado final (Figuras 6.4.2.9 y 6.4.2.10).

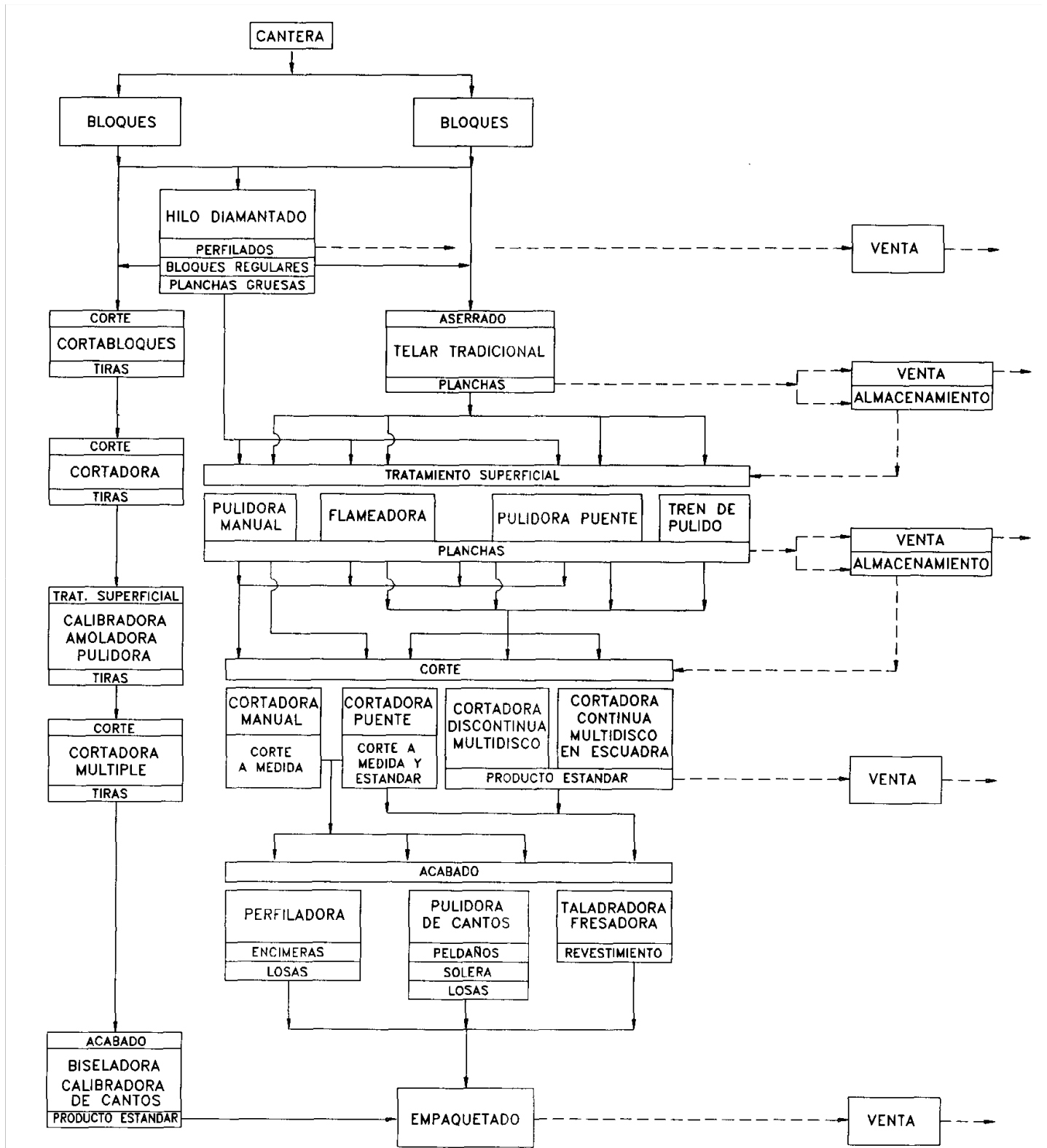


Figura 6.4.2.9.- Ciclo del tratamiento del mármol

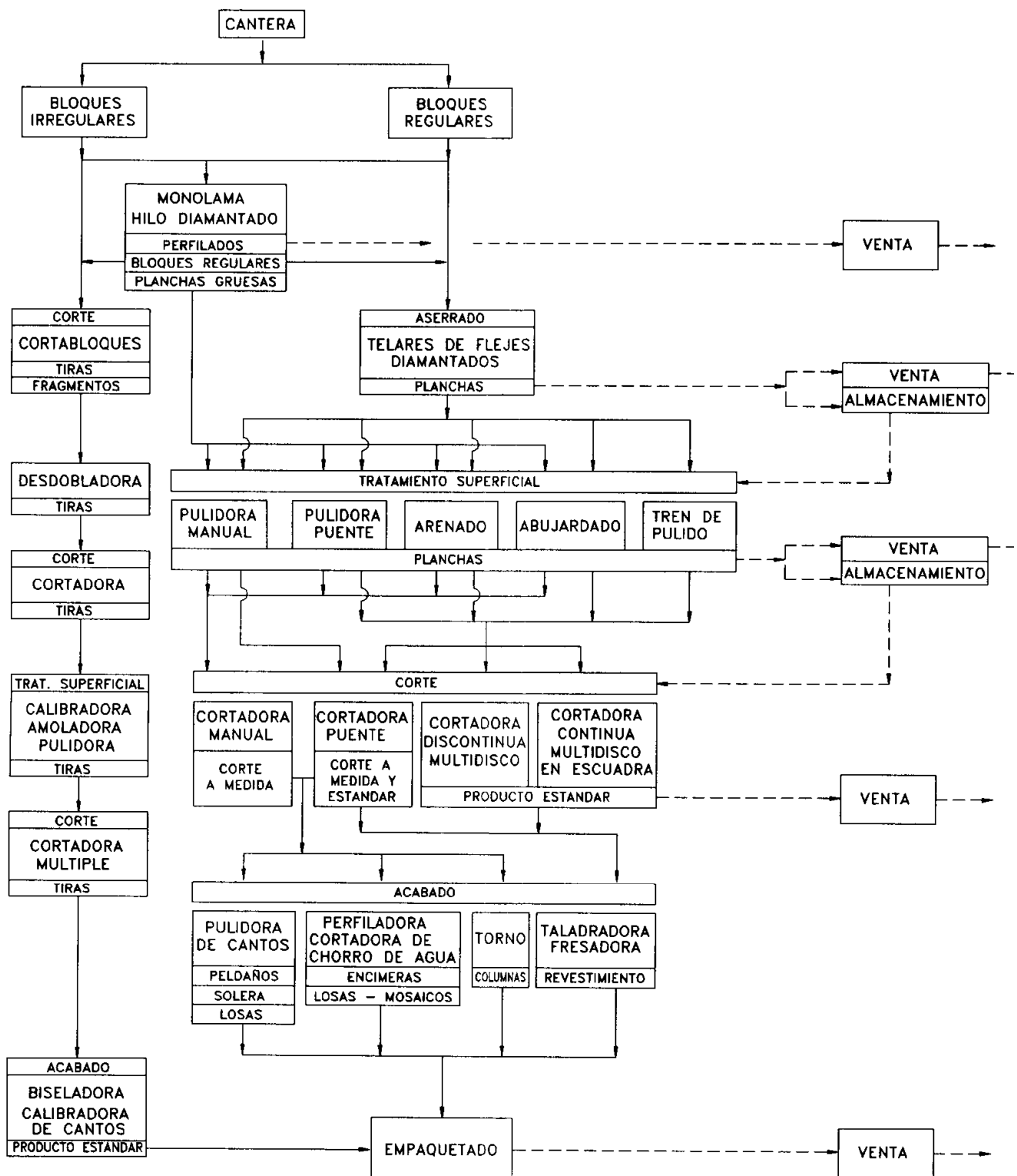


Figura 6.4.2.10.- Ciclo del tratamiento del granito.

Pulido.

Una vez dividido el bloque en planchas, la siguiente operación a realizar en la elaboración del mármol o granito es el desbaste, pulido y abrillantado de las mismas, obteniéndose unas superficies planas y lisas, y adquiriendo el aspecto brillante característico. Para ello se utilizan diferentes muelas abrasivas de grano progresivamente decreciente (Figura 6.4.2.11).

Las maquinas pulidoras de funcionamiento discontinuo están dotadas de uno o varios brazos articulados con dos tramos de un metro de longitud cada uno, unidos el uno en prolongación del otro. Sobre cada brazo se van aplicando las diferentes muelas según la granulometría, interrumpiendo cada vez el ciclo de trabajo. Cada brazo se apoya en un muro o en una columna y en su extremo libre lleva la palanca de mando y el eje portátil, donde se coloca el plato o disco abrasivo que realiza el pulimento. Las articulaciones de los brazos están montadas sobre cojinetes, permitiendo una maniobra suave y en todas direcciones para trasladar el plato sobre el banco de trabajo, que esta colocado debajo de la maquina.



Figura 6.4.2.11.- Cabezal de pulido con 6 segmentos oscilantes

Cortes longitudinales y transversales. Sierras de disco.

Una vez pulidas, las planchas obtenidas en el telar han de ser finalmente cortadas, longitudinal y transversalmente, a las medidas exactas requeridas para la colocación en su destino. Esta última operación de serraje ha de ser sumamente precisa, ya que deben salir todas las piezas iguales, a las medidas exigidas, con sus aristas vivas y los cantos completamente perpendiculares entre si.

Para ello se utilizan sierras circulares o de discos, donde el elemento cortante es un disco de alma metálica con sus bordes hechos de una concreción de carborundum o diamante y que girando vertiginosamente (2000 revoluciones/min) corta las planchas con gran rapidez. El diámetro de los discos suele variar entre los 25 y 45 cm, si bien existen discos con mas de 100 cm de diámetro en maquinas de gran potencia y tamaño.

Durante el corte, el disco ha de estar continuamente refrigerado por agua. Los discos de carborundum, más baratos y con una velocidad de corte inferior a los de diamante so utilizan para el corte de mármol, mientras que los diamantados se emplean con el granito. La diferencia fundamental, aparte de la debida a la composición y forma de los dientes, consiste en la distinta velocidad de giro de los discos, quo en el caso de los mármoles es de 40 m/s frente a los 30 m/s para el granito.

En las maquinas corrientes el disco (o discos) giratorio permanece fijo, siendo la plancha de mármol o granito la que, montada sobre una cinta transportadora, pasa por debajo de al durante el aserrado. Esta plancha es cortada en varias liras longitudinales según la dirección de avance y con anchuras que dependen de la separación entre los portadiscos. También so utilizan para el encabezamiento de las liras procedentes del cortabloques. Con los modelos modernos es posible cortar a medio milímetro, programando incluso la longitud de los cortes, su profundidad (hasta 16 cm de espesor) y el ancho del producto final. El soporte del disco es graduable pudiendo trabajar en distintas posiciones (Figura 6.4.2.12).

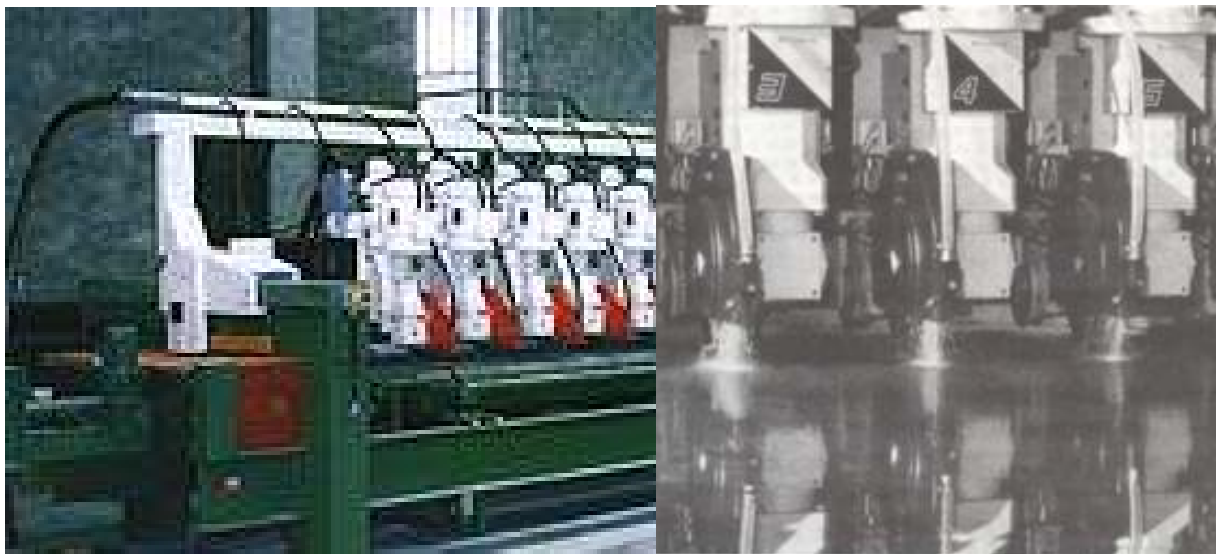


Figura 6.4.2.12.- Corte múltiple longitudinal

En las sierras puente, el portadiscos se desliza a lo largo de una viga cuya longitud varia entre los 3.5 y 5.5 m, según el modelo. El banco es giratorio, permitiendo el cambio de posición do la plancha. Todos sus movimientos, así como el deslizamiento del portadiscos sobre el puente so efectúan hidráulicamente y hay una sincronización automática de todos los movimientos del banco y el disco. Esta provista de tornillos micrométricos e instrumentos graduados de control que permiten la ejecución de trabajos de precisión de forma rápida y segura (Figura 6.4.2.13).

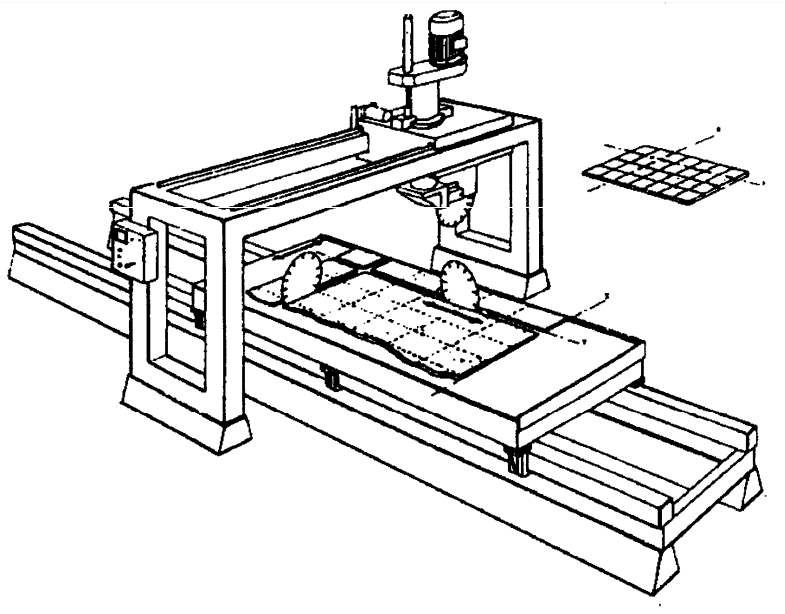


Figura 6.4.2.13.- Sierra puente para el corte longitudinal y transversal.

Calibrado.

El calibrado es un proceso independiente del pulido que, o bien se realiza sobre la plancha antes de éste (con anchuras de hasta 210 cm), o bien, y más frecuentemente, a la salida de la cortadora transversal, una vez obtenidas las placas.

La calibradora va montada sobre un puente, desplazándose transversalmente al movimiento de avance de las placas. Este movimiento es intermitente, y el calibrado se realiza por la cara oculta, cuando están paradas.

La precisión del calibrado es del orden de décimas de milímetro.

Biselado.

El paso siguiente es el biselado de los cuatro cantos y el calibrado de los cantos a 90°. Por último se efectúa el lavado y secado de los productos, quedando listos para su empaquetado y comercialización.

Abujardado.

Es una de las formas más antiguas de tratamiento superficial de los materiales pétreos destinados, sobre todo, a revestimientos exteriores.

La mayoría de las bujardas automáticas están dotadas de bancos móviles y de un útil neumático que se desplaza transversalmente sobre un puente fijo o también de un tramo fijo y de un útil que se desplaza transversalmente sobre deslizaderas con cremallera.

Estas máquinas permiten obtener una gran variedad de grabados (punteados) de superficies, que abarcan desde el grano medio al muy fino, si bien no son adecuadas para grandes producciones, ya que su capacidad de tratamiento oscila desde los 50/60 m² cada 8 horas para los granitos, hasta los 80/110 m² cada 8 horas para los mármoles (Figura 6.4.2.14).

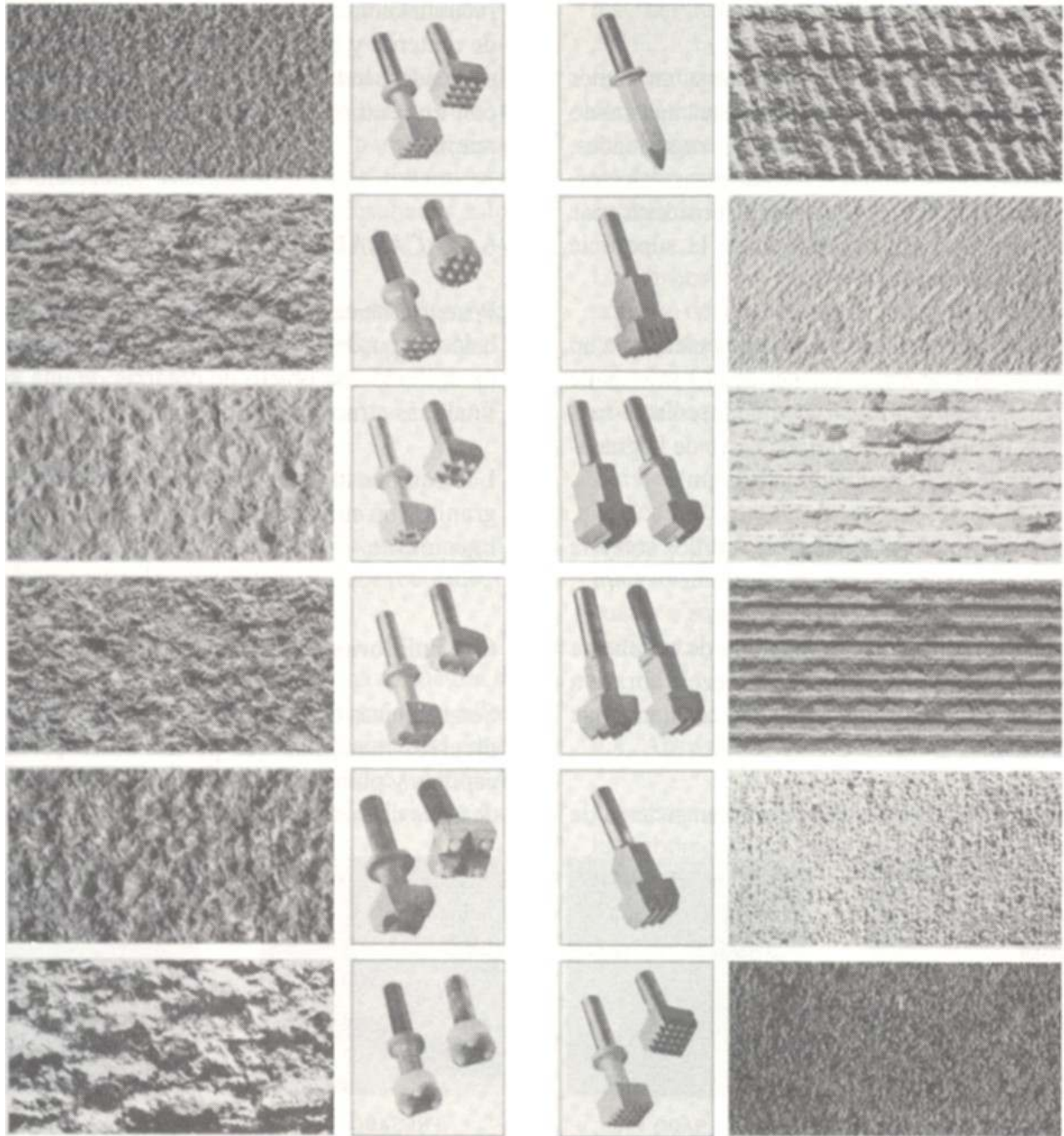


Figura 6.4.2.14.- Distintos tipos de bujardas y acabados superficiales.

Tratamiento térmico (flameado) .

Este tratamiento superficial, que en los últimos años ha experimentado un elevado aumento de la demanda, se emplea con las rocas ígneas de estructura granítica en general y con [as cocas ácidas en particular, sobre las que se aplica una llama a elevada temperatura (1.500 °C), alimentada por una mezcla de combustible y oxígeno para, a continuación, enfriarla rápidamente con un chorro de agua , saltando algunos de los componentes de la superficie de la plancha y revelando su estructura cristalina (Figura 6.4.2.15).

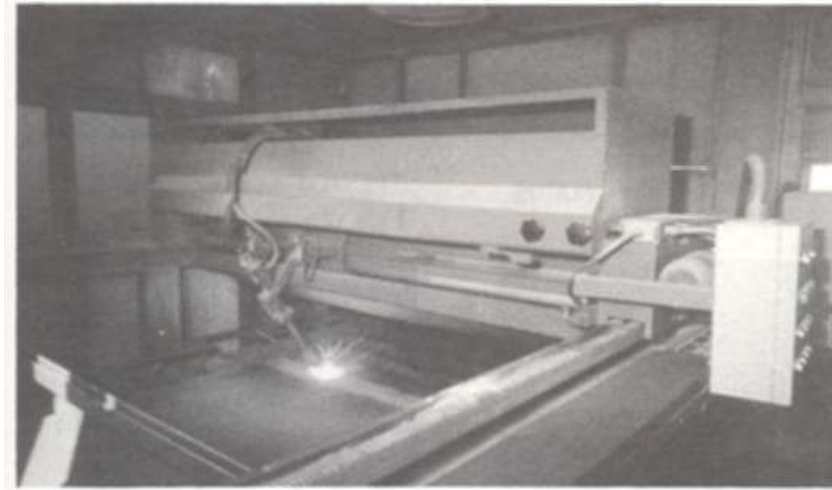


Figura 6.4.2.15.- Flameado del granito

Este tratamiento da a la roca un aspecto rugoso (2-3 mm) y vítreo, con efectos cromáticos característicos y de una notable estabilidad frente a la alteración química atmosférica.

Arenado.

El arenado de las planchas de mármol y, en menor medida, del granito se efectúa cuando estas han salido con aserrado defectuoso (rayaduras, rugosidades, concavidad, etc.), y se desea solventar estos defectos, o bien, cuando lo exija el cliente por considerar más apropiado para su obra el acabado de la superficie "granulada" del arenado.

Este acabado se obtiene sometiendo a la plancha a un lavado con chorro de arena a partir de una mezcla de agua y arena silicea a presión, pudiéndose hacer mas grueso o más fino en función del diámetro de la granalla empleada (de 0.5/0.8 mm a 0.8/1.3 mm).

La maquina consta de una artesa de rodillos sobre la que se desliza la pieza. Una boquilla distribuidora, suspendida de un puente móvil, va rociando uniformemente la mezcla abrasiva sobre toda la superficie a una velocidad constante que se puede regular.

6.4.3.-Acabado.

Posteriormente al tratamiento superficial y corte, las baldosas pueden ser sometidas a diversas operaciones de acabado con objeto de dotarlas de una apariencia final más atractiva y/o funcional (Figura 6.4.3.1).

Los equipos utilizados para el acabado del mármol o granito son similares, si bien los útiles finales varían ligeramente.

Pulidoras de cantos.

Son maquinas de tratamiento continuo, equipadas con diversos mandriles que portan útiles abrasivos que cepillan y pulen los cantos y que, mediante el empleo de útiles diamantados, los perfilan, molduran, biselan, calibran, etc. Todo el proceso esta computarizado.

Las maquinas para el tratamiento de cantos y pulido están muy extendidas, siendo muy útiles para la fabricación de peldaños de escalera y para la realización de biselados, chaflandes, u otros tratamientos accesorios de los productos finales destinados a los revestimientos exteriores e interiores.

Los modelos mas recientes incorporan mandriles que pueden cepillar y pulir bordes toroidales en placas de hasta 10 cm de espesor.



Figura 6.4.3.1.- Diversas operaciones de acabado

Perforadoras y fresadoras.

Son equipos que, dispuestos en un puente de trabajo con movimiento bidimensional o tridimensional de los útiles (brocas y fresas), realizan todo tipo de orificios laterales y/o acanalamientos, muescas, etc., para el anclaje de las baldosas en las fachadas (Figura 6.4.3.2).

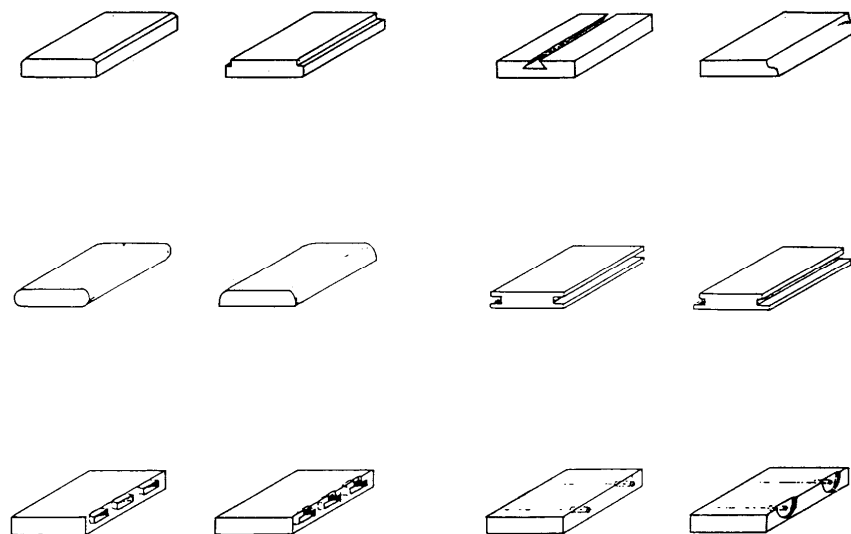


Figura 6.4.3.2.- Distintos tipos de anclajes y fresas

Un dispositivo automático de control determina la posición de cada mandril y la profundidad de la muesca. Los trabajos de la fresadora pueden ser tridimensionales (grabados, plantillas, escritura), siendo muy utilizados por la industria funeraria (Figura 6.4.3.3).

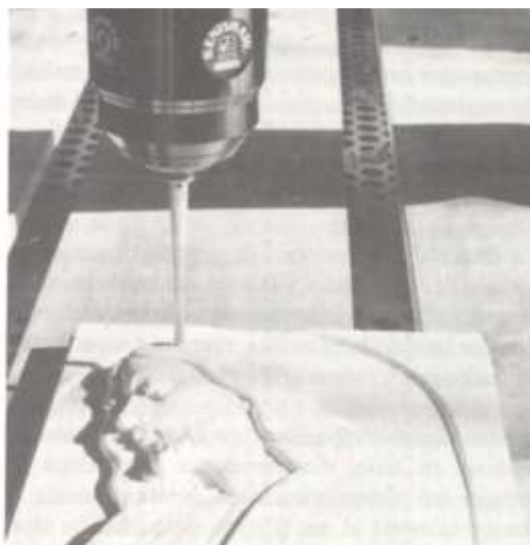


Figura 6.4.3.3.- Fresadora realizando un grabado tridimensional

Abrasivos.

Los abrasivos desempeñan un papel tan importante en la elaboración del mármol y granito que, sin su existencia, no habría sido posible el desarrollo alcanzado por esta industria.

El primer abrasivo empleado fue la arena mezclada con agua y, durante mucho tiempo no se conoció ningún otro. Más tarde se fueron conociendo las propiedades abrasivas de diversos minerales, como el cuarzo, el granate, el esmeril y el corindón, que tienen durezas 7, 7.5, 8 y 9 respectivamente, en la escala de Mohs.

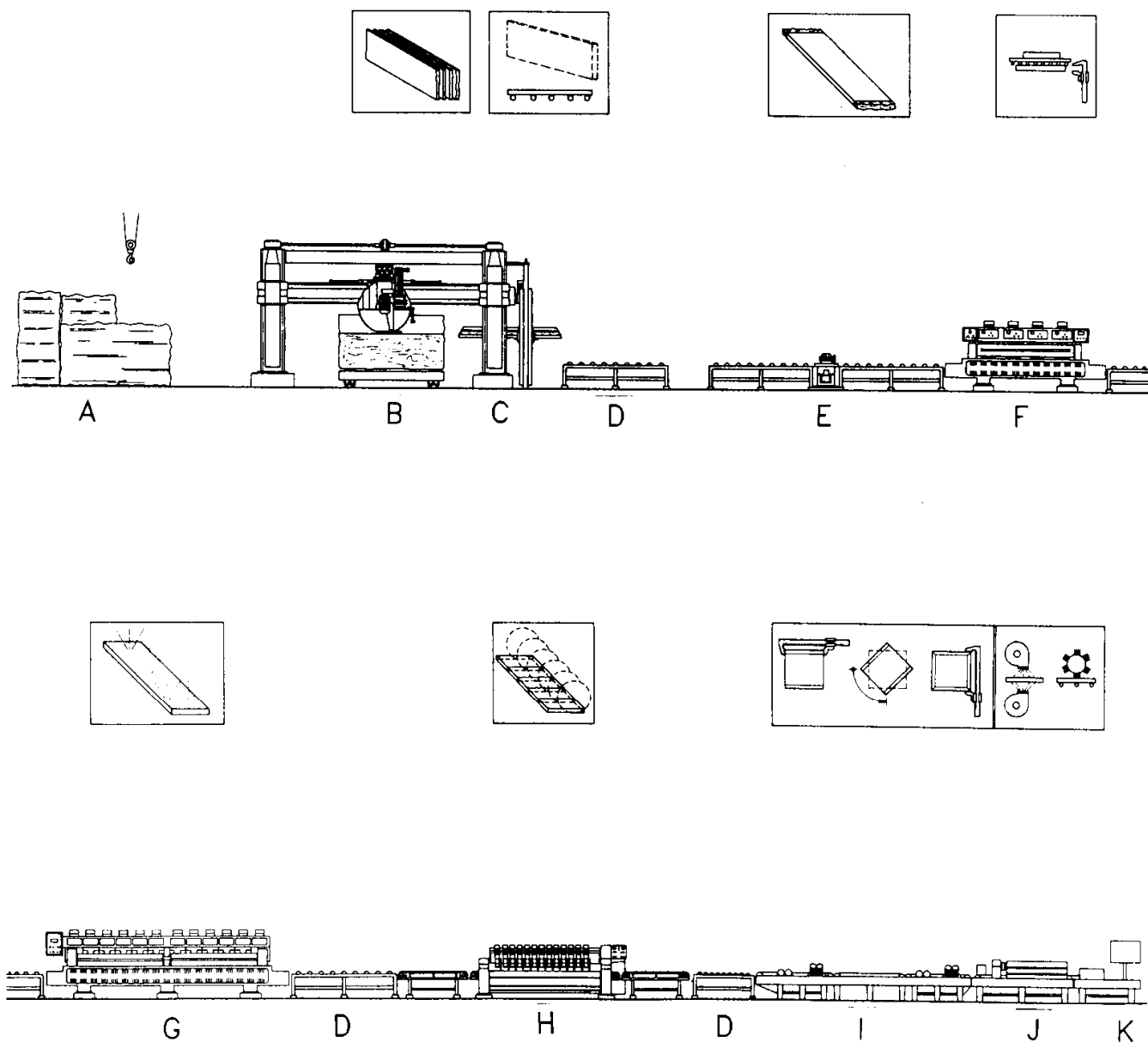
Pero no fue sino hasta principios de siglo con el descubrimiento del carborundum, material extremadamente duro (9.6 en la escala Mohs), muy afilado y extremadamente frágil, cuando se inició la producción de abrasivos artificiales, llegando a ser hasta tal punto indispensables que ya no es el abrasivo el que esta en función de la maquina, sino que son estas las que han sido creadas expresamente para aprovechar las cualidades excepcionales de aquel.

La aparición del diamante artificial a finales de los años cincuenta, sus extraordinarias cualidades como abrasivo, y su cada vez menores costes de fabricación, unidos a una mayor calidad, ha supuesto una segunda "revolución" en el campo de los abrasivos industriales, relegando progresivamente el uso del carborundum a un segundo plano.

Con ambos se fabrican una gran serie de útiles, como los discos de sierra, muelas para pulir y moldurar, coronas, bloques o briquetas para pulido a mano, fresas, etc., que están constituidos por un aglomerado de granos de abrasivo con tamaños y separación variables, unidos por un ligante cuya naturaleza varia también según el material que deba trabajarse

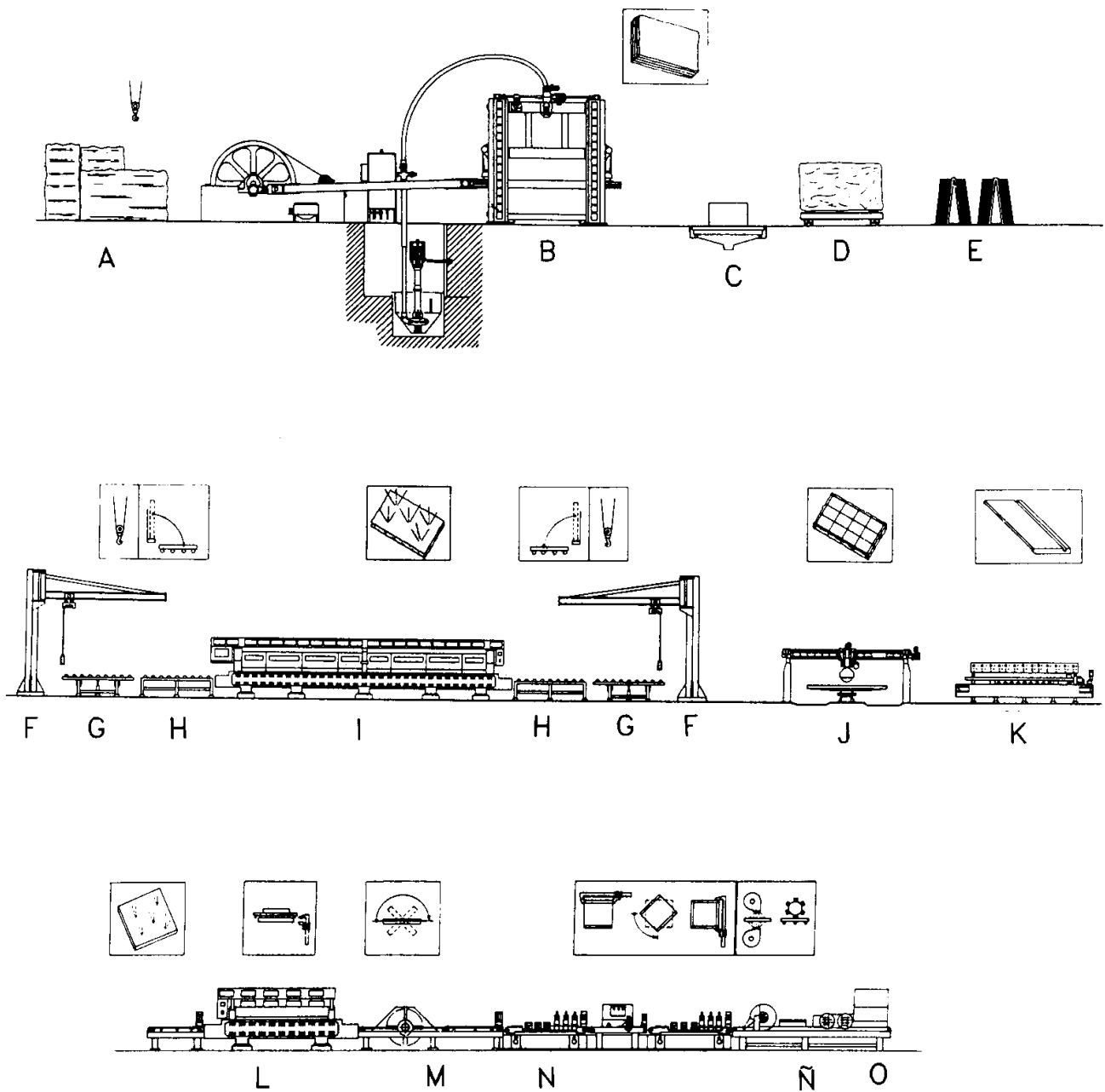
6.4.4.- Resumen.

El resumen final de todo lo expuesto a lo largo de este capítulo dedicado a la elaboración de la roca ornamental, queda reflejado en los dos esquemas de las figuras 6.4.4.1 y 6.4.4.2.



- A) Bloques almacenados listos para su carga por el puente grúa.
- B) Cortabloques multidisco para la obtención de tiras de preacabados.
- C) Descargadora automática de las tiras de mármol.
- D) Mesa de rodillos.
- E) Encabezadora para preparar las tiras.
- F) Calibradora continua a un grueso uniforme.
- G) Amoladora y pulidora continua.
- H) Cortadora multidisco para el aserrado de las tiras en baldosas.
- I) Biseladora y calibradora lateral de las tiras con volteo automático.
- J) Abujardadora con juego opcional de mandriles.
- K) Limpiado y secado de las baldosas, quedando listas para su embalaje.

Figura 6.4.4.1.- Línea de elaboración de baldosas de mármol.



- A) Bloques almacenados listos para su carga y aserrado.
- B) Telar pendular para el aserrado en planchas.
- C) Transportador motorizado del carro portabloques.
- D) Carro transportador de planchas.
- E) Almacenamiento de las planchas hasta su aserrado.
- F) Pluma para la manipulación de las planchas.
- G) Banco basculante para la carga y descarga de las planchas.
- H) Mesa de rodillos.
- I) Tren continuo de desbaste y pulido.
- J) Sierra puente para el corte transversal y longitudinal de las planchas.
- K) Pulidora continua de cantos.
- L) Calibradora lineal continua de baldosas.
- M) Volteadora automática de baldosas.
- N) Biseladora y calibradora lateral de las tiras.
- Ñ) Abujardadora con juego opcional de mandriles.
- O) Limpieza y secado de baldosas quedando listas para su embalaje.

Figura 6.4.4.2.- Línea mixta de elaboración de placas y baldosas de granito.

6.5- Elaboración de la pizarra.

6.5.1.-Introducción.

Las pizarras son rocas que se emplean básicamente en el sector de la construcción, siendo los usos principales como piezas para cubiertas y revestimientos de fachadas. También se utilizan en solados, en la construcción de muros, fabricación artesanal, etc.

Las pizarras de techar constituyen actualmente el producto más representativo de este sector, por la producción alcanzada y el potencial de comercialización en el extranjero. Al ser elementos tan visibles, se las debe tratar y dar formas adecuadas para poder ser comercializadas.

6.5.2.- Preparación y elaboración de la pizarra.

La preparación y elaboración de la pizarra de techar, desde su extracción en la cantera, hasta conseguir el producto final, es un proceso que ha permanecido prácticamente invariable a lo largo del tiempo, sufriendo únicamente modificaciones en lo que a mecanización se refiere.

Básicamente, el proceso de elaboración de la pizarra se puede esquematizar según la figura 6.5.2.1. En ella se pueden distinguir las siguientes etapas:

- EXFOLIADO PRIMARIO.
- SERRADO.
- EXFOLIADO FINAL.
- DIMENSIONADO DE LAS PLACAS O CORTE.
- SELECCION, CLASIFICACION Y EMBALADO.
- COMERCIALIZACION.

Exfoliado primario.

Primeramente, la pizarra se lleva a la nave lo mas inalterada posible en forma de rachones o bloques de grandes dimensiones. Para ello, el bloque extraído es transportado sin que transcurra demasiado tiempo, para evitar su desecación, a la nave de elaboración, generalmente en camiones, o si la nave esta a pie de cantera con las mismas palas cargadoras.

El exfoliado primario consiste en dividir los rachones gruesos que vienen de la explotación en otros menores, que no sobrepasen los 30 - 35 cm de espesor, con martillos neumáticos dotados de pica plana o espátula, con cuñas y mazas (Estas, últimamente, están tendiendo a desaparecer por motivos de productividad y seguridad), con exfoliadoras neumáticas, etc., aprovechando los planos de esquistosidad.

Estos 30-35 cm vienen limitados por el diámetro de las sierras, ya que el espesor máximo a obtener del rachón no debe superar el valor de $1/3$ del diámetro de las mismas, siendo generalmente este último de 1000 mm a 1200 mm.

Los rachones han de ser cuidadosamente observados por personas expertas que examinen las diaclasas, filoncillos de cuarzo, etc., y marque las direcciones en que se deben cortar.

Serrado.

A continuación, los bloques o rachones de espesor adecuado son llevados por los puentes grúa o polipastos hasta los carros de las sierras de disco diamantado, donde se procede al troceado en bloques paralelepípedicos, comúnmente llamados tochos, de plantillas ligeramente superiores a las placas comerciales que se intentan fabricar.

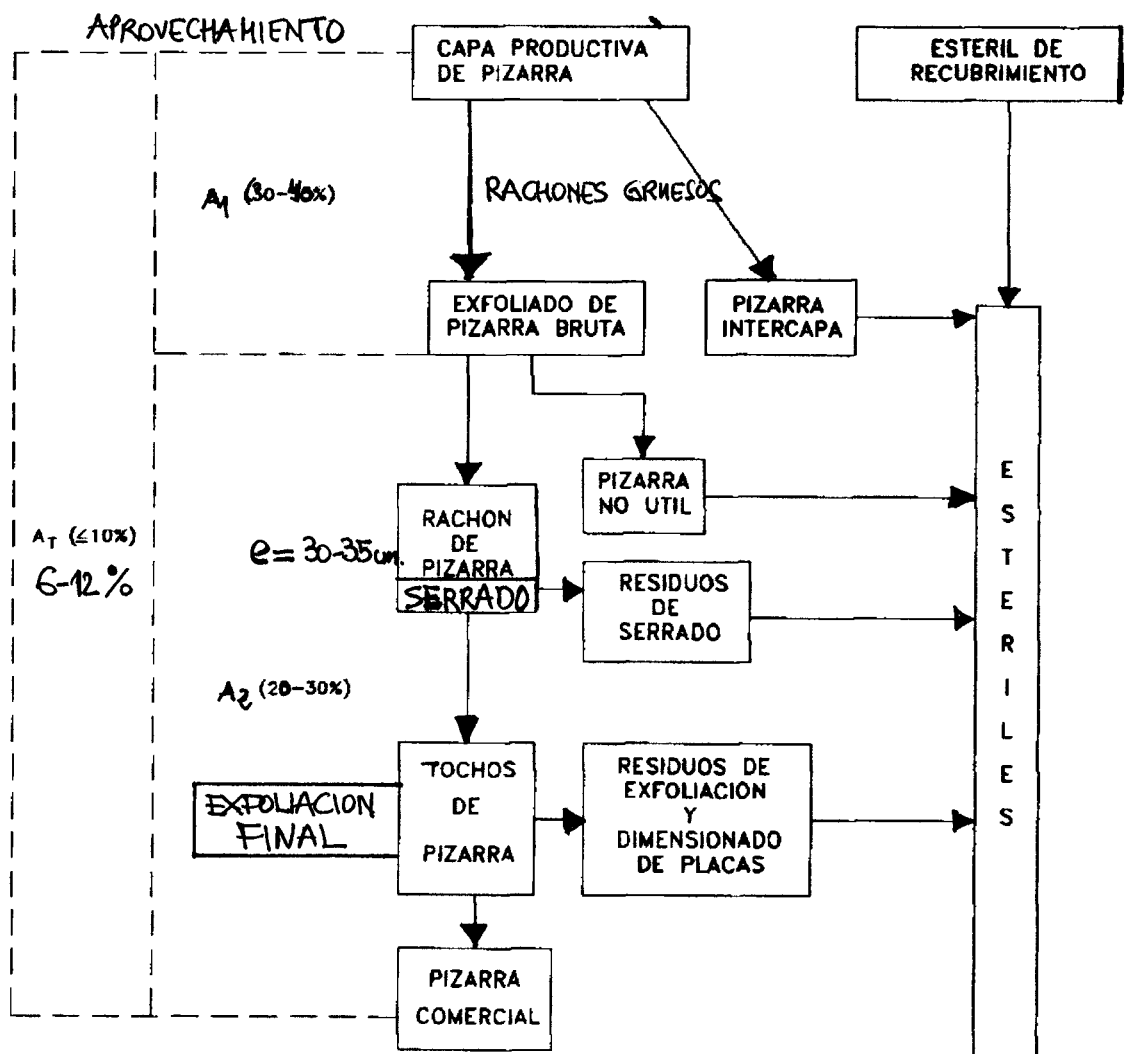
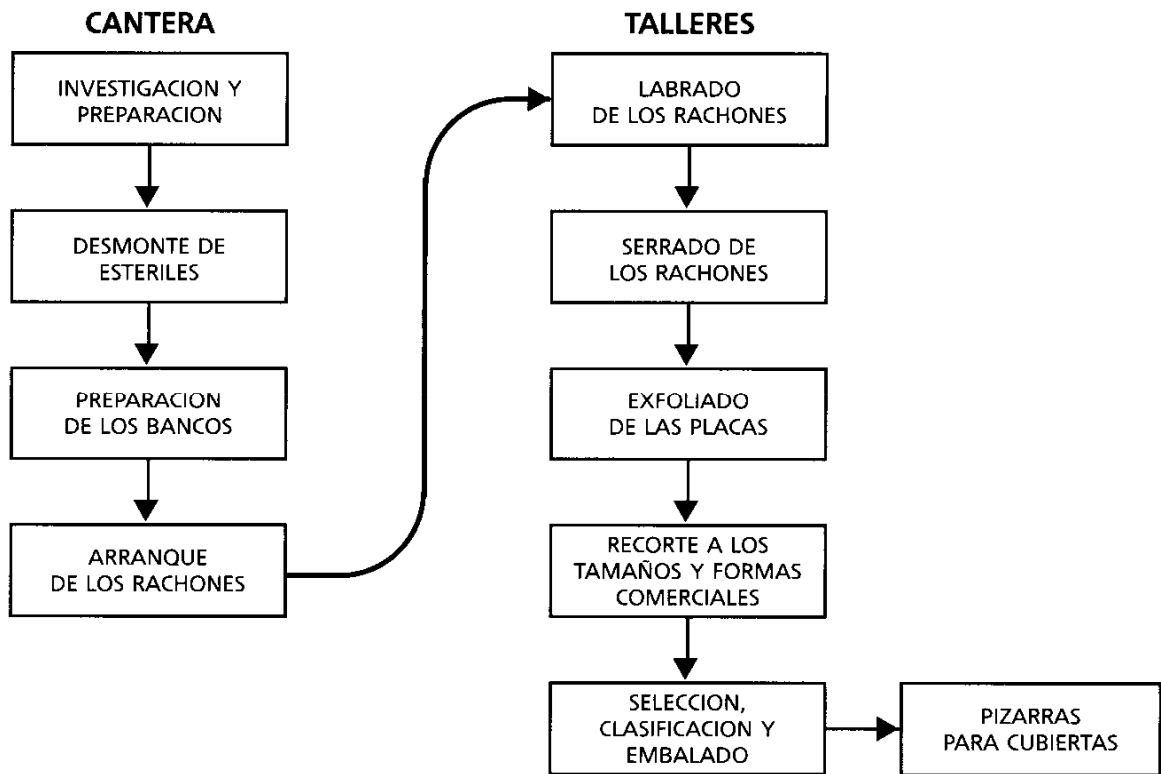


Figura 6.5.2.1.- Proceso de elaboración de la pizarra y producción de estériles.

Básicamente existen dos técnicas de serrado distintas:

(a).- Sierras en línea paralela, tipo puente, fijas y alineadas y carros móviles sobre raíles. En esta técnica existen varias sierras trabajando independientemente, a las que les llega un rachón para cortar en dos series perpendiculares y producir los tochos para el labrado.

En este sistema de serrado el rachón permanece fijo sobre el carro (superficies cuadradas, tipo mesa, de aproximadamente 2 m de lado), siendo este móvil según un movimiento de traslación sobre raíles y uno de rotación sobre eje central y vertical. El carro cargado se coloca bajo la sierra que realiza los cortes transversales. Realizados los cortes del rachón en un sentido, el operario gira el carro 90 ° para los sucesivos cortes en función del tamaño de las tejas finales posible y con la limitación que le impongan los rachones, fracturas, formas e impurezas.

(b).- Sierras en línea serie. En este caso, existen dos o tres sierras que trabajan sobre la materia prima una detrás de la otra, y en las que las sierras son fijas y el corte se efectúa por movimientos del rachón.

Generalmente, el sistema suele estar formado por dos sierras, en las que la primera corta los rachones en franjas y la segunda corta estas en los tochos o bloques paralelepípedicos.

La última sierra de la cadena es de cabeza móvil, de tal forma que puede dar cortes oblicuos para poder aprovechar más el material cuando tiene pianos de falla o de fracturas. Si el sistema esta constituido por tres sierras, la primera de ellas tiene menos potencia que las otras dos y se emplea para preparar el rachón.

Las aportaciones más importantes de este sistema son el cabezal giratorio de la segunda sierra, que permite cortes oblicuos del rachón, y la posibilidad de seleccionar el punto de corte para cada bloque. Todo esto permite obtener un mejor rendimiento del bloque en la segunda mesa de serrado, pues se minimizan los desechos por fracturas e intercalaciones en la pizarra al aproximar el corte a los mismos.

En resumen, esta técnica en línea serie aumenta el rendimiento de la materia prima, permitiendo el desplazamiento lineal, y pudiendo continuar la cadena de transporte hacia la zona de exfoliado mediante rodillos o cintas.

En una nave de elaboración se puede emplear una combinación de ambos sistemas. Para que la disposición sea efectiva es conveniente suministrar los rachones mayores a la línea paralela, y los de menor espesor o los que presenten imperfecciones en pianos oblicuos a la línea serie para su mejor aprovechamiento.

En la figura 6.5.2.2 se representa una nave de elaboración en la que se utilizan los dos sistemas, tres sierras para trabajar según el sistema línea paralelo y con salida del escombro al exterior, y tres sierras en línea serie en las que los estériles se retiran con pala o en los contenedores por la entrada de los rachones.

Los discos que se utilizan en ambos tipos de técnicas de serrado son de acero, en los que se embuten pastillas de diamante en la periferia.

Una vez que se han serrado los tochos, estos se depositan en unos contenedores o cubetas metálicas, de aproximadamente 1.5 m³ de capacidad y llenas de agua, con el fin de evitar el secado de los mismos y la consiguiente pérdida de facilidad de lajado, o en caminos de rodillos para ser transportados directamente a la zona de labrado o de exfoliado.

Exfoliación final.

Esta etapa consiste en la exfoliación de los tochos a los espesores comerciales. En esta zona, operarios especializados, que muchas veces trabajan por parejas, exfolian los tochos en láminas del espesor deseado, realizando la labor sobre los denominados bancos de labrado (Figura 6.5.2.3). Los pasos que se siguen en esta operación son, generalmente, la división de los tochos en lajas de unos 20 a 30 mm de espesor y exfoliación en placas de 3-5 mm.

La exfoliación definitiva de [as placas puede realizarse tanto de forma manual como de forma mecánica.

La exfoliación manual se efectúa mediante unas espátulas golpeadas con martillo de plástico. En Francia se utilizan espátulas largas y afiladas con el fin de que penetren hasta el final de la placa y se obtenga una separación completa, mientras que en la zona de Valdeorras suelen tener una longitud de unos 10 cm y se llaman uñetas. Esta tarea de labrado es repetitiva y de realización sencilla, pues consiste en dividir el elemento inicial, tocho, en lajas según los planos de esquistosidad.

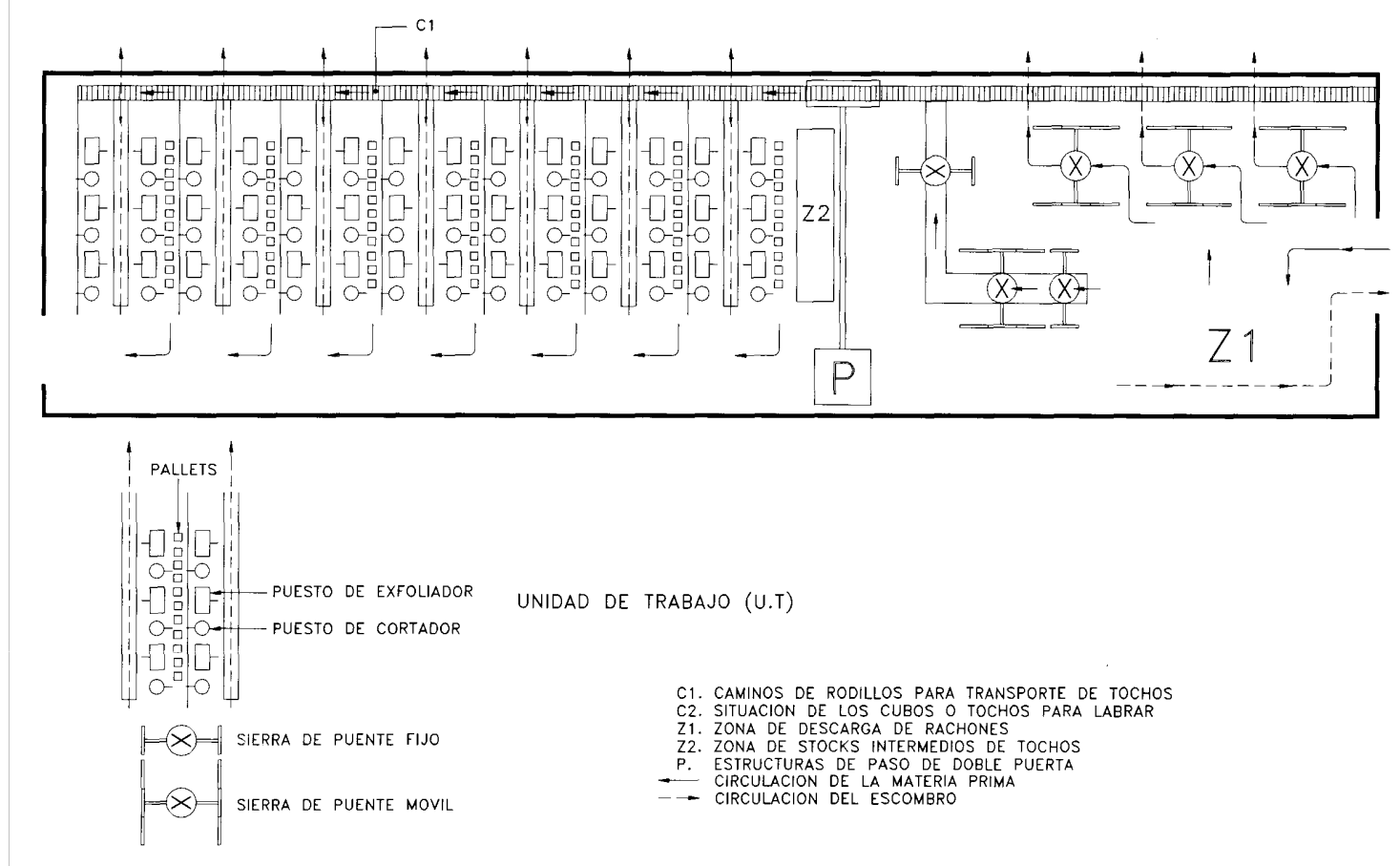


Figura 6.5.2.2.- Esquema de una nave de elaboración de la pizarra con dos sistemas de serrado. Organización lineal del trabajo.



Figura 6.5.2.3.- Operación de exfoliado final.

La exfoliación mecánica se puede realizar con maquinas de ventosas. Con estas maquinas la separación es instantánea gracias al efecto de choque de una espátula autocentradora que percute la base de la placa. Este equipo ha sido puesto a punto en Francia. En España, la Xunta de Galicia ha financiado el desarrollo de un prototipo de exfoliadora mecánica, que recibe tochos de espesor cuatro veces el de la placa definitiva y que en cinco segundos produce la exfoliación.

La producción diaria teórica, tomando 50 minutos para cada hora, es de unas 19.000 piezas, para una jornada de 8 horas, lo que equivale a la producción obtenida por 8 labradores.

Para mantener el ritmo de producción de la maquina se precisan tres operarios para la preparación previa de los tochos de alimentación a la maquina.

En la figura 6.5.2.4 se puede ver el esquema de una nave incorporando la exfoliadora automática. Dimensionado de las placas o corte.

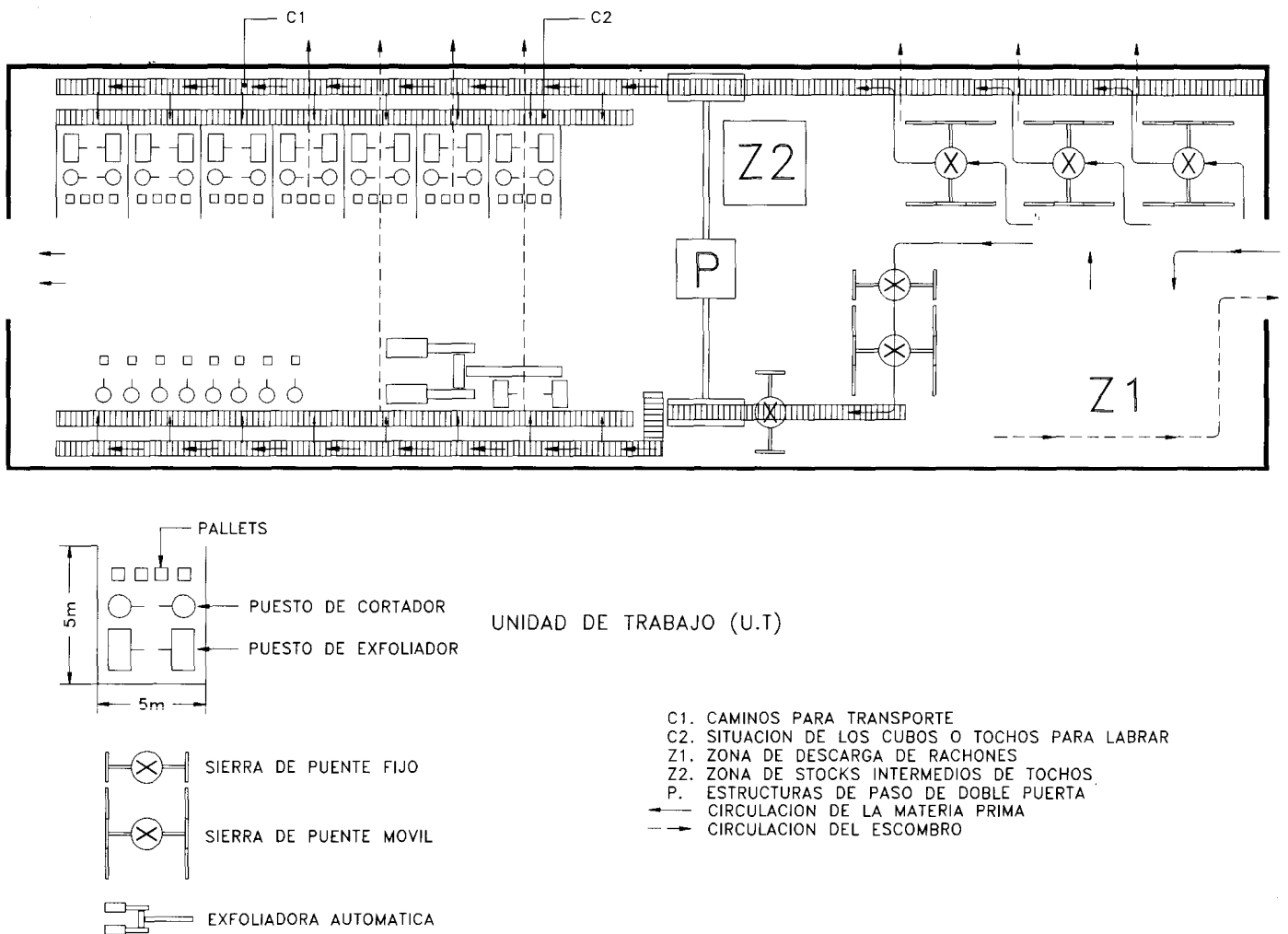
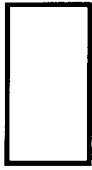
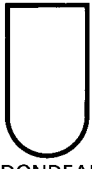
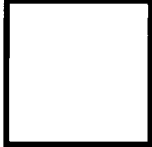
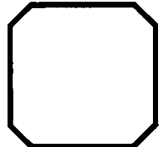
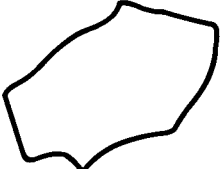
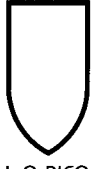
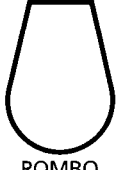
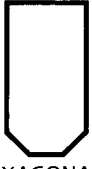


Figura 6.5.2.4.- Nave de elaboración con exfoliadora automática.

Finalmente, las laminas obtenidas, con un espesor que oscila entre 3 y 5 mm, pasan a otros operarios que las dimensionan según formas y medidas estándar para su comercialización (Tabla 6.5.2.1).

Esta operación se lleva a cabo mediante unas tijeras o guillotinas y troqueladoras. Las primeras permiten al operario cambiar las medidas de la pieza final según el corte que admita, asentando la lámina en las diferentes muescas de la escala que incorporan. Las tijeras son recomendables para piezas cuadriláteras.

Tabla 6.5.2.1.- Formatos y medidas más usuales de las pizarras de techar.

| Ordinarios | | | | Especiales | | |
|---|--|--|---|---|-------------------------------------|---|
| | Largo cm. | Ancho cm. | Espesor medio (mm.) | Largo cm. | Ancho cm. | Espesor medio (mm.) |
|  RECTANGULAR | 40 40 35 32 30 27 25 | 25 20 25 22 20 18 15 | 4 a 5 4 a 5 4 a 5 2,5 a 3,5 2,5 a 3,5 2,5 a 3,5 2,5 a 3,5 | 60 50 50 46 — — — | 30 30 25 30 — — — | 6 a 8 5 a 7 5 a 7 4 a 6 — — — |
|  REDONDEADA | 40 35 30 | 20 20 20 | 4 a 5 4 a 5 3 a 5 | FABRICACION SOBRE ENCARGO  CUADRADA  OCTOGONAL  GRANEL | | |
|  OJIVAL O PICO PALA | 50 40 | 25 20 | 6 a 7 4 a 5 | | | |
|  ROMBO | 40 35 | 40 35 | 6 a 8 5 a 7 | | | |
|  EXAGONAL | 40 35 | 30 25 | — — | | | |

En cuanto a las troqueladoras, poseen distintas plantillas según el tamaño y la forma, pero son menos versátiles que las guillotadoras ya que cada maquina da una pieza fija. Estos equipos pueden ser de accionamiento manual o con aire comprimido en las más modernas.

Asimismo, se utilizan taladradoras automáticas cuando las tejas se comercializan con orificios para su posterior montaje y colocación.

Para la elaboración de tejas con contornos irregulares, por ejemplo en forma de escama que se usan en Alemania, existen, además de las troqueladoras, maquinas de corte especiales.

Selección, clasificación y embalado.

Una vez que se ha terminado la operación de corte de las placas, estas son clasificadas en el almacén teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Grosor de las placas.
- Defectos de labrado.
- Rugosidades superficiales. - Minerales oxidables.
- Nudos u otras imperfecciones que puedan agujerear la pizarra.

Seleccionadas las placas por calidades, se clasifican por dimensiones y se embalan en jaulas de madera, denominadas pallets, construidas al efecto (Figura 6.5.2.5). Estas operaciones son casi simultáneas, realizándolas los mismos operarios.

Finalmente, estas jaulas de madera cargadas se envían al exterior para su almacenamiento temporal hasta el momento de su comercialización.



Figura 6.5.2.5.- Embalado de la pizarra en pallets.

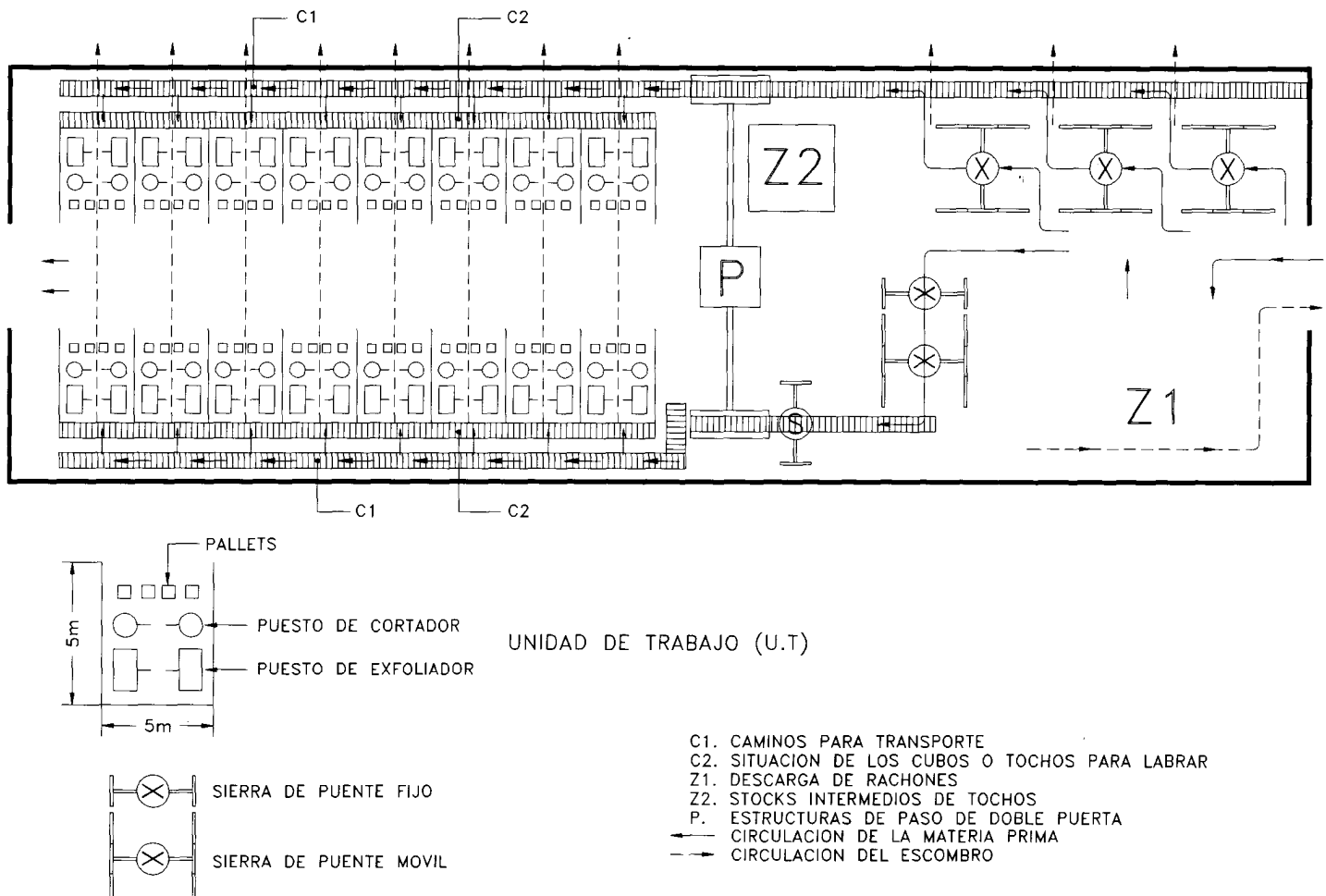


Figura 6.5.2.6.- Esquema de nave con dos sistemas de serrado y organización de puestos de elaboración en ramales paralelos.

6.6.- Técnicas de colocación.

6.6.1.- Introducción.

La piedra natural se utiliza, por un lado, en las obras de restauración y remodelación de edificios antiguos singulares y por otro, en edificios de nueva construcción ya sea en interiores, en suelos y paredes, ya sea en fachadas, combinando en éstas últimas otros materiales, como el cristal, el aluminio, el ladrillo cara vista, etc. Este tipo de fachadas perdura inalterable con el paso del tiempo mucho mejor que otros materiales.

La inagotable variedad de piedras naturales, ya sea por los diferentes tipos de rocas como por los distintos colores, y las numerosas técnicas de colocación desarrolladas en los últimos años, permiten satisfacer las demandas de los arquitectos para las construcciones más desafiantes en diseño y creatividad.

Por lo frecuente que resultan los trabajos de aplacado o revestimiento de exteriores, junto con la construcción de pavimentos y cubiertas, se describen en este capítulo las técnicas de colocación más utilizadas de los diferentes productos de piedra natural.

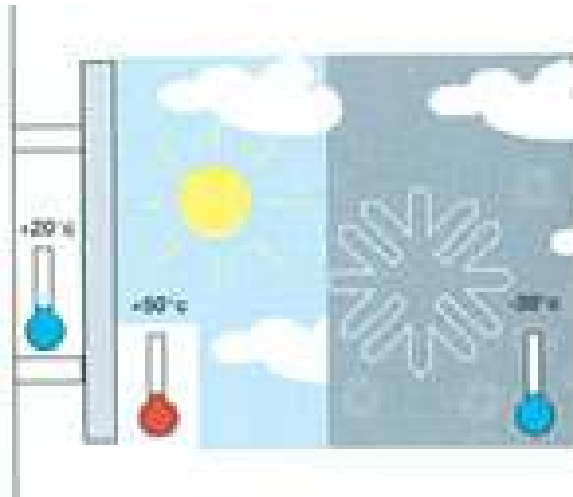
6.6.2.- Técnicas de aplacado de fachadas.

Desde siempre, la resolución de la fachada ha sido uno de los problemas que más ha inquietado a los arquitectos a la hora de proyectar un edificio. La problemática surge por la multiplicidad de funciones a las que se ve sometida. Debe dar respuesta a cuestiones técnicas y de diseño que se podrían englobar en tres grandes grupos:

- Aislamiento del hábitat.
- Protección de los elementos constructivos.
- Imagen del edificio.

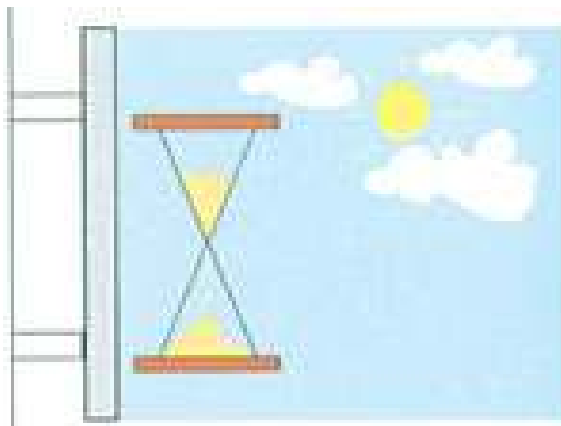
Desde hace muchos años ha sido práctica corriente en la edificación el diseño de fachadas que incorporan sistemas de aislamiento térmico-acústico. Entre los distintos sistemas constructivos el sistema con cámara de aire ventilada ofrece múltiples e importantes ventajas, entre las que cabe destacar las siguientes:

AHORRO ENERGÉTICO (25 – 40 %).



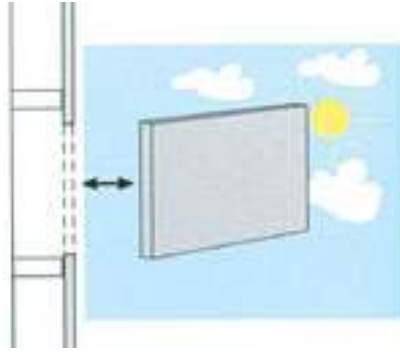
- Menor absorción de calor en los meses cálidos con lo que se consigue un notable ahorro en los costes de acondicionamiento.
- Menor dispersión de calor con lo que hay un fuerte ahorro energético en los meses fríos.
- Favorece el ahorro de energía al optimizar el aprovechamiento de la inercia térmica del muro portante.

AUSENCIA DE DETERIORO A LO LARGO DEL TIEMPO.



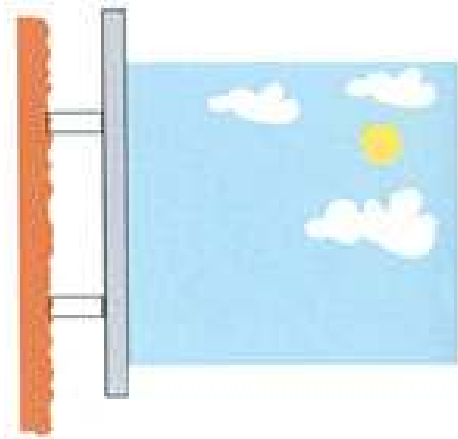
- Contribuye a la dispersión de la humedad.
- Ausencia de humedad y eflorescencias en las paredes exteriores. Eliminación de la condensación superficial.
- Estabilidad a la estructura y al muro soporte.
- Insensible a la corrosión provocada por la contaminación.

BAJO COSTE DE MANTENIMIENTO.



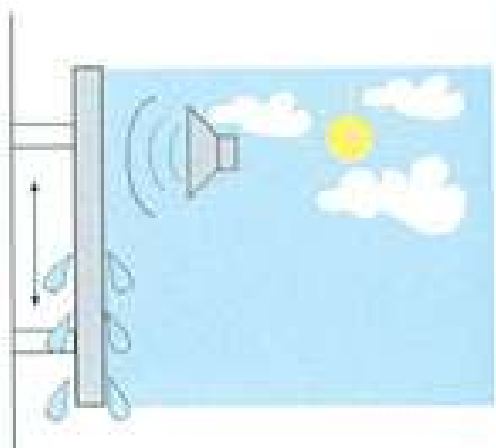
- Facilidad de montaje y desmontaje.
- Posibilidad de sustitución de elementos del revestimiento.
- Se limpia con la lluvia.

EXCEPCIONAL EN REHABILITACIONES.



- Aplicable sobre revoques existentes.
- Notable mejora del aislamiento térmico/acústico del edificio.
- Rápida ejecución.
- Renueva totalmente la estética del edificio.

MEJORA CONDICIONES AMBIENTALES.



- Excelente aislamiento acústico.
- Dispersión de la humedad presente en el interior.

CALIDAD Y DURABILIDAD.

Protege la lámina interior de cerramiento y la estructura de los agentes atmosféricos, reduciendo los saltos térmicos y evitando la aparición de humedades.

El aplacado actúa como un muro antilluvia, igualando las presiones existentes en el exterior y en la cámara, lo que evita que se produzca entrada significativa de agua en ésta. Permite una corriente de aire que ventila y seca la estructura y el aplacado, eliminando la condensación de vapor de agua de la fábrica.

CONFORT.

Mejora el aislamiento acústico en frecuencias medias-altas (1000 Hz) unos 10 dB, con aislamiento adecuado. Elimina los puentes térmicos protegiendo cantos de forjado, cajas de persiana, etc.

Al optar por este sistema constructivo, a base de cámara de aire ventilada y placas de material pétreo, el problema que se plantea es la seguridad en la fijación de los aplacados. La normativa en esta materia es escasa, por lo que hay que apoyarse en el criterio alemán que se basa en la norma DIN. Existen en la actualidad sistemas de colocación que ofrecen una total garantía.

Estabilidad del aplacado.

Las acciones que concurren en una fachada con aplacado son (Figura 6.6.2.1):

- Peso propio del aplacado.
- Cargas producidas por efecto del viento.
- Tensiones de origen térmico entre fachada y estructura portante.

La estabilidad de la fachada depende tanto del correcto dimensionado de las placas y anclajes como de la adecuada elección del sistema de fijación del anclaje.

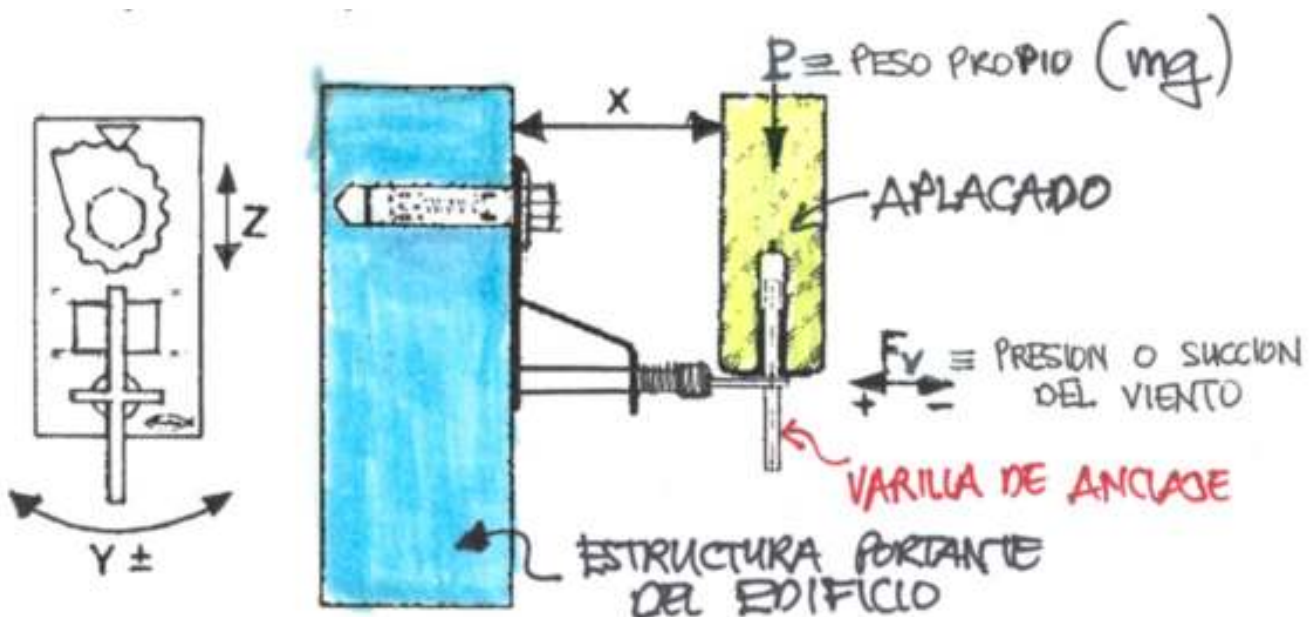


Figura 6.6.2.1.- Acciones ejercidas sobre una placa de revestimiento anclada.

Dimensionado de las placas.

El espesor mínimo de las placas depende de su resistencia a la rotura, (especialmente en la zona donde se inserta la varilla de anclaje), y de las cargas producidas por el viento. El espesor, por ejemplo, de una placa de granito de hasta aproximadamente 1 m² de superficie debe ser como mínimo de 30 mm para placas verticales y de 40 mm para placas horizontales.

En cuanto a placas inclinadas, se pueden asimilar a los dos grupos anteriores:

| | | |
|-------------------------------|---|-------|
| INCLINACIÓN > 60 % VERTICAL | ⇒ | 30 mm |
| INCLINACIÓN < 60 % HORIZONTAL | ⇒ | 40 mm |

Atendiendo exclusivamente a efectos de fijación, las dimensiones mínimas, por razones económicas, serán de 60 x 40 cm en placas sujetas por la junta vertical y de 60 x 80 cm en placas sujetas por la junta horizontal (Figura 6.6.2.2). Un tamaño menor supondría un mayor número de anclajes y por lo tanto mayor coste.

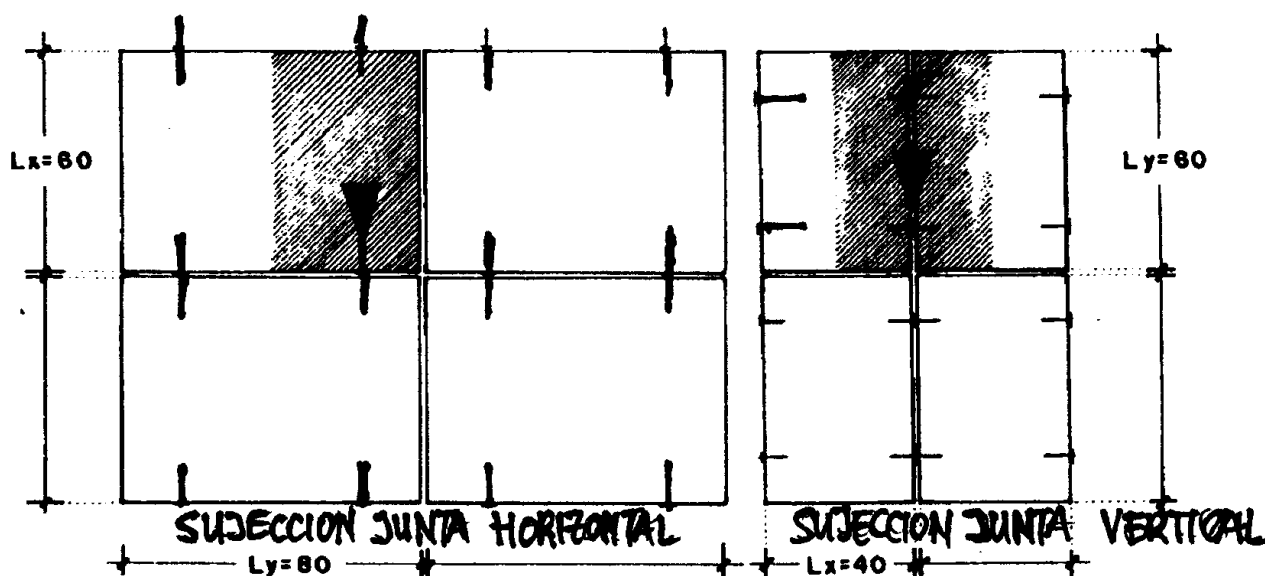


Figura 6.6.2.2.- Dimensiones de las placas.

A efectos de su resistencia a flexión ante la acción del viento y su peso propio, puede darse como válido el dimensionado si las placas guardan la relación $\frac{L_y}{L_x} \leq 4.0$.

Disposición de los orificios de anclaje.

En función del formato de las placas, los orificios de anclaje pueden encontrarse en la junta vertical o en la junta horizontal. El orificio se practica normalmente en el centro de la junta y tendrá un diámetro 4 mm mayor que el de la varilla de anclaje, es decir:

$$\Phi_{\text{ORIFICIO..ANCLAJE}} = \Phi_{\text{VARILLA..ANCLAJE}} + 4(\text{mm})$$

La distancia mínima entre los ejes de los taladros y la superficie de la losa no debe ser inferior a 15 mm.

Una placa de fachada se fijará normalmente en cuatro puntos, si bien, en situaciones concretas, puede aceptarse un mínimo de tres puntos. Los puntos de fijación deben estar posicionados de tal modo que permita a las placas de fachada una libre dilatación/contracción debidas a cambios de temperatura y de humedad.

Por eso, según DIN 18516, apartado 3, todos los puntos de fijación de una losa deben encontrarse en una línea circular según se muestra en la figura 6.6.2.3.

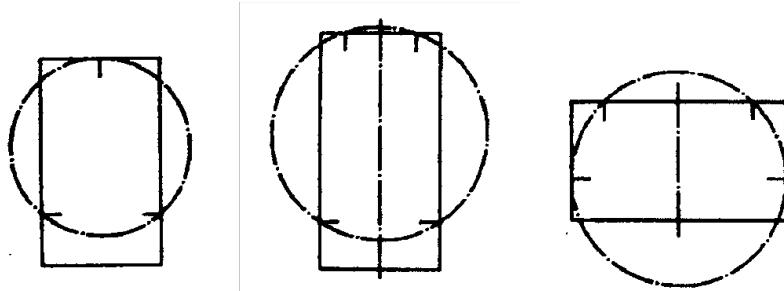


Figura 6.6.2.3.- Disposición de los orificios de anclaje.

En el caso normal con cuatro puntos de fijación se procede igualmente, siempre y cuando se disponga por lo menos de un eje longitudinal de simetría.

Distancia hasta los bordes (Figura 6.6.2.4).

En el caso ideal la separación entre el eje del taladro y la esquina de la placa no es superior a $\frac{1}{5}$ de la longitud del lado respectivo, sin embargo deberá ser como mínimo 7.5 mm. No obstante, esto no se puede realizar siempre por motivos constructivos y técnicos de anclaje.

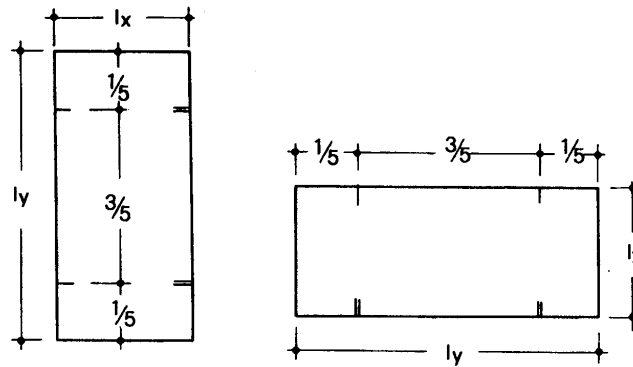


Figura 6.6.2.4.- Distancia de los taladros a los bordes de la placa.

Dimensión de las juntas entre placas.

Las placas pueden disponerse a junta abierta o de anclaje oculto (Figura 6.6.2.5).

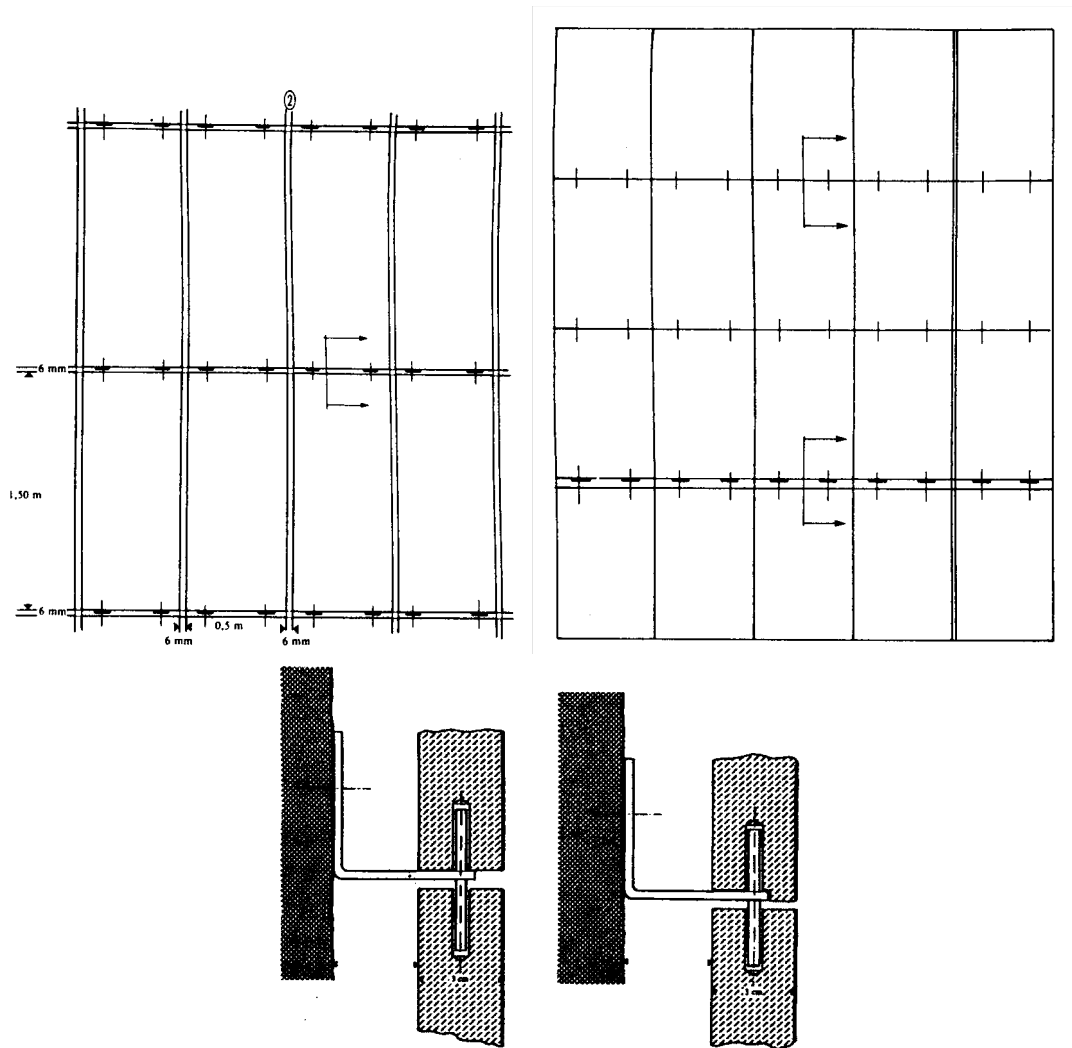


Figura 6.6.2.5.- Disposición de las placas

- (a).- Sistema de revestimiento a junta abierta.
- (b).- Sistema de revestimiento de anclaje oculto

Conviene conocer la influencia térmica a efectos de dilatación-contracción, antes de optar por una junta u otra. No sólo hay que tener en cuenta que el material dilata. Por ejemplo, para el granito $\alpha_1 = 8 \cdot 10^{-6}$ rrrn/m.°C), sino que además dilata el edificio y éste lo va a transmitir en cierto grado de movimientos.

Las juntas conviene dejarlas abiertas o selladas con algún producto que permanezca elástico, en ambos casos y para placas de formato pequeño (0.3 m^2) la mínima anchura recomendada es de 6 mm. En placas de formato normal (1.25 m^2) la mínima recomendable es de 8 mm. En placas de formato grande (1.8 m^2) la anchura debe ser 12 mm.

La práctica habitual en Alemania, con una larga tradición en la industria de la piedra natural y por consiguiente en la problemática de su fijación, es dejar una anchura de juntas de 10 mm.

Además, a mayor anchura de juntas entre placas más barata resulta la colocación y la fabricación de la piedra.

En cualquier caso, las juntas entre placas no dependen del espesor del anclaje, pues éste se puede ocultar bien con un pequeño rebaje invisible de la piedra, bien con un estrechamiento de la cabeza de anclaje.

Sistemas de fijación de los anclajes.

A efectos de estabilidad del aplacado, y también de economía, es importante elegir el sistema más adecuado en cada caso. Los anclajes se fijan a la estructura portante del edificio de una de las tres maneras siguientes:

(a).- Empotrados.

- Mediante tacos de unión o expansión (Figura 6.6.2.6.a).
- Con mortero autoexpansivo (Figura 6.6.2.6.b).

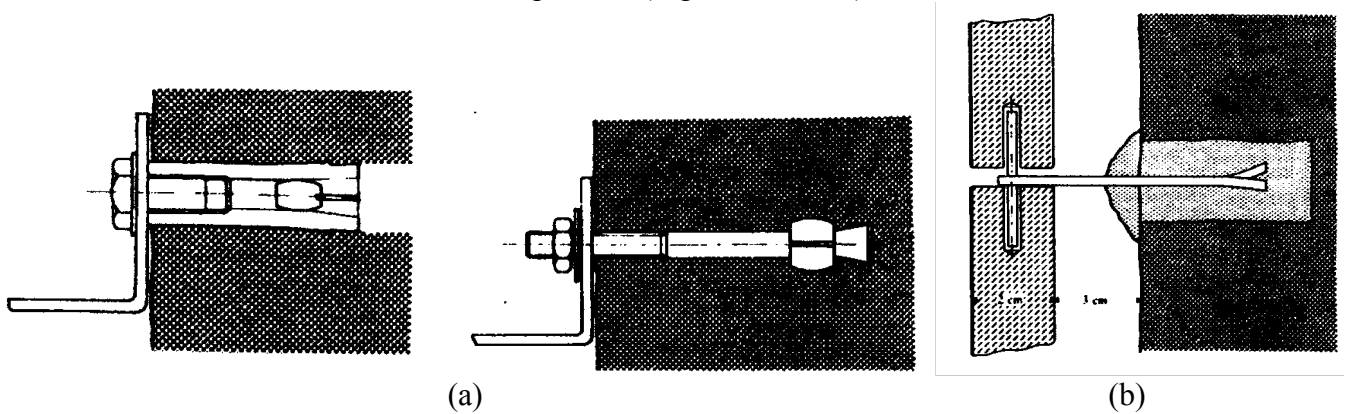


Figura 6.6.2.6.- Sistemas de fijación de anclajes empotrados
(a).- Mediante tacos de unión o expansión (b).- Con mortero autoexpansivo

(b).- Soldados.

Soldados a placas de soldadura fijadas previamente a la estructura (Figura 6.6.2.7). o bien posteriormente mediante tacos.

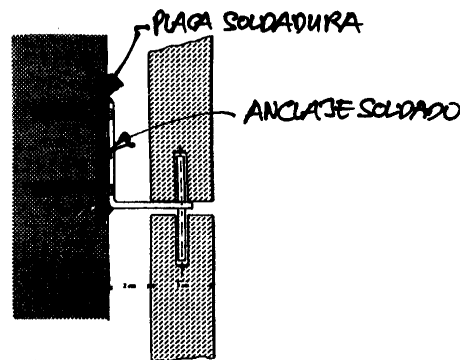


Figura 6.6.2.7.- Sistemas de fijación de anclaje con placa de soldadura

(c).- Atornillados.

Atornillados a perfiles previstos en la construcción de la estructura para tal efecto (Figura 6.6.2.8). o a subestructuras de perfiles metálicos que discurren entre el aplacado y la estructura portante del edificio como elemento intermedio de distribución de cargas.

La elección de un sistema u otro dependerá de cómo sea la base de anclaje en cuanto a material, forma y dimensión.

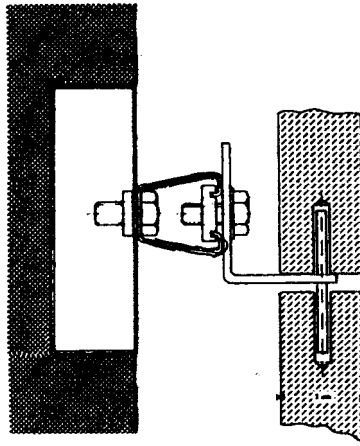


Figura 6.6.2.8.- Sistemas de fijación de anclaje atornillado.

Los anclajes y las varillas deben ser de acero inoxidable, de límite elástico 4200 kgf/cm^2 .

Sistema de anclaje función del material de la base portante.

Hormigón. Bien sean muros continuos, pilares o vigas, forjados o estructuras porticadas, los elementos de hormigón permiten el anclaje empotrado directamente sin regulación y el anclaje empotrado mediante tacos de expansión o químicos.

También permite una fijación mediante perfiles embebidos previamente en el hormigón, para unir con tornillo los mismos anclajes regulables.

Ladrillo macizo. Se resuelve mediante el anclaje de pletina o barra corrugada, éste se empotra en la fábrica en taladros cilíndricos ejecutados mecánicamente y rellenos con mortero de cemento.

Elementos huecos. Como los ladrillos cerámicos huecos o los bloques de hormigón. Es la base menos aconsejable desde el punto de vista de fijación. Obligan a la utilización de anclajes por inyección de mortero para crear un punto de anclaje en el muro de suficiente capacidad mecánica.

Anclaje en elementos de construcción de hormigón armado de poco espesor ($e < 12 \text{ cm}$).

Normalmente, en el caso de elementos constructivos de espesor $> 20 \text{ cm}$, el sistema de anclaje convencional es de anclajes empotrados con un diámetro de 35 mm aunque, sin embargo, no es extraño que se tengan que colocar anclajes, por ejemplo, en antepechos de hormigón armado de menos de 12 cm de espesor.

El problema se plantea a la hora de hacer los taladros: cuando la taladradora de percusión se encuentra con una varilla de la armadura, puede producirse una perforación de forma cónica plana en la cara posterior del elemento de construcción.

Otras causas que pueden provocar el estallido de la base del anclaje son:

- 1.- Cobertura insuficiente de hormigón.
- 2.- Grandes taladros debidos a grandes secciones de anclaje.
- 3.- No empleo de plantillas de taladrar, de manera que el taladro se hace más profundo de lo necesario.

En tales casos se deberá recurrir a otro sistema de anclaje de fachada distinto del anclaje empotrado convencional:

1.- Montaje de placas de soldadura fijadas previamente a la estructura mediante cajetines de tacos o anclajes de acero plano ondulado (Figura 6.6.2.9).

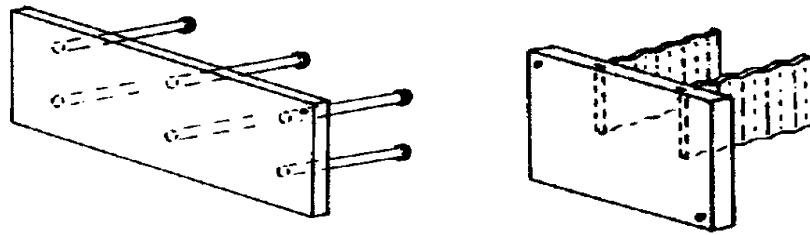


Figura 6.6.2.9.- Placas de soldadura fijada con tacos y acero plano ondulado.

También puede ir enganchada previamente a unos redondos de acero como indica la figura 6.6.2.10.a Este último sistema permite la reducción a 50 mm de la profundidad de empotramiento.

2.- Anclaje especial en forma de V de redondos de acero empotrados en taladros cónicos (Figura 6.6.2.10.b).

3.- Montaje de subestructuras de raíles de anclaje.

4.- Montaje de placa de soldadura posteriormente mediante tacos (Figura 6.6.2.10.c).

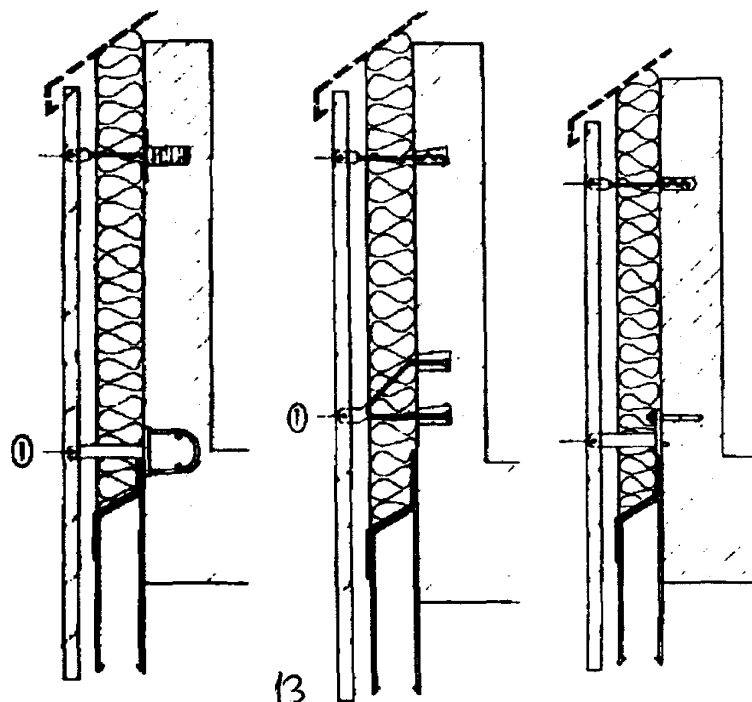


Figura 6.6.2.10.-

(a).- Anclaje especial por soldadura con placa anclada previamente en el hormigón a redondos de acero.

(b).- Anclaje especial en forma de V con taladros cónicos.

(c).- Anclaje mixto: retención empotrado y sustentación en placa de soldadura fijada con tacos.

Anclajes mediante subestructuras de raíles metálicos (Figura 6.6.2.11).

En ocasiones son necesarios sistemas de anclajes especiales mediante raíles metálicos, en los siguientes casos:

- Cuando la base del anclaje no es portante.
- Zona de fachada con voladizos.
- Paramentos portantes con deficiencias en su planicidad.
- Rehabilitaciones de fachada.
- Cuando no es aconsejable técnica o económicamente la ejecución de un número excesivo de taladros en el muro.

Los anclajes de perfiles permiten salvar los elementos de construcción no portantes (lámina de cerramiento), al ir suspendidos entre forjados (u otro elemento de la estructura portante) mediante tacos (sistema rígido) o mediante perfiles embebidos en el forjado (sistema ajustable).

Si el montaje está bien planificado se pueden conseguir unos tiempos de montaje más cortos debido al rápido montaje de las placas y a la fijación del aislamiento térmico de una manera continua (y por lo tanto controlada). Además permite un montaje independiente de las condiciones atmosféricas.

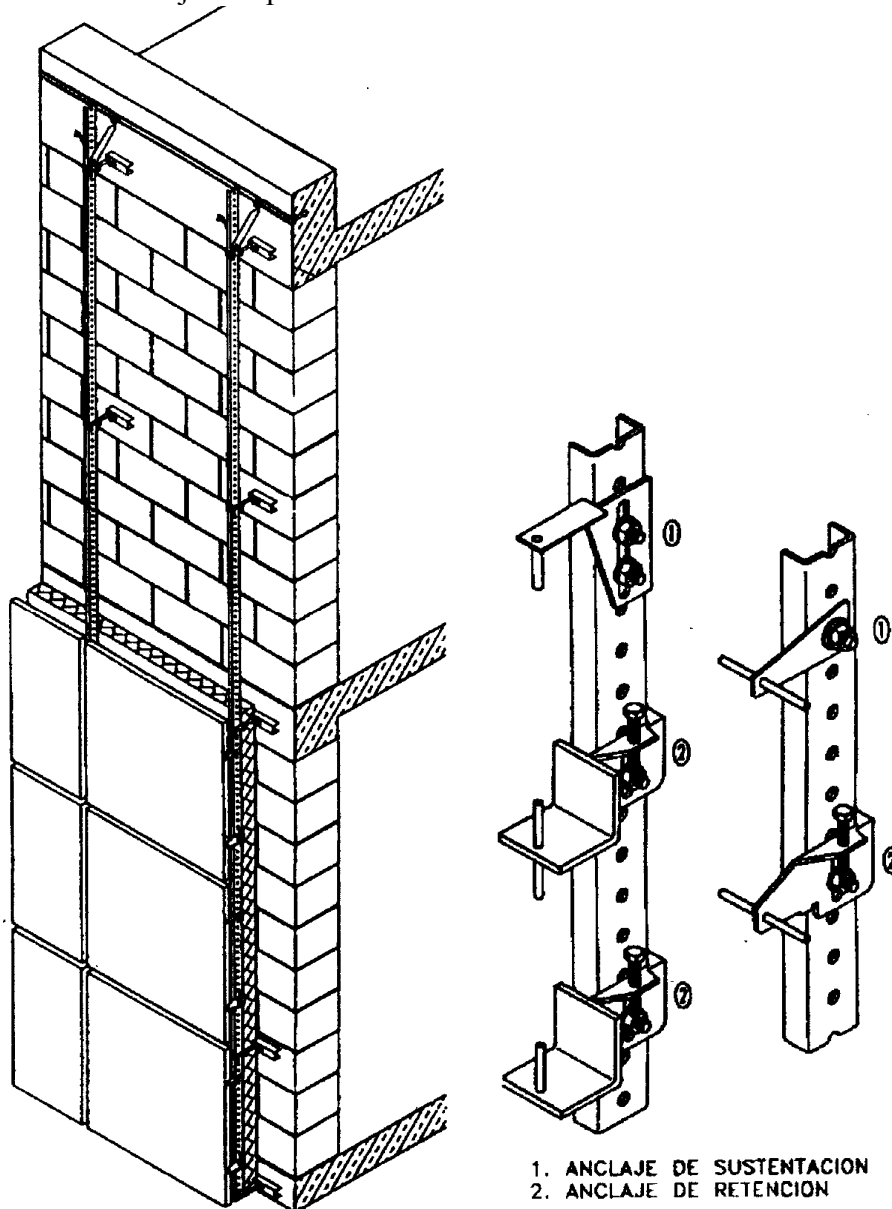


Figura 6.6.2.11.- Anclajes mediante subestructuras de raíles metálicos.

6.7.- Utilización de la piedra natural en pavimentos.

6.7.1.- Introducción.

La piedra natural se ha venido utilizando en el revestimiento de suelos y escaleras, en interiores y exteriores desde tiempo de los romanos. La diversidad de aspectos que presenta constituye una inagotable fuente de posibilidades expresivas, desde siempre aprovechadas para la realización de pavimentos y revestimientos de las obras más importantes de la arquitectura.

Pero el favor del que goza la piedra natural no se debe sólo a sus cualidades estéticas sino también a sus características de resistencia y durabilidad, propiedades que la hacen idónea para obras muy expuestas a los agentes atmosféricos y/o de mucho tránsito como son las zonas de entradas de edificios públicos, pasillos, escaleras, etc.

En comparación con otros tipos de pavimentos, la piedra natural debido a su larga duración técnica (más de ochenta años), y a su bajo coste de limpieza y conservación, se muestra como ventajosamente rentable al cabo de pocos años.

6.7.2. Construcción.

La técnica de solado convencional (Figura 6.7.2.1) es de placas recibidas con mortero directamente o sobre lecho de arena. Los pavimentos de plaquetas también pueden recibirse con adhesivos. Para la utilización de esta técnica es necesaria una base consistente y con buena planicidad. El uso de adhesivos simplifica el trabajo considerablemente y ofrece ciertas ventajas en casos como la colocación de un nuevo pavimento sobre otro existente que tiene buena consistencia, se evita la demolición y el período de espera (20 días de secado del mortero), y el trabajo queda perfectamente acabado en sólo 24 - 36 horas.

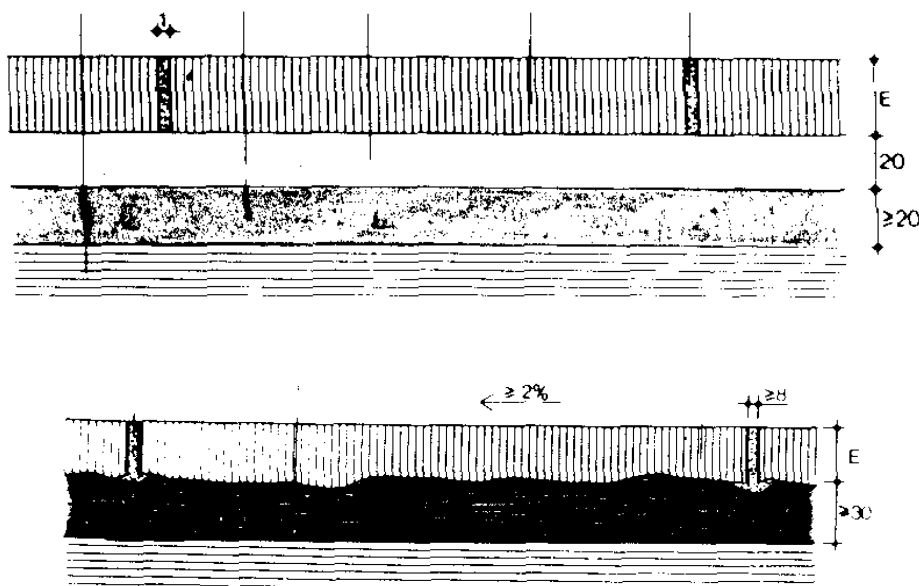


Figura 6.7.2.1.- Técnicas de solado convencionales

Otra técnica de solado es la construcción de un pavimento flotante mediante estructura metálica para la instalación, por ejemplo, de un suelo radiante (Figura 6.7.2.2).

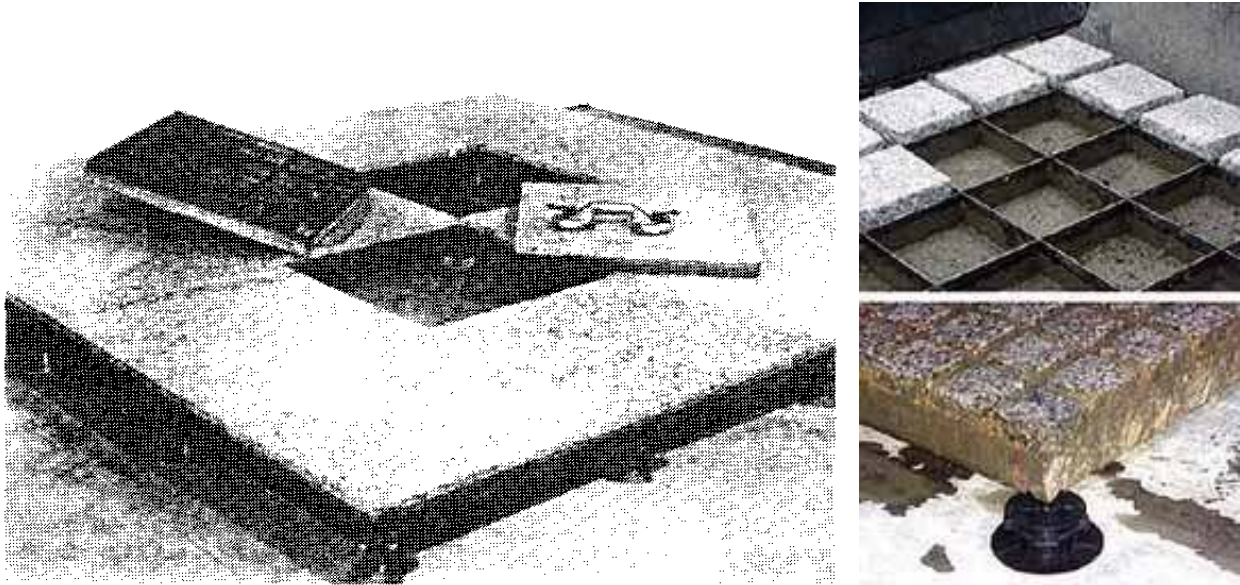


Figura 6.7.2.2.- Pavimento flotante sobre estructura metálica.

6.7.3.- Tamaño de las placas.

En función de las dimensiones de la placa, la NTE establece las siguientes denominaciones para los productos de piedra para pavimentos.

Baldosas.

Placas cuadradas o rectangulares combinables entre sí: 250, 300, 400, 500, 600 mm, con tolerancias de ± 2 mm. El espesor es de:

20 mm para A o $B < 400$ mm o bien 30 mm para A o $B > 400$ mm.

Con tolerancias en ambos casos de ± 3 mm.

Losa

Piezas de forma cuadrada, o rectangular o irregular de dimensiones $A \times B$ combinables entre sí: 400, 500, 600 mm con tolerancia de ± 2 mm. El espesor mínimo es de 30 mm.

Adoquín.

Piezas en forma de tronco de pirámide con la base mayor plana. Las dimensiones son las acotadas en la figura 6.7.3.1 con tolerancias de ± 10 mm.

También se pueden encargar placas de formato y tamaño libre, el espesor en ese caso dependerá de las solicitudes y de la base para la colocación.

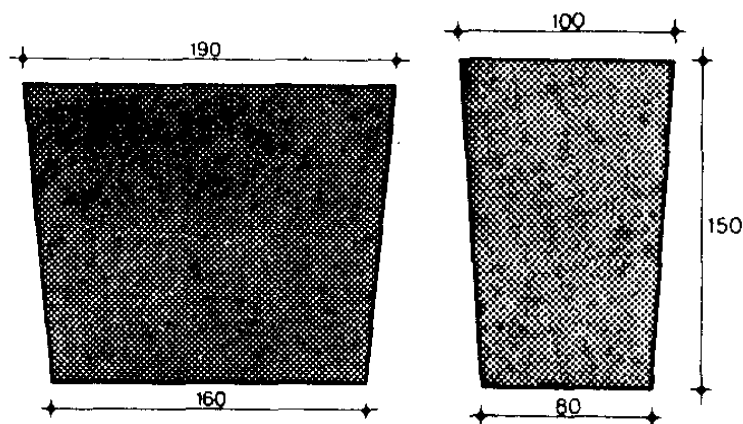


Figura 6.7.3.1.- Adoquines de piedra natural.

6.7.4.- Tipos de tratamiento superficiales

El tipo de tratamiento (pulido, apomazado, abujardado, flameado o serrado) determinará la resistencia al deslizamiento y la facilidad de conservación. Los criterios para la elección del acabado no son sólo técnicos, sino que además se tienen en cuenta los económicos y los arquitectónicos basándose en el aspecto estético. En interiores se prefieren, por lo general, los tipos de tratamientos más finos.

6.7.5.- Características de resistencia

- Resistente a los agentes atmosféricos. Es por lo tanto adecuado para exteriores pero se recomienda un espesor de placa > 30 mm.
- Resistente a cargas medias si el solado es de losas o baldosas y a cargas pesadas si es de adoquín. La resistencia a compresión del granito es como media de $1300 \frac{Kgf}{cm^2}$.
- Resistencia al deslizamiento, depende esencialmente del acabado.
- Resistente al agua. Es apropiado para locales húmedos.
- Resistente al fuego (es un M 0).
- Resistente a los siguientes agentes químicos:
 - Aceites y grasas animales y vegetales
 - Ácidos orgánicos e inorgánicos diluídos
 - Alcalis diluídos
 - Disolventes
 - Sales.

6.7.6.- Juntas de pavimento

Deberán preverse juntas de dilatación que en el interior se harán coincidir con las del edificio y en el exterior formarán una cuadrícula no mayor de 5 m.

Las juntas constructivas se ejecutarán en el encuentro del pavimento con elementos verticales, así como en el encuentro entre distintas plaquetas. Según se quiera enfatizar o esconder, la junta se denomina:

- Junta cerrada, cuando la distancia entre las piezas se reduce al mínimo y no es perceptible visualmente.

- Junta abierta, cuando la distancia entre las piezas es alrededor de 1 mm y se vuelve visible.
- Junta oculta, cuando independientemente de que sea cerrada o abierta se vuelve imperceptible por su similitud con la placa en cuanto color, brillo, etc.
- Junta enfatizada, en el caso de junta cerrada o abierta que se marque el contorno de la placa o los encuentros entre ellas mediante la utilización de masilla de colores y otros métodos con el fin de acentuar ciertos efectos en la superficie.

6.7.7. Parámetros para el diseño.

La piedra natural ofrece grandes posibilidades expresivas debido a la variedad de colorido que ofrecen los distintos tipos, y a la versatilidad de su aspecto según el tratamiento superficial recibido.

A la hora de diseñar un pavimento son cuatro los parámetros que se manejan:

- 1.- Despiece. Base geométrica. Tamaño y forma (cuadrado, rectangular).
- 2.- Acabado superficial. Pulido, abujardado, apomazado, flameado o serrado.
- 3.- Color.
- 4.- Dibujo. Combinación de distintos colores y despieces para crear motivos decorativos

La norma UNE 9879 define una nomenclatura para los pavimentos en función del efecto estético producido:

(i).- Pavimento uniforme, cuando una superficie tiende a guardar una uniformidad en cuanto a color, reduciendo la percepción de juntas abiertas o cerradas al mínimo.

(ii).- Pavimento diseñado, cuando las piezas se disponen de manera que enfatizan los efectos ornamentales, mediante:

- juntas visiblemente marcadas.
- utilización de varios tamaños de piezas, con el fin de resaltar la imagen deseada.
- cambiando la dirección de las piezas.

(iii).- Pavimento diseñado en dos o más colores, cuando la superficie presenta piezas en colores diferentes o/y materiales diferentes, en el mismo o distinto formato.

(iv).- Pavimento diseñado con inserciones, cuando se introducen elementos decorativos no pétreos.

6.7.8.- Mantenimiento.

Los pavimentos de piedra natural resultan especialmente rentables desde el punto de vista de conservación y limpieza.

Poseen, en general, gran resistencia ante los agentes químicos como grasas, disolventes y sales, pero se debe evitar la permanencia de agentes químicos como: ácidos, halógenos y álcalis.

La limpieza se realizará con agua jabonosa o detergentes no agresivos.

Para la conservación, se recomienda disponer de una reserva de piezas equivalente al 1% del material colocado, así como inspeccionar cada cinco años o antes observando anomalías, como baldosas rotas, agrietadas o desprendidas con el fin de su reposición.

Para protección y preservación existen productos antimanchas, antihumedad, etc., tanto para terminaciones pulimentadas como abujardadas, apomazadas, etc.

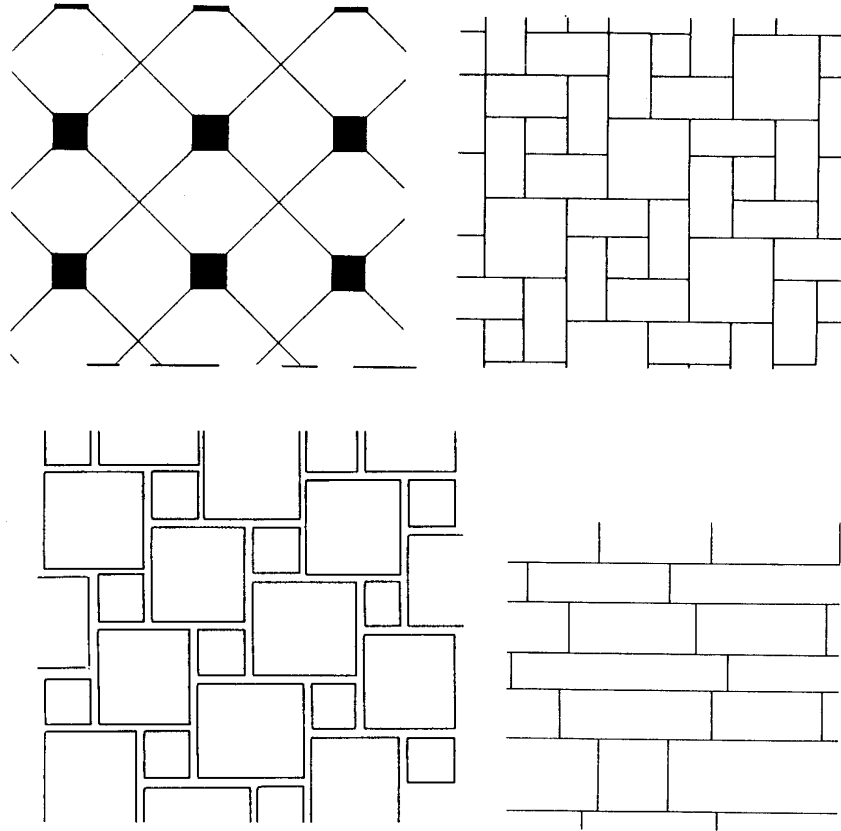


Figura 6.7.7.1.- Distintos tipos de diseños de pavimentos.

6.8.- Técnicas de colocación de la pizarra.

6.8.1.- Introducción.

La pizarra es un material natural de los más antiguos empleado por el hombre en la construcción, contándose por ello con una dilatada experiencia sobre sus cualidades y comportamiento.

En un principio, las pizarras, toscamente labradas, se usaban exclusivamente en las construcciones populares de las regiones donde se encuentran estas rocas. Es en el siglo XI cuando en Europa se empiezan a utilizar piezas finas y regulares para cubrir casas nobles, iglesias y castillos, a veces alejados de las fuentes de producción.

En la actualidad se ha generalizado el uso de la pizarra para todo tipo de construcciones, desde las más populares a las más suntuosas, siendo casi imprescindible en algunos ambientes con abundancia de precipitaciones tanto en forma de agua o nieve (refugios de montaña, chalets, etc.).

El empleo de las pizarras durante siglos ha hecho que las técnicas de montaje se hayan perfeccionado, permitiendo la adaptación a todas las formas, pendientes, planos y líneas de las cubiertas, paredes y suelos.

A continuación se exponen algunos aspectos que pueden servir de breve introducción sobre el montaje de las cubiertas de pizarra. En [la figura 6.8.1.1](#) se puede ver un esquema de los elementos constitutivos de una cubierta.

ESQUEMA DE UNA CUBIERTA

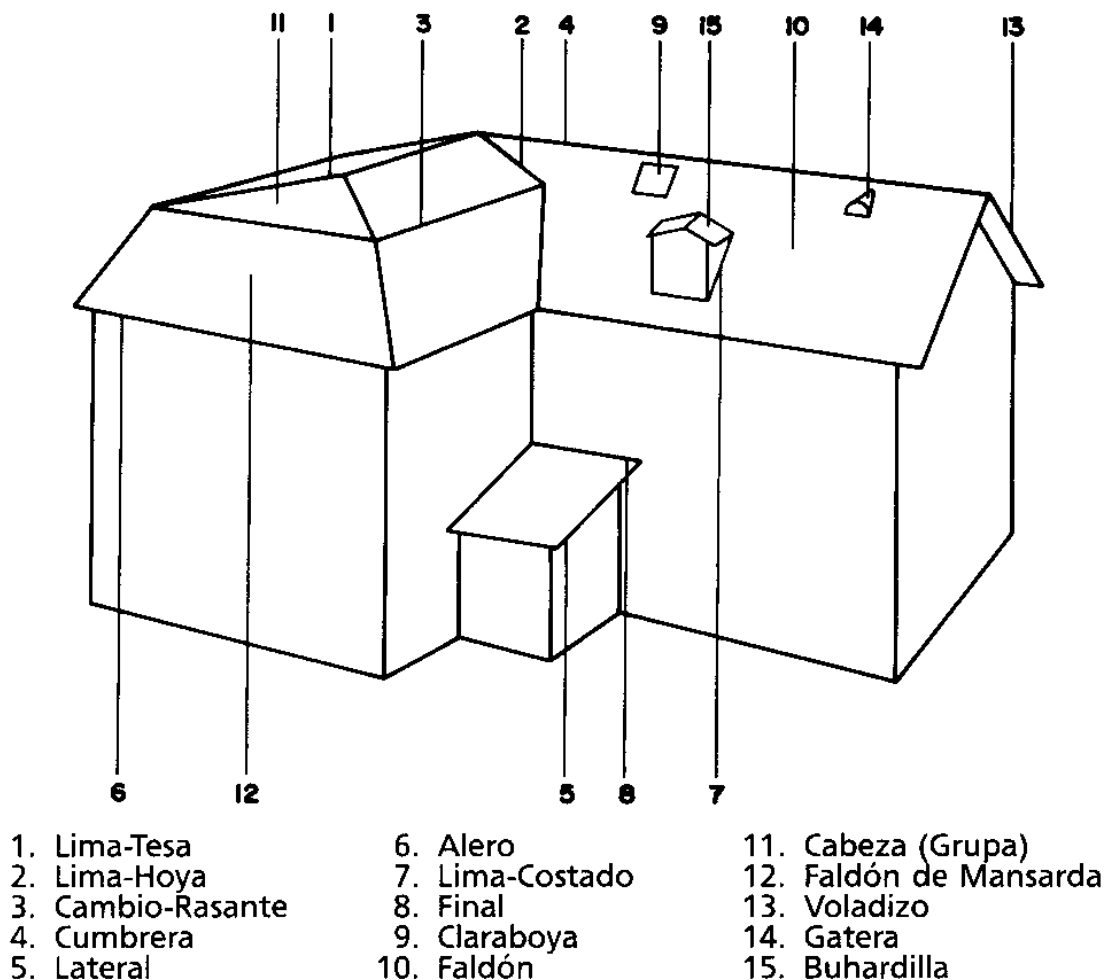


Figura 6.8.1.1.- Esquema de los elementos constitutivos de una cubierta.

6.8.2.- Principios.

El diseño de una cubierta de pizarra está condicionado por diversos factores interrelacionados: situación geográfica, pendiente del tejado y formato de las pizarras. En [la figura 6.8.2.1](#) se pueden ver las distintas regiones climáticas en que divide España con el objeto de determinar el recubrimiento mínimo. En las tablas siguientes dan los recubrimientos mínimos en función de la región climática y de la pendiente de la cubierta.



Figura 6.8.2.1.- Regiones climáticas en que divide España con el objeto de determinar el recubrimiento mínimo.

VALORES DEL RECUBRIMIENTO EN mm.

| LLUVIA EFICAZ FUERTE | | SUJECIÓN CON CLAVOS | | | SUJECIÓN CON GANCHOS | | |
|-----------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| PENDIENTE | | PROYECCIÓN HORIZONTAL | | | PROYECCIÓN HORIZONTAL | | |
| % | Grados | < 5,5 m. | 5,5 - 11 m. | > 11 m. | < 5,5 m. | 5,5 - 11 m. | > 11 m. |
| 30 | 16,7 | 157 | 174 | 192 | - | - | - |
| 35 | 19,3 | 141 | 156 | 171 | - | - | - |
| 40 | 21,8 | 129 | 143 | 156 | - | - | - |
| 45 | 24,2 | 120 | 132 | 145 | 139 | 151 | - |
| 50 | 26,6 | 113 | 124 | 136 | 128 | 139 | 150 |
| 60 | 31,0 | 103 | 113 | 122 | 112 | 122 | 131 |
| 70 | 35,0 | 96 | 105 | 113 | 101 | 110 | 118 |
| 80 | 38,7 | 91 | 99 | 107 | 93 | 101 | 109 |
| 90 | 42,0 | 87 | 95 | 102 | 87 | 95 | 102 |
| 100 | 45,0 | 84 | 92 | 99 | 83 | 90 | 97 |
| 110 | 47,7 | 82 | 89 | 96 | 79 | 86 | 93 |
| 120 | 50,2 | 81 | 87 | 94 | 77 | 83 | 90 |
| 130 | 52,4 | 79 | 85 | 92 | 74 | 81 | 87 |
| 140 | 54,5 | 78 | 84 | 90 | 73 | 79 | 85 |
| 150 | 56,3 | 77 | 83 | 89 | 71 | 77 | 83 |
| 175 | 60,3 | 75 | 81 | 87 | 68 | 74 | 80 |
| 200 | 63,4 | 74 | 80 | 85 | 66 | 72 | 78 |
| 225 | 66,0 | 73 | 79 | 84 | 65 | 71 | 76 |
| 300 | 71,6 | 72 | 77 | 82 | 63 | 68 | 74 |
| 400 | 76,0 | 71 | 76 | 81 | 62 | 67 | 72 |
| 1000 | 84,3 | 70 | 75 | 80 | 60 | 65 | 70 |

| LLUVIA EFICAZ MEDIA | | SUJECIÓN CON CLAVOS | | | SUJECIÓN CON GANCHOS | | |
|----------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| PENDIENTE | | PROYECCIÓN HORIZONTAL | | | PROYECCIÓN HORIZONTAL | | |
| % | Grados | < 5,5 m. | 5,5 - 11 m. | > 11 m. | < 5,5 m. | 5,5 - 11 m. | > 11 m. |
| 30 | 16,7 | 139 | 157 | 174 | - | - | - |
| 35 | 19,3 | 126 | 141 | 156 | - | - | - |
| 40 | 21,8 | 116 | 129 | 143 | 140 | - | - |
| 45 | 24,2 | 108 | 120 | 132 | 127 | 139 | 151 |
| 50 | 26,6 | 102 | 113 | 124 | 117 | 128 | 139 |
| 60 | 31,0 | 93 | 103 | 113 | 102 | 112 | 122 |
| 70 | 35,0 | 87 | 96 | 105 | 92 | 101 | 110 |
| 80 | 38,7 | 83 | 91 | 99 | 85 | 93 | 101 |
| 90 | 42,0 | 80 | 87 | 95 | 80 | 87 | 95 |
| 100 | 45,0 | 77 | 84 | 92 | 76 | 83 | 90 |
| 110 | 47,7 | 76 | 82 | 89 | 73 | 79 | 86 |
| 120 | 50,2 | 74 | 81 | 87 | 70 | 77 | 83 |
| 130 | 52,4 | 73 | 79 | 85 | 68 | 74 | 81 |
| 140 | 54,5 | 72 | 78 | 84 | 66 | 73 | 79 |
| 150 | 56,3 | 71 | 77 | 83 | 65 | 71 | 77 |
| 175 | 60,3 | 70 | 75 | 81 | 63 | 68 | 74 |
| 200 | 63,4 | 69 | 74 | 80 | 61 | 66 | 72 |
| 225 | 66,0 | 68 | 73 | 79 | 60 | 65 | 71 |
| 300 | 71,6 | 67 | 72 | 77 | 58 | 63 | 68 |
| 400 | 76,0 | 66 | 71 | 76 | 57 | 62 | 67 |
| 1000 | 84,3 | 65 | 70 | 75 | 55 | 60 | 65 |

| LLUVIA EFICAZ SUAVE | | SUJECCIÓN CON CLAVOS | | | SUJECCIÓN CON GANCHOS | | |
|----------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| PENDIENTE | | PROYECCIÓN HORIZONTAL | | | PROYECCIÓN HORIZONTAL | | |
| % | Grados | < 5,5 m. | 5,5 - 11 m. | > 11 m. | < 5,5 m. | 5,5 - 11 m. | > 11 m. |
| 30 | 16,7 | 122 | 139 | 157 | - | - | - |
| 35 | 19,3 | 111 | 126 | 141 | 141 | - | - |
| 40 | 21,8 | 102 | 116 | 129 | 126 | 140 | - |
| 45 | 24,2 | 96 | 108 | 120 | 115 | 127 | 139 |
| 50 | 26,6 | 91 | 102 | 113 | 106 | 117 | 128 |
| 60 | 31,0 | 84 | 93 | 103 | 92 | 102 | 112 |
| 70 | 35,0 | 79 | 87 | 96 | 83 | 92 | 101 |
| 80 | 38,7 | 75 | 83 | 91 | 77 | 85 | 93 |
| 90 | 42,0 | 72 | 80 | 87 | 72 | 80 | 87 |
| 100 | 45,0 | 70 | 77 | 84 | 69 | 76 | 83 |
| 110 | 47,7 | 69 | 76 | 82 | 64 | 73 | 79 |
| 120 | 50,2 | 68 | 74 | 81 | 62 | 70 | 77 |
| 130 | 52,4 | 67 | 73 | 79 | 60 | 68 | 74 |
| 140 | 54,5 | 66 | 72 | 78 | 59 | 66 | 73 |
| 150 | 56,3 | 65 | 71 | 77 | 57 | 65 | 71 |
| 175 | 60,3 | 64 | 70 | 75 | 55 | 63 | 68 |
| 200 | 63,4 | 63 | 69 | 74 | 54 | 61 | 66 |
| 225 | 66,0 | 62 | 68 | 73 | 52 | 60 | 65 |
| 300 | 71,6 | 61 | 67 | 72 | 51 | 58 | 63 |
| 400 | 76,0 | 61 | 66 | 71 | 50 | 57 | 62 |
| 1000 | 84,3 | 60 | 65 | 70 | 50 | | |

En la figura 6.8.2.2 pueden verse los distintos formatos de las piezas de pizarra.


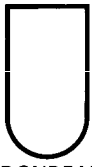
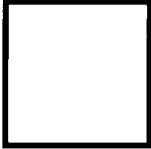
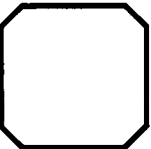
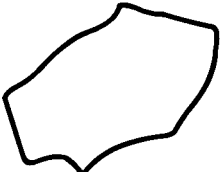
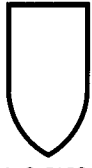

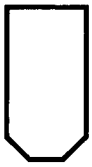
| Ordinarios | | | | Especiales | | |
|---|--------------|--------------|------------------------|--|--------------|------------------------|
| | Largo cm. | Ancho cm. | Espesor medio (mm.) | Largo cm. | Ancho cm. | Espesor medio (mm.) |
|  RECTANGULAR | 40 | 25 | 4 a 5 | 60 | 30 | 6 a 8 |
| | 40 | 20 | 4 a 5 | 50 | 30 | 5 a 7 |
| | 35 | 25 | 4 a 5 | 50 | 25 | 5 a 7 |
| | 32 | 22 | 2,5 a 3,5 | 46 | 30 | 4 a 6 |
| | 30 | 20 | 2,5 a 3,5 | — | — | — |
| | 27 | 18 | 2,5 a 3,5 | — | — | — |
| | 25 | 15 | 2,5 a 3,5 | — | — | — |
|  REDONDEADA | 40 | 20 | 4 a 5 | FABRICACION SOBRE ENCARGO  CUADRADA  OCTOGONAL  GRANEL | | |
| | 35 | 20 | 4 a 5 | | | |
| | 30 | 20 | 3 a 5 | | | |
|  OJIVAL O PICO PALA | 50 | 25 | 6 a 7 | | | |
| | 40 | 20 | 4 a 5 | | | |
|  ROMBO | 40 | 40 | 6 a 8 | | | |
| | 35 | 35 | 5 a 7 | | | |
|  EXAGONAL | 40 | 30 | — | | | |
| | 35 | 25 | — | | | |

Figura 6.8.2.2.- Formatos de las piezas de pizarra.

La cubierta de pizarra se forma por superposición de elementos planos, independientes unos de otros, que se recubren parcialmente entre sí, siguiendo unas reglas variables pero precisas (Figura 6.8.2.3). Las pizarras se colocan en filas horizontales y cada una hace de tapajuntas de las colocadas debajo de ellas.

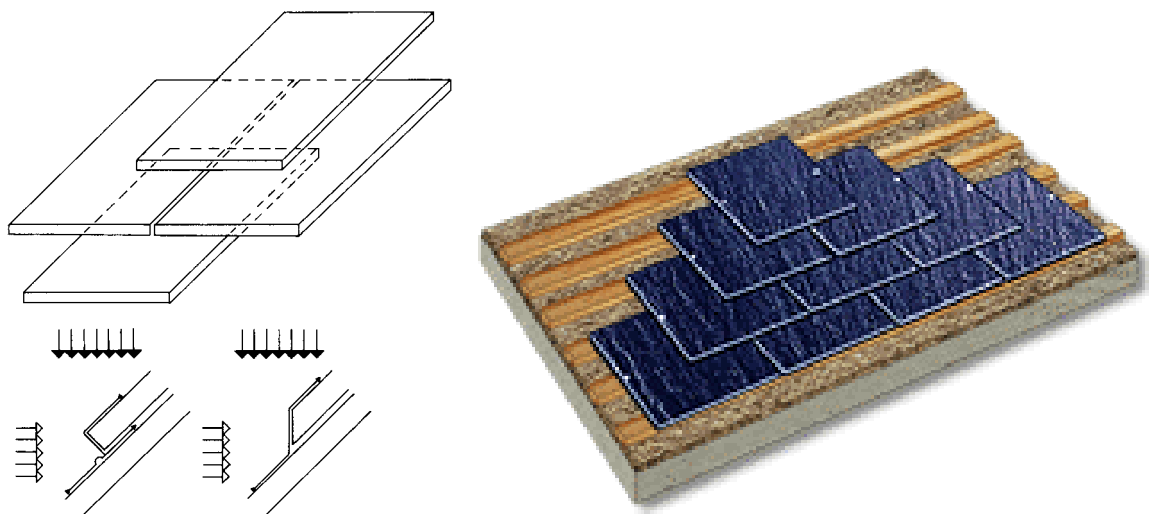


Figura 6.8.2.3.- Superposición de placas

Las placas de pizarra tienen los bordes en bisel, que se colocan al exterior tanto para que disminuya la resistencia al viento, como para facilitar el vertido del agua.

En cada placa de pizarra se distinguen tres partes (Figura 6.8.2.4):

- (a).- Solape: parte superior de la pizarra, la cual no recibe nunca el agua.
- (b).- Parte semi-oculta: zona intermedia cubierta por la parte vista de la fila superior. Recibe el agua pero no la lluvia.
- (c).- Parte vista: parte inferior de la pizarra, absolutamente visible, que recibe agua de lluvia y la que cae de las filas superiores.

$$B = C = \frac{H - A}{2}$$

donde H es la altura.

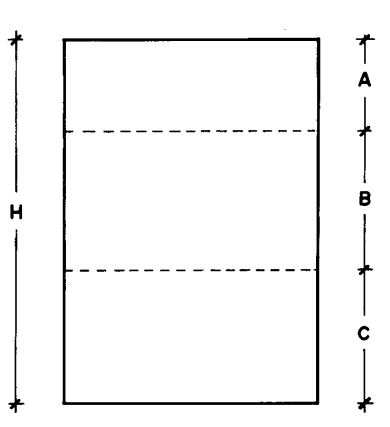


Figura 6.8.2.4.- Partes de una placa

La medida del solape debe ser suficiente para que el agua de lluvia no suba hasta el borde superior, sea por la acción del viento, como por capilaridad. La tabla 6.8.2.1 muestra los valores del solape mínimo, en milímetros, para distintos tipos de cubiertas.

Además, ninguna placa de pizarra debe tener su parte vista mayor que su anchura, para evitar que el agua sea despedida a las placas colaterales antes de caer en la inferior.

Tabla 6.8.2.1.- Valores del solape mínimo (mm), para distintos tipos de cubiertas.

| PENDIENTE DE LA CUBIERTA | | REGIONES LLANAS | | | REGIONES MARITIMAS Y MONTAÑOSAS | | |
|--------------------------|--------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------|
| | | PIZARRAS CLAVADAS | | PIZARRAS CON GANCHOS | PIZARRAS CLAVADAS | | PIZARRAS CON GANCHOS |
| m/m | Grados | con P.S. tapada | con P.S. destapada | | con P.S. tapada | con P.S. destapada | |
| 0,30 | 16,4 | 135 | | | | | |
| 0,40 | 21,5 | 110 | | | | | |
| 0,50 | 26,4 | 100 | | | | | |
| 0,60 | 31,0 | 90 | | 100 | | | |
| 0,80 | 38,4 | 80 | | 85 | 90 | 100 | |
| 1,00 | 45,0 | 75 | 95 | 80 | 80 | 95 | |
| 1,20 | 50,1 | 70 | 90 | 75 | 80 | 90 | |
| 1,40 | 54,3 | 70 | 85 | 70 | 75 | 85 | |
| 1,60 | 58,0 | 65 | 85 | 70 | 75 | 85 | |
| 1,80 | 61,0 | 65 | 80 | 65 | 70 | 100 | |
| 5,80 | 80,1 | 60 | 75 | 60 | 70 | 90 | |
| vertical | 90 | 60 | 75 | 60 | 70 | 90 | |

6.8.3.- Clases de sujeción de las pizarras.

Dejando al margen las estructuras portantes sobre las que se apoya la superficie que forma el faldón, para la sujeción de las pizarras a dichos faldones interesa el material de que estén formados los faldones. Estos faldones se dividen en dos tipos: clavables y no clavables.

Faldón clavable.

La cama para sujetar las placas de pizarra puede estar formada por entarimados de madera , rastrelado de madera y/o mortero pobre. Permiten la construcción de cubiertas de poco peso e incluso aprovechar el espacio bajo la cubierta.

La pizarra se puede colocar directamente sobre las estructuras de madera o sobre rastreles. Se recomienda utilizar madera de pino tratada.

En la construcción de cubiertas de pizarra, la cama de soporte que proporciona mayor eficiencia es la construida con panel sandwich Thermochip®, el entarimado a la junta y el rastrelado, que puede ser horizontal o vertical.

El Thermochip® es la solución ideal, ya que además de las ventajas que ofrece como soporte, integra funciones aislantes y decorativas. Se recomienda su utilización con rastrel horizontal.

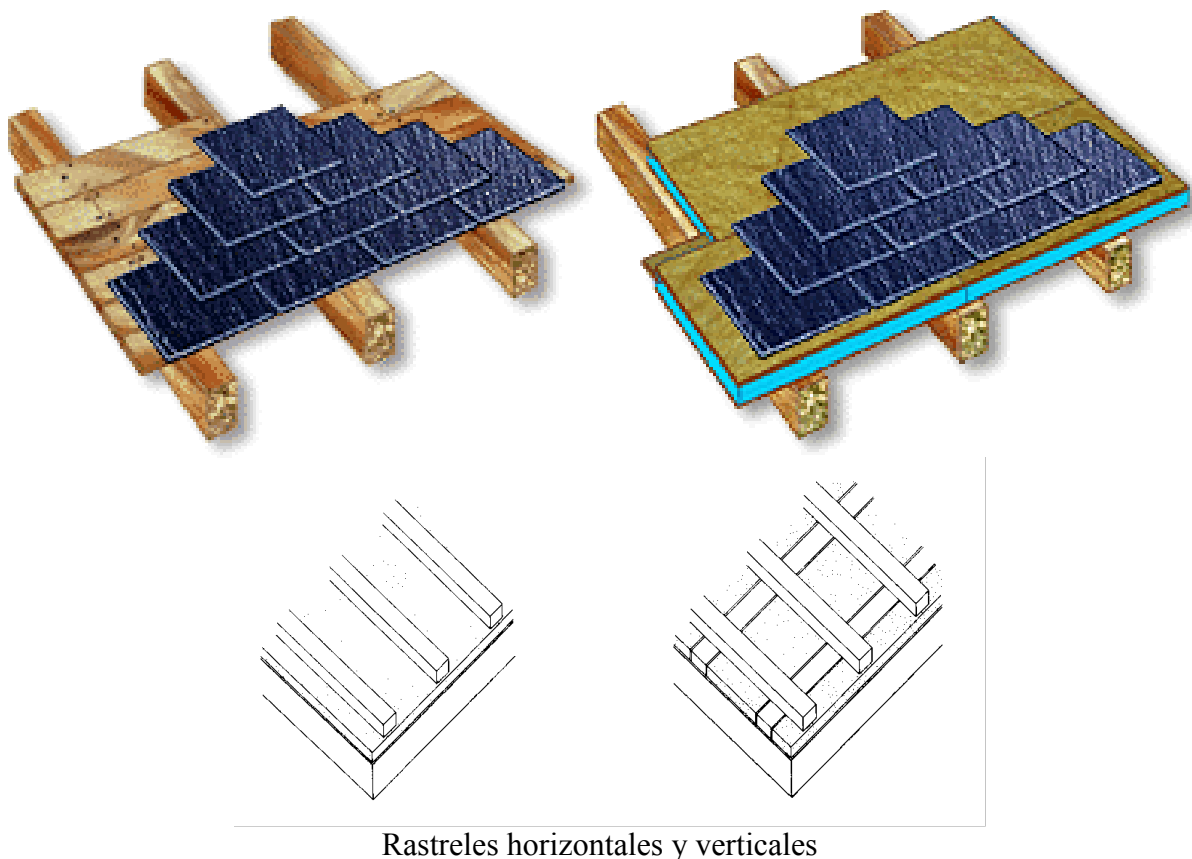


Figura 6.8.3.1.- Estructura de la cubierta de madera.

En principio, son los que ofrecen mayor seguridad de sujeción, pero necesitan pendientes mayores o iguales a 31° (60%). Tanto las tarimas como los rastreles deben tener al menos 25 mm de grueso y, además, 50 mm de ancho.

En el caso en que la cama sea de mortero pobre, se tratará de una capa de mortero con arena fina, con un espesor de 35/40 mm, nivelada y raseada, sobre la que se clavan y sujetan las pizarras, ya sea con clavos, ganchos o ambos a la vez. Es la solución más barata, aunque no permite remates especiales.

El empleo de doble rastrel, vertical y horizontal, permite el aislamiento entre los mismos y la ventilación de la cubierta.

Faldón no clavable.

Como pueden ser las camas de forjado cerámico (Figura 6.8.3.2), chapa metálica, etc.

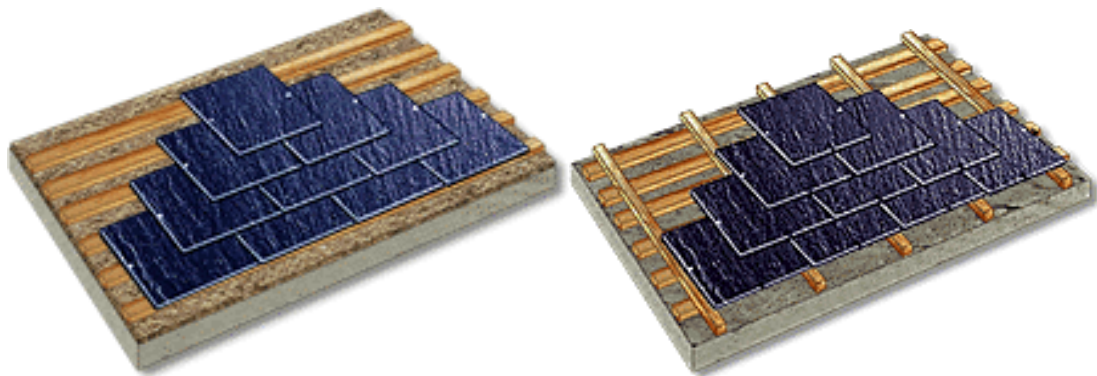


Figura 6.8.3.2.- Estructura de la cubierta de cerámica.

Existen diversas soluciones:

- Rastrelado horizontal

Sobre la capa de mortero se clavan los rastreles horizontales con clavos; de esta manera quedan fijos y apoyados toda su longitud. Serán de 40 x 20 ó 40 x 25 mm.

- Rastrelado vertical y horizontal

Los rastreles verticales, de 40 x 25 mm de forma plana con puntas laterales, irán embebidos en la capa de mortero rico y posteriormente los rastreles horizontales se clavarán sobre los verticales.

Se utiliza en cubiertas muy pendientes. Se puede sustituir el rastrelado horizontal por un entarimado.

6.8.4.- Elementos de sujeción de la pizarra al faldón.

Las placas de pizarra se fijan con dos clases de elementos: clavos y ganchos.

Clavos

El ensanche de los agujeros se situará siempre al exterior, con el fin de que la cabeza de los clavos quede alojada en él. Los agujeros de la pizarra donde se introducen los clavos estarán, al menos, a 30 mm de su borde, situados además fuera de la zona de humedad ($A > 30$ mm) (Figura 6.8.4.1.a).

Los clavos pueden ser de distintos materiales: acero dulce, galvanizado, cobre, plomo o acero inoxidable con secciones cilíndricas o cuadradas, siendo recomendadas éstas últimas para zonas muy expuestas al viento. La longitud será, al menos, de 27 mm de largo.

Ganchos (Figura 6.8.4.1.b).

El gancho debe ser resistente y poco oxidable, pues el vástago del gancho se moja durante y después de las lluvias. Pueden ser de acero galvanizado, cobre o acero inoxidable.

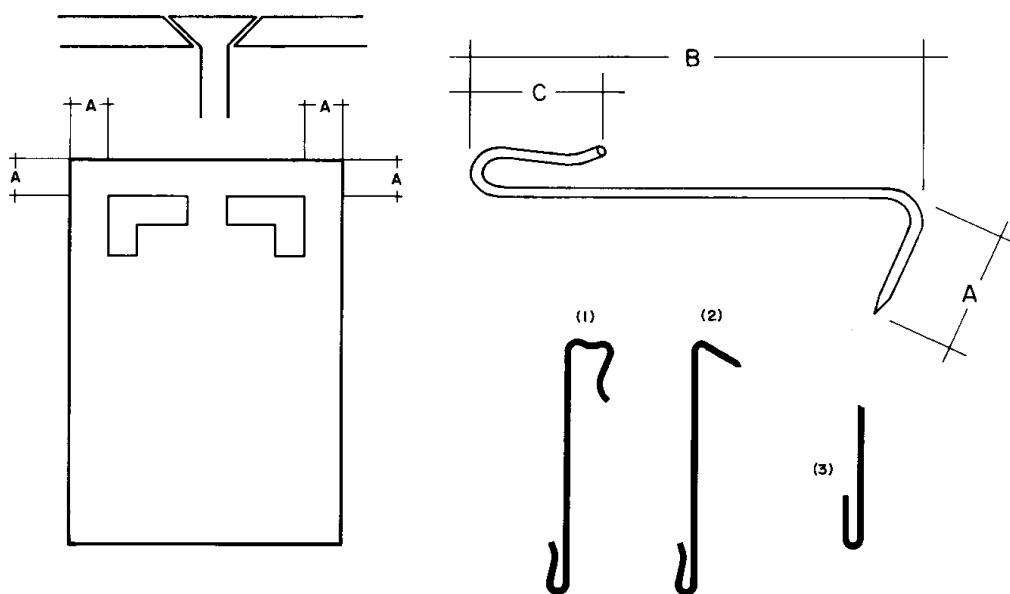
Deben tener entre 2,7 y 3.4 mm de diámetro.

A = Espiga de clavado (mayor o igual de 25 mm).

B = Vástago (solape)

C = Parte vista (mayor o igual de 20 mm).

Existen dos clases de ganchos: de grupa (1) o de punta (2). En las zonas de nieve las pinzas son planas (3).



Clavo y situación de agujeros en la pizarra

Tipos de ganchos

Figura 6.8.4.1.- Elementos de sujeción de la pizarra al faldón (a).- Clavos (b).- Ganchos

6.8.5.- Formas de colocación de la pizarra (Figura 6.8.5.1).

A.- Clásica y trabajada.

Responde, a principios bien establecidos y proporciona todas las garantías de impermeabilidad, y permite, además, hacer formas decorativas con las pizarras. Las placas se colocan en líneas horizontales con los bordes laterales juntos; a continuación se pone otra fila sobre la primera, desplazada horizontalmente media pizarra y dejando fuera del solape la parte vista de la inferior, y así sucesivamente, con lo que se consigue una cubierta de tres capas.

B.-Diversas.

Utilizadas principalmente para las edificaciones industriales o agrícolas y que no garantizan la impermeabilidad absoluta.

1.- Desarrollada

Cada fila de pizarras es doble, de manera que las superiores forman una cubrejunta sobre las inferiores, y así sucesivamente.

2.- Calada

La primera fila es doble, pero con suspensión parcial, y la segunda igual.

3.- Modelos cuadrados

En este caso, las placas de pizarra se colocan en filas con una diagonal horizontal. Las juntas alternadas, y las filas superiores montan sobre las inferiores, y los cortes de los ángulos iguales.

C.- Regionales.

Se utilizan raramente, y sólo en ciertas regiones, dando una protección bastante buena.

- Mezcladas
- Mezcladas y Lauzes
- Schuppen.

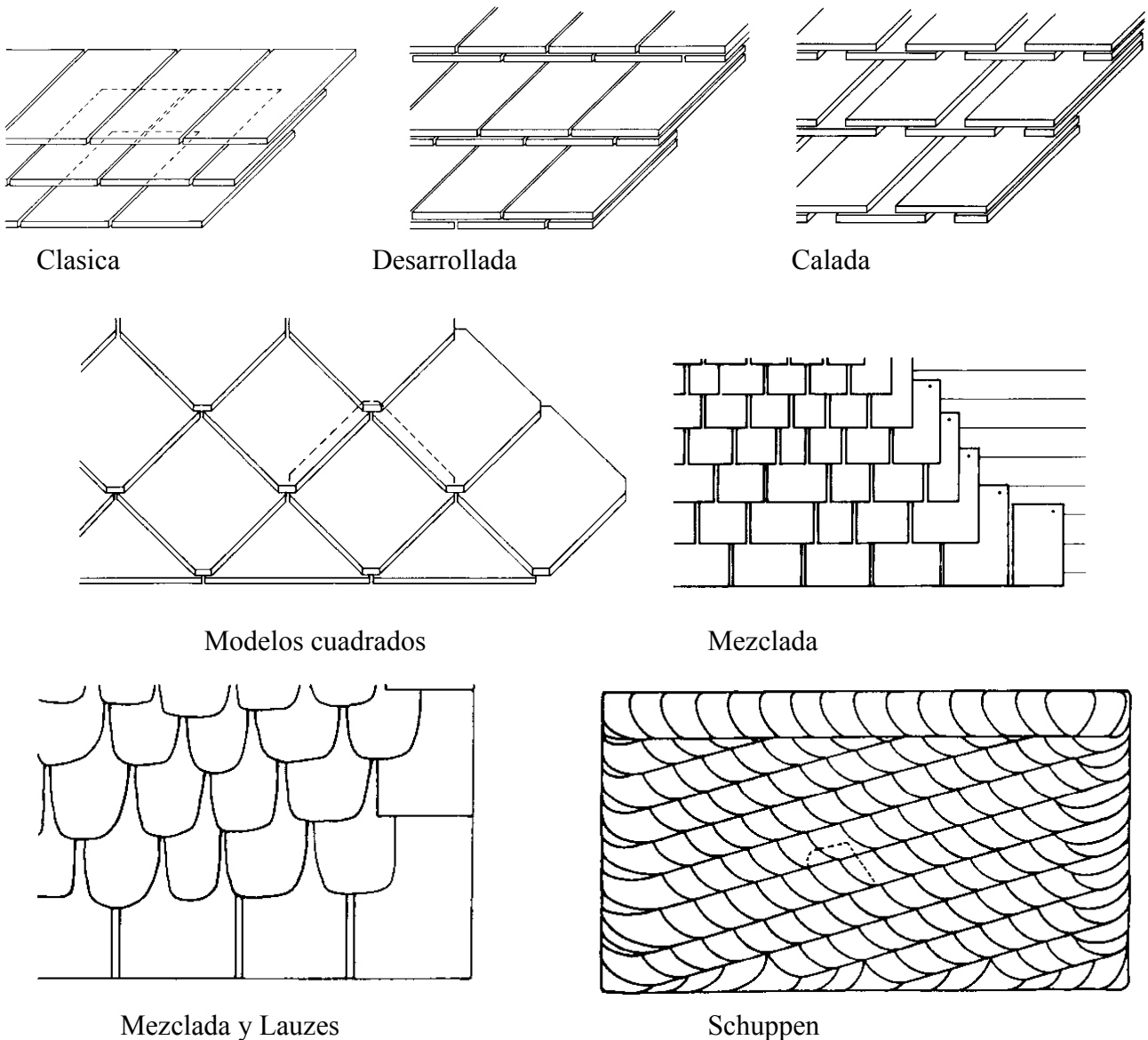


Figura 6.8.5.1.- Formas de colocación de la pizarra.

6.8.6.- Comienzo de una cubierta.

Para el comienzo de una cubierta, se colocará normalmente una hilada de pizarras llamadas medias, que tienen una altura mínima de una parte vista, más un solape.

Es necesario levantar un poco en su borde delantero las pizarras de esta hilada, con el fin de facilitar el asentamiento de las siguientes (Figura 6.8.6.1).

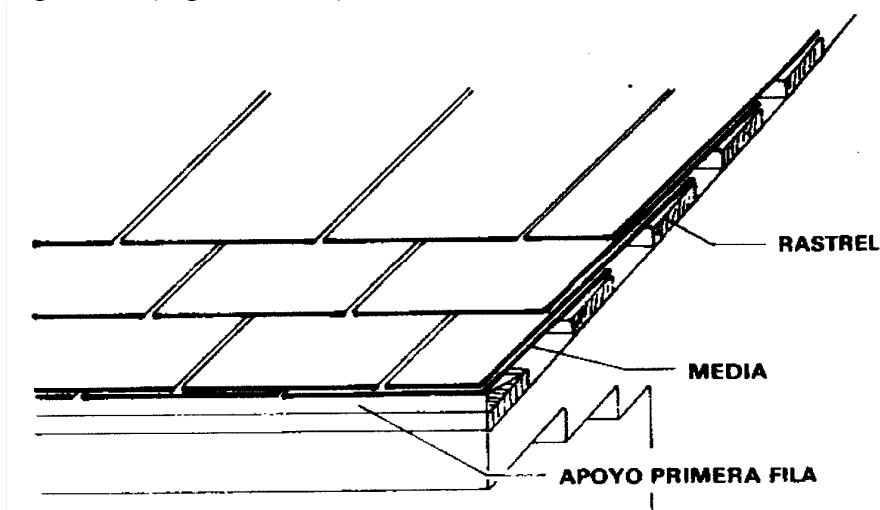


Figura 6.8.6.1.- Comienzo de una cubierta.

6.8.6.1.- Construcción de limahoyas.

METALICA* : Vista
Cerrada
De dos cortes

DE PIZARRA** : De un corte
Redonda

* La Lima-hoya es una línea.

** La Lima-hoya es una superficie.

Limahoya metálica vista.

En esta limahoya los cantos esviados no se tocan. El suelo de la lima está formado por piezas de metal. El montante de los bordes de la pizarra sobre la limahoya será igual o mayor al solape.

Limahoya metálica cerrada (Figura 6.8.6.1.1.a).

Cuando los cantos esviados se tocan. El suelo de esta lima está formado por piezas cortadas de longitud igual o mayor a la diagonal del modelo de pizarra empleado y de anchura proporcional al faldón e inversamente proporcional a la pendiente, no siendo inferior a medio ancho de la pizarra.

Limahoya de dos cortes (Figura 6.8.6.1.1.b).

Cuando la diferencia de pendiente de los faldones es menor o igual a 15° .

El fondo de la limahoya se recubrirá con pizarras estrechas llamadas lajas (1) que medirán de 6 a 8 cm de ancho por tres veces y media la parte vista de la pizarra del faldón de menor inclinación.

Las filas impares llevarán tres lajas y las pares dos.

Seguidamente, se colocan las pizarras que las bordean llamadas grandes medianeras (2) y pequeñas medianeras (3). Las pequeñas medianeras en los extremos de las filas de número par de lajas y con anchura de $\frac{3}{2}$

de laja. Los recubrimientos laterales serán de $\frac{1}{2}$ laja.

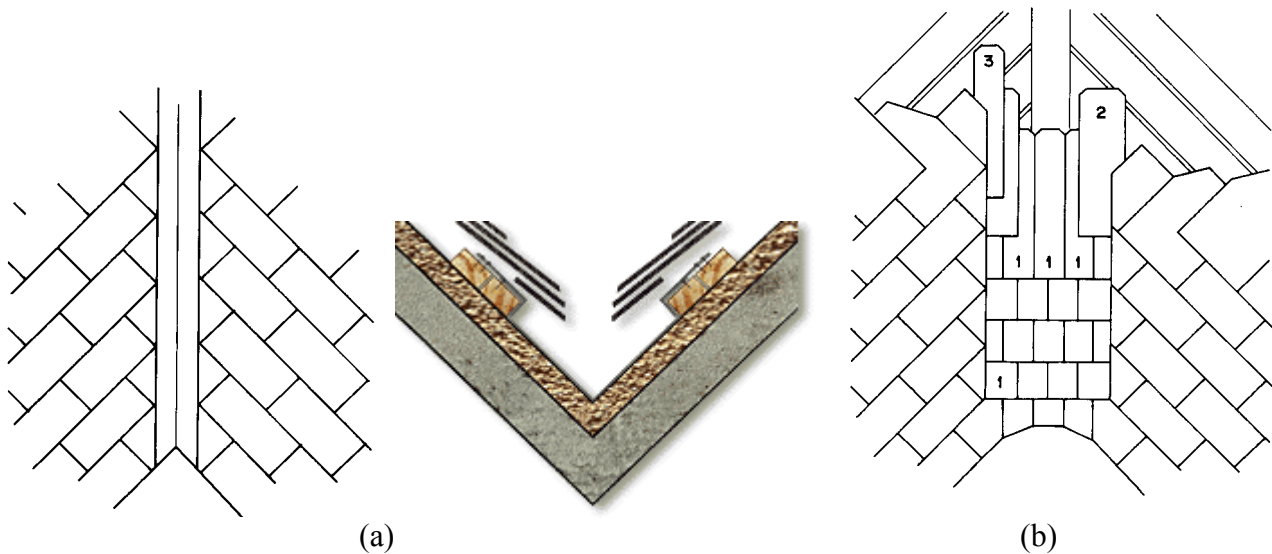


Figura 6.8.6.1.1.- Limahoyas (a).- Metálica cerrada (b).- De dos cortes

Limahoya de un corte (Figura 6.8.6.1.2.a).

Cuando la diferencia de pendiente es de 15° . Por el lado del faldón de mayor pendiente, la limahoya se remata con la de dos cortes, o sea, con pequeñas y grandes medianeras.

Por el lado del faldón de menor pendiente la limahoya se empalma con la cubierta mediante las grandes aproximaciones (4) y pequeñas aproximaciones (5).

El eje de la limahoya se desplaza $\frac{1}{2}$ laja hacia el lado del faldón de menor pendiente.

Limahoya redonda (Figura 6.8.6.1.2.b).

Se hace cuando los dos faldones tienen una pendiente superior a 64° (200 %) y la diferencia entre faldones sea menor de 15° .

También cuando las pendientes estén entre 56 y 64° (150 - 200 %) y las pendientes iguales.

En las filas impares se colocan tres lajas y en las pares cuatro lajas. Las lajas se unen a los faldones con grandes aproximaciones en las filas de 4 lajas (pares) y con pequeñas aproximaciones en las filas de 3 lajas (impares).

Las grandes aproximaciones tendrán como base la diagonal de una laja.

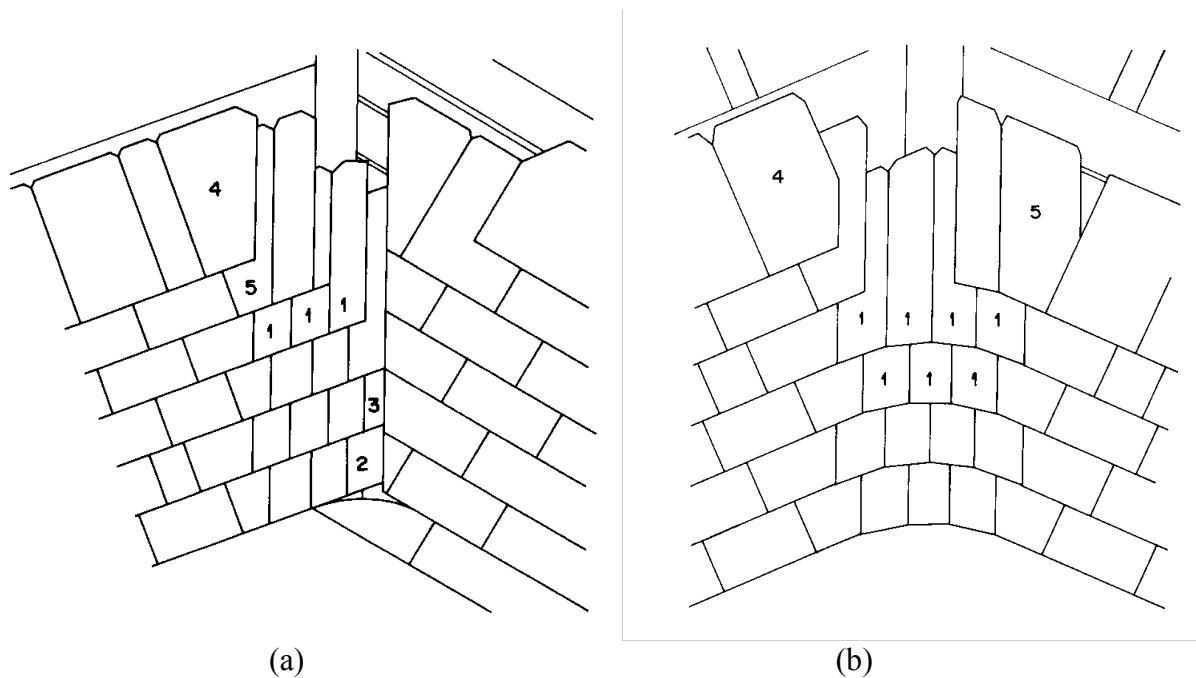


Figura 6.8.6.1.2.- Limahoyas (a) De un corte (b) Redonda

6.8.6.2.- Construcción de laterales (Figura 6.8.6.2.1).

Deberán estar rematados con pizarra de tal manera que queden completas todas las filas horizontales del faldón, el borde estará constituido por pizarras enteras y medias, no pudiendo éste tener una anchura inferior a la mitad de la pizarra a utilizar en el resto del faldón; en el caso de que quede inferior a esa medida, habrá que jugar con el ancho de las pizarras adyacentes.

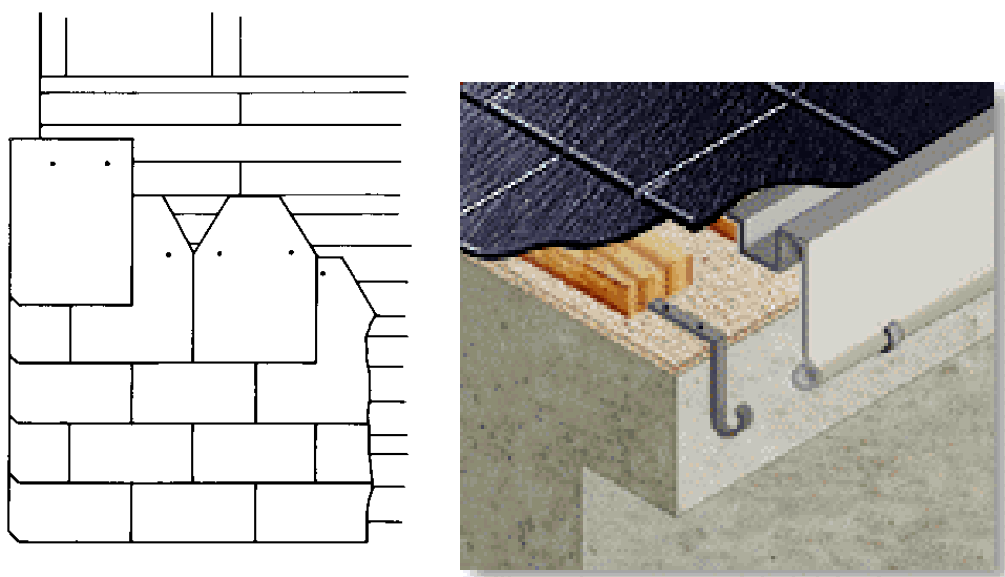


Figura 6.8.6.2.1.- Construcción de laterales

6.8.6.3.- Construcción de limas de costado (Figura 6.8.6.3.1).

En el caso de que la lima de costado se haga de pizarra, se ejecutará como una limahoya de un corte para pendientes $< 200\%$ o redonda para pendiente $> 200\%$. Las lajas tendrán una altura igual a tres veces y media la parte vista y una anchura de 6 cm.

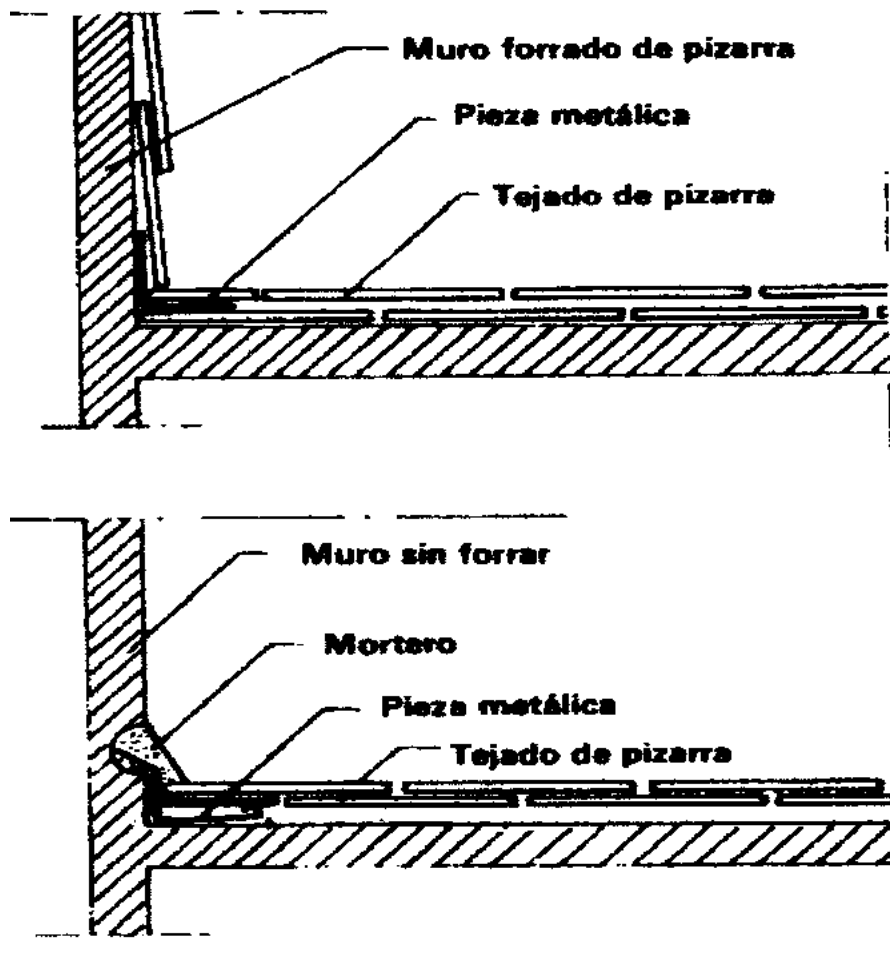


Figura 6.8.6.3.1.- Construcción de limas de costado.

6.8.6.4.- Construcción de cumbreras (Figura 6.8.6.4.1).

Las cumbreras podrán rematarse de diversas formas: con bandas metálicas, con piezas de tierra cocida y con el desbordamiento de un faldón sobre otro (cumbrera sobrepasada).

En los dos primeros casos, la pizarra de la última fila será de una altura más reducida, aunque no inferior a la mitad de la altura de la pizarra utilizada.

En el caso de la cumbrera sobrepasada el remate se efectuará con una fila de doblaje. El faldón desbordante será el que está orientado y expuesto a los vientos dominantes. Se sellará con algún producto impermeable tipo "mastic".

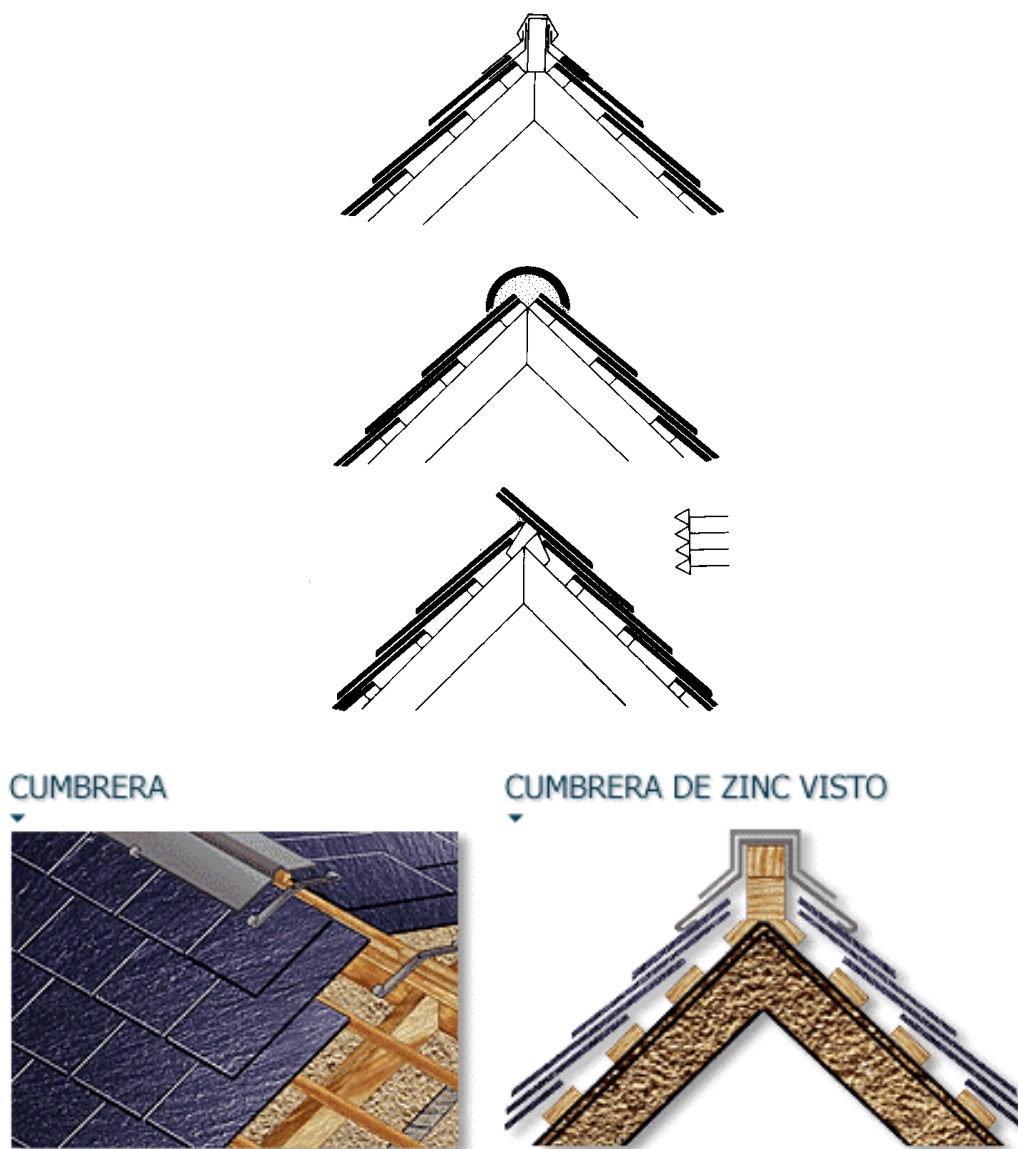


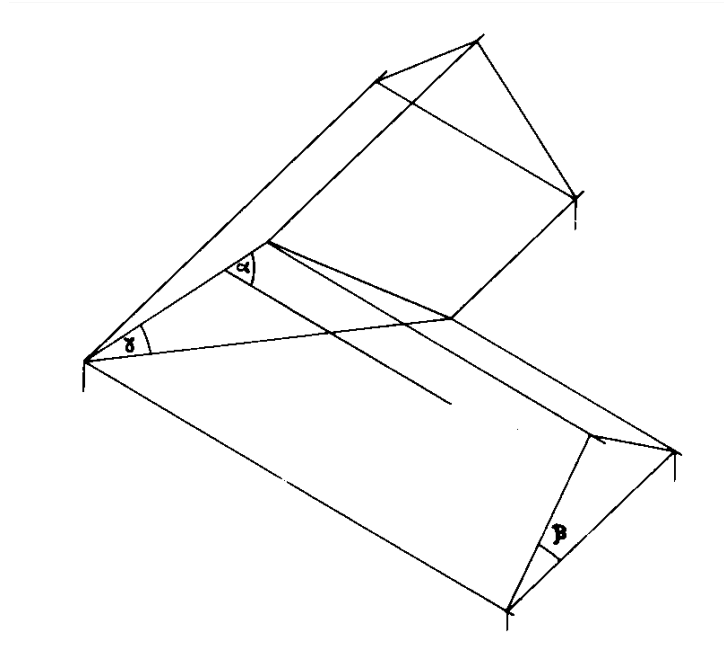
Figura 6.8.6.4.1.- Construcción de cumbreras

6.8.6.5.- Construcción de limatesas - aristas perdidas (Figura 6.8.6.5.1)

En cualquier caso se pueden rematar como cumbreras. Cuando la limatesa va rematada con pizarras ensambladas y recortadas oblicuamente recibe el nombre de arista perdida. Para ello es necesario que la pendiente sea mayor o igual de 27° (50 %). El número necesario de pizarras recortadas varía según las distintas inclinaciones.

La inclinación de la arista perdida se mide con respecto a la horizontal del faldón (a), y no debe confundirse ni con la pendiente del faldón ((i), ni con la pendiente estricta de la limatesa (y).

Para realizar la cubierta de arista perdida de una forma estética, el cubridor deberá usar, siempre que pueda, pizarras aviesadas. Es muy importante tener en cuenta que lo que asegura la impermeabilidad es la longitud de la pizarra aviesada.



LIMATESA: Arista perdida

La limatesa es la línea de intersección en ángulo o redondeada, formada por la unión en ángulo convexo de dos faldones de cubierta o de mansarda.



Figura 6.8.6.5.1.- Limatesas.

6.8.6.6.- Pizarras aviesadas (cortadas al vies) (Figura 6.8.6.6.1).

Las pizarras aviesadas tienen nombres diferentes según su posición en la fila, igual en todas las filas.

1. Pizarra de remate.
2. Primera aproximación.
3. Segunda aproximación.
4. Final.

Las pizarras de remate deben tener recortada una longitud igual a la altura de la parte vista más un solape.

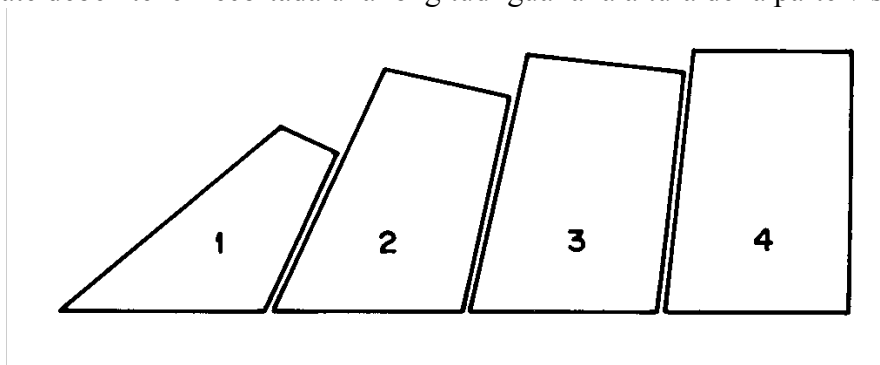


Figura 6.8.6.6.1.- Placas de pizarra aviesada

Para el diseño de las pizarras aviesadas se procede de la forma siguiente (Figura 6.8.6.6.2):

Pizarra de remate.

Con centro en el punto 0 se traza un arco de circunferencia que determina los puntos A y B. Desde 0 trazar la línea OC, con la misma inclinación (α) de la arista perdida. Sobre el arco marcar el punto D, punto medio de A y C y llevar a partir de B un arco iguala DA con lo que se obtiene el punto E, quedando trazada la pizarra de remate.

Primera aproximación.

Sobre otra pieza se marca el punto D, dividiendo el arco AD en dos, se tiene el punto F. Desde B se marca el punto G con el arco FA quedando trazada la pizarra.

Segunda aproximación.

Sobre la tercera pizarra se marca el punto F. A continuación se marca el punto H, punto medio de AF. Desde B se marca el arco HA dando lugar al punto I.

Pizarra final.

Sobre la última pizarra se marcará el punto H y la línea OH dará la línea de corte. Esta pizarra se cortará siempre según la línea precedente.

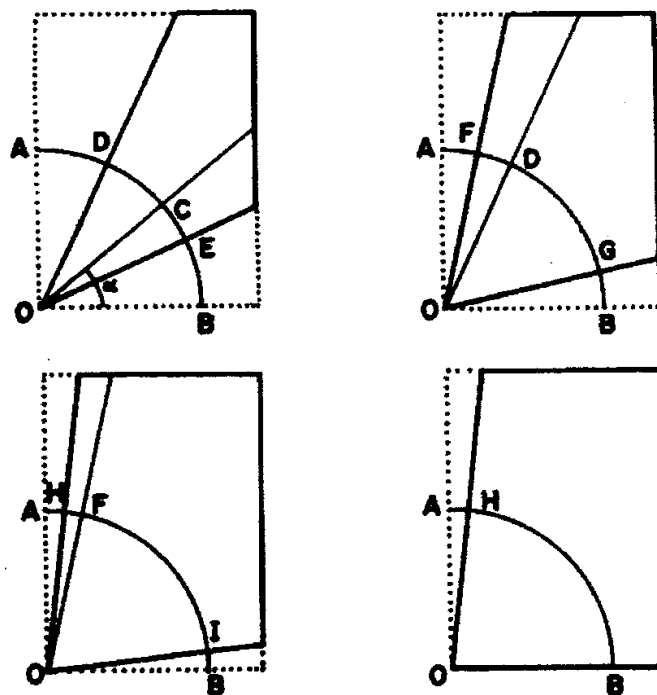


Figura 6.8.6.6.2.- Trazado de de pizarras aviesadas.

6.8.6.7.- Pizarra de adaptación y relleno (Figura 6.8.6.7.1)

Para adaptar las pizarras normales de cada fila con las aviesadas se coloca una o varias adaptaciones (A) rebajándolas de ancho, de forma que se intercalen, debiendo separar uniones de la fila superior a la inferior unos 30 mm alternos.

A veces queda espacio para una pizarra muy estrecha, que ni cubre ni soporta junta alguna. Son las llamadas de lleno (R) y deben evitarse en lo posible.

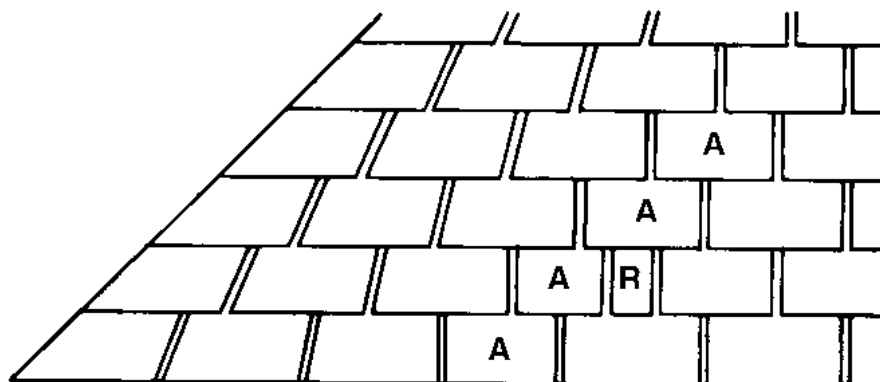


Figura 6.8.6.7.1.- Pizarra de adaptación y relleno.

6.8.6.8.- Arista perdida de diferentes grados de inclinación.

Arista perdida entre 27° y 41 °

Para realizar una arista cuya inclinación se sitúe dentro de este intervalo de graduación, se debe emplear una pizarra de remate, dos de aproximación y una final.

El relleno se hace de la forma descrita anteriormente, pero la distancia entre las uniones debe ser, por lo menos, de 40 mm para los tamaños pequeños, y un poco más, si fuera posible, para los grandes (Figura 6.8.6.8.1.a)

Arista perdida entre 41 ° y 61 °.

Entre estos grados, se debe emplear una pizarra de remate, otra de aproximación y una tercera final (Figura 6.8.6.8.1.b).

Arista perdida entre 61 ° y 76 °

En este caso, para las filas impares hay que emplear una pizarra de remate y una de final. Para las filas pares, media de remate y una final (Figura 6.8.6.8.1.c)

Variante para aristas perdidas entre 61 ° y 90° (Figura 6.8.6.8.1.d)

En las aristas perdidas entre 61 ° y 90 ° se deben evitar las piezas de relleno, sobre todo si existe una alineación de ganchos que converja en un punto de gotera imaginario situado fuera de la línea vertical, la cual debe estar suficientemente alejada de una arista perdida.

Posteriormente, se determinará el número de pizarras del alero comprendido entre la línea vertical y la arista perdida llevando este mismo número de piezas disminuidas hasta la línea de cumbrera.

Variante económica entre 35° y 60° (Figura 6.8.6.8.1.e)

Se puede hacer una arista perdida llamada de través, aunque no responde muy bien a la técnica del arte.

Para realizarlo, se deben colocar las pizarras horizontales, en el sentido de la longitud, cortándola según el ángulo de inclinación.

Estos son algunos ejemplos sencillos de las soluciones que aportan las técnicas de montaje de la pizarra, cuya sofisticación puede alcanzar cotas altísimas para dar respuestas a las más complejas formas que se puedan imaginar.

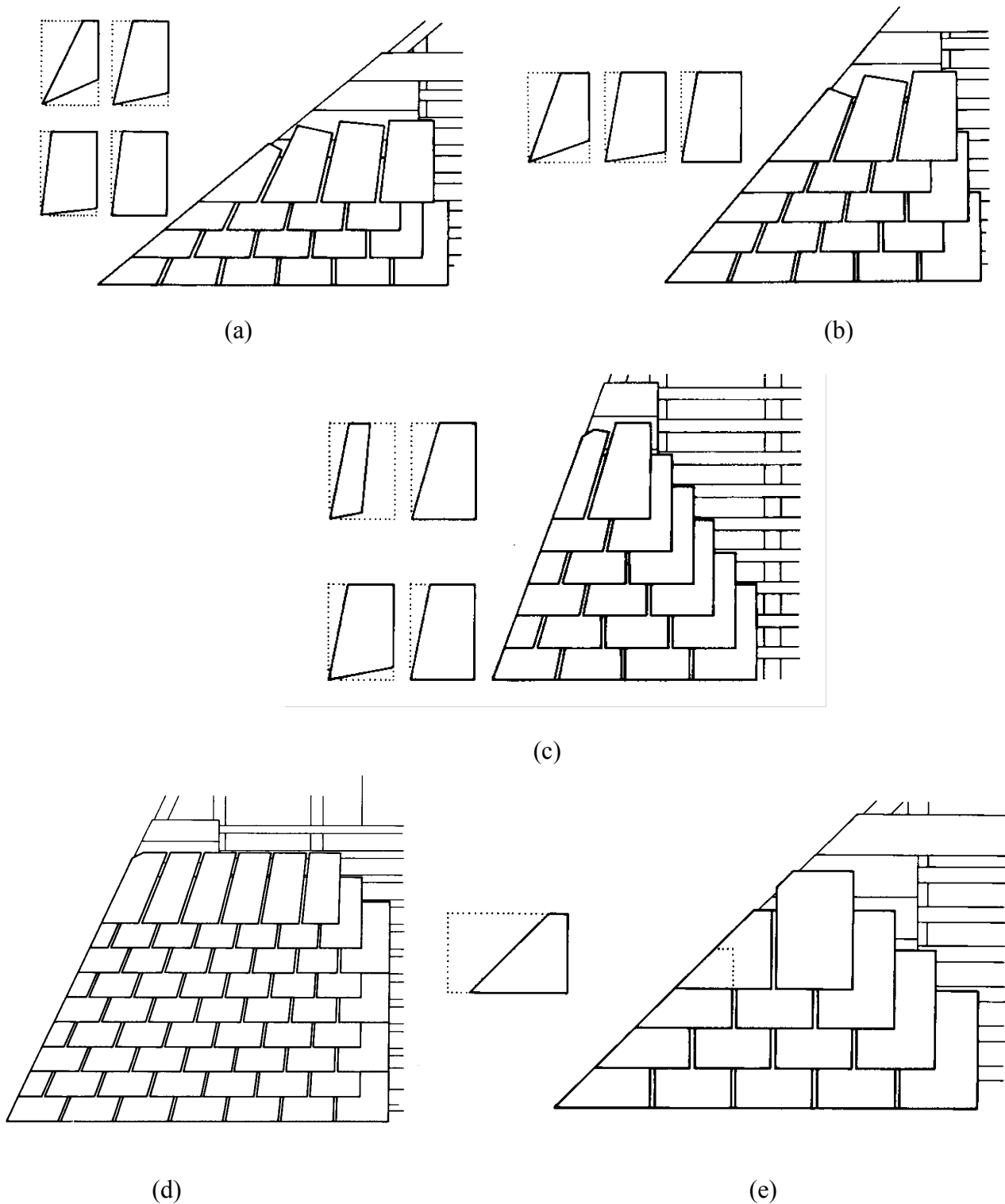


Figura 6.8.6.8.- Arista perdida de diferentes grados de inclinación.

- (a).- Arista perdida entre 27° y 41° .
- (b).- Arista perdida entre 27° y 41° .
- (c).- Arista perdida entre 27° y 41° .
- (d).- Variante para una arista perdida entre 61 y 90° .
- (e).- Variante económica entre 35 y 60° .