

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ing. Roberto Blanco Torrens
Ing. Luis D. Soto González

 EDITORIAL
PUEBLO Y EDUCACIÓN

Este libro,
en tus manos de estudiante,
es instrumento de trabajo
para construir tu educación.
Cúldalo.

Edición: Lic. Pedro Durán Amores
Diseño interior: María Elena Gil Mc Beath
Ilustración: Martha Rodríguez Nuñez

© Roberto Blanco Torrens, 1983

© Editorial Pueblo y Educación, 1983

EDITORIAL PUEBLO Y EDUCACIÓN
Calle 3ra A no. 4605, entre 46 y 60,
Playa, Ciudad de La Habana

Impreso por el Combinado Poligráfico Osvaldo Sánchez, 1983.

PRÓLOGO

El presente título está destinado, como libro de texto, a la asignatura Tecnología de los materiales, que se imparte en el segundo año de la especialidad de Ingeniería en minas, en un intento didáctico-pedagógico de presentar una materia conocida de forma que se eliminen las contradicciones y las dificultades de su asimilación.

En este título se estudian los distintos materiales de construcción, sus características y propiedades y la forma en que llegan a las obras; también se propone una nueva clasificación, a pesar de que en virtud del desarrollo del progreso científico-técnico de esta rama de la industria, puede variar nuestra propuesta y mejorar aún más.

Como complemento, será necesario utilizar un folleto donde se explican las prácticas de laboratorio correspondientes a la determinación de algunas propiedades importantes de los materiales.

Los cálculos de los materiales y su empleo no son objeto de análisis en este libro porque su estudio está enmarcado en otras asignaturas del plan de estudios.

Nos sería de gran utilidad poder recibir del lector algunas sugerencias encaminadas a elevar la calidad del libro, tanto en su contenido como en su forma.

Por último, agradecemos su cooperación a todos los compañeros que de una u otra manera han participado en la elaboración del presente título, en especial a los ingenieros José Díaz Díaz y Armando Aguilera Smith.

Los autores

ÍNDICE

Capítulo 1

LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y LA MINERÍA

- 1.1 Cuestiones generales /1
- 1.2 Material de construcción /3
- 1.3 Principales propiedades de los materiales de construcción /4
- 1.4 Clasificación de los materiales de construcción /14

Capítulo 2

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE NATURALEZA PÉTREA

- 2.1 Cuestiones generales /23
- 2.2 Rocas magnéticas, sedimentarias y metamórficas /24
- 2.3 Materiales pétreos inertes o volúmicos /31

Capítulo 3

MATERIALES PÉTREOS AGLOMERANTES

- 3.1 Cuestiones generales /50
- 3.2 Clasificación /50

Capítulo 4

MATERIALES PÉTREOS AMASADOS

- 4.1 Pastas /61
- 4.2 Morteros /61
- 4.3 Hormigones /65
- 4.4 Hormigón armado /85
- 4.5 El hormigón y el hormigón armado como materiales de fortificación /88
- 4.6 Elementos constructivos fraguados /89

Capítulo 5

MATERIALES ORGÁNICOS DE CONSTRUCCIÓN

- 5.1 Cuestiones generales /92
- 5.2 Materiales orgánicos comunes. Definición. Agrupación /92
- 5.3 Materiales orgánicos aglomerantes /114
- 5.4 Materiales orgánicos tabulares /115

Capítulo 6

MATERIALES METÁLICOS DE CONSTRUCCIÓN

- 6.1 Cuestiones generales /123
- 6.2 Propiedades de los metales /123
- 6.3 Clasificación de los materiales metálicos /124

Capítulo 7

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN QUÍMICO-INDUSTRIALES

- 7.1 Cuestiones generales /131
- 7.2 Materiales químico-protectores /131
- 7.3 Materiales químico-aglomerantes /134
- 7.4 Materiales químicos aglomerados /135
- 7.5 Materiales químicos auxiliares /146

CAPÍTULO 1

LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y LA MINERÍA

1.1 Cuestiones generales

En el Plan de estudios de Ingeniería de minas, la asignatura Tecnología de los materiales de construcción tiene como objetivo central hacer llegar a los alumnos un conjunto de conocimientos acerca de los materiales de construcción de forma tal, que les permita distinguir, entre diversos materiales, cuáles son sus propiedades, usos, formas de obtención y comportamiento, en las condiciones de la minería, de manera que se les facilite decidir cuál es el material más racional y eficiente en cada caso.

Los materiales de construcción constituyen un importante renglón en el desarrollo de la economía de nuestro país.

Antes del triunfo de la Revolución no existía una industria como tal, dedicada a esta especialidad, lo que frenaba su desarrollo desde los puntos de vista cualitativo y cuantitativo, y por consiguiente, ejercía gran influencia en el desarrollo tecnológico y en el grado de modernización de los medios técnicos empleados para su obtención, determinantes en el proceso económico-productivo que se iniciaba.

Podemos afirmar que excepto el cemento, los materiales de construcción se obtenían de forma artesanal; el empleo racional de los recursos renovables y no renovables como fuentes de materiales de construcción, era responsabilidad del constructor.

En el Informe Central presentado al Primer Congreso del Partido Comunista de Cuba, se plantean diversos análisis que corroboran lo señalado, destacándose lo referente a la madera y su uso irracional:

(...) A principios de siglo el país contaba con 5,9 millones de hectáreas de bosques. Habíamos sido durante siglos exportadores de madera. En el período capitalista, la extensión se redujo a 1,5 millones de hectáreas en terrenos montañosos o bajos, no aptos para el cultivo. Estos restos de bosques habían sido explotados también exhaustivamente, convirtiéndose el país en importador de madera. No se sembró jamás un solo árbol en esas áreas (...)¹

¹ Informe Central al Primer Congreso del Partido Comunista de Cuba. Editado por el Departamento de Orientación Revolucionaria del CC del PCC, p. 67.

En un análisis comparativo de la producción de cemento en 1959 y la producida a fines de 1975 se señala:

(...) La producción de cemento desde entonces a acá, se elevó de 743 mil toneladas a 2 millones (...) Esto ha sido posible por los grandes planes de la Revolución, por el ritmo organizativo y el avance originado en las zafras azucareras, lo que ha permitido y permitirá en la medida de la mecanización de la misma aumentar el número de hombres dedicados a construir, a crear (...) En 1958 había 83 mil trabajadores dedicados a ello, hoy hay más de 275 mil (...) ²

En el quinquenio 1976-1980, la industria de materiales de construcción, impulsada por el auge impetuoso del sector de la construcción, alcanzó un gran desarrollo, obteniéndose altos ritmos de producción en la mayoría de los renglones, aunque es conveniente aclarar que aún no están satisfechas las crecientes demandas del país.

En la actualidad la industria de materiales realiza un conjunto de inversiones tendientes a aumentar la elaboración de los productos necesarios para mantener el ritmo de construcciones en el país. Por esa razón se construyen y se amplían canteras, areneras, las fábricas de cemento, de elementos prefabricados, de bloques, de cabillas, de cerámica y otros materiales complementarios.

La construcción como sector económico tiene vinculación con la minería en un país en vías de desarrollo como el nuestro, tanto en su origen como su finalidad y medios.

Al referirnos al inicio del proceso destacamos que para construir es necesario poseer materiales, y muchos de ellos provienen del trabajo en las canteras, o sea, en minas de las cuales se extrae la materia prima para la industria de materiales de construcción. Entre las fuentes de materia prima más comunes están las canteras de áridos para la fabricación de hormigones, las canteras de arcillas y margas para la fabricación de cementos, las canteras de caolín para la fabricación de muebles sanitarios y otros.

En su finalidad y medios porque a medida que se desarrollan los trabajos, el ingeniero de minas debe construir un conjunto de obras que permitan preservar los trabajos realizados dentro de la mina y garantizar la seguridad de los obreros; estas obras se realizan con los mismos materiales de construcción conocidos por todos y con medios similares de construcción. Además, las obras que se construyen en la superficie de las minas no se diferencian, por sus características constructivas, de las obras de construcción civil.

Estos son, a grandes rasgos, los elementos que destacan la importancia que tiene para el ingeniero conocer los diferentes materiales que se utilizan en la construcción.

La importancia de la construcción en la economía nacional, y en la minería en particular, es evidente y mucho más para un país en vías de desarrollo, donde la

ejecución de todo tipo de construcción, ya sean edificios o instalaciones industriales (fábricas, minas, puertos, centrales azucareros, etc.) construcciones de carácter social (viviendas, escuelas, hospitales, carreteras, ferrocarriles, etc.) constituye un importante apoyo para un sostenido despegue económico, y más aún en la economía socialista, cuyo continuo desarrollo, siempre creciente, tiene como objetivo mejorar y transformar la base material de vida de toda la sociedad.

Es por ello que nuestro Partido guiado por el compañero Fidel Castro trazó toda la estrategia que durante años se ha venido ejecutando en el desarrollo de la construcción, su modernización, su mecanización y el desarrollo aparejado y necesario de la industria de materiales.

Como la minería es una actividad industrial compleja y muy variable, donde diariamente el ingeniero se enfrenta, en mayor o menor grado, a la imprecisión en el conocimiento de la forma y el contenido de los diversos cuerpos minerales y tiene que acometer su explotación mediante excavaciones de las más diversas características, las técnicas, medios y materiales usados en la construcción constituyen un importante instrumento para la minería.

1.2 Material de construcción

Basados en el empleo y en la necesidad social e industrial de uso de los materiales de construcción, teniendo en cuenta sus perspectivas de desarrollo, y desde el punto de vista del constructor, definimos el concepto *material de construcción* como el cuerpo o los cuerpos que en diferentes combinaciones integran las obras de construcción, cualquiera que sea su naturaleza u origen, obtención industrial, composición y forma, siempre que reúna determinados requisitos técnicos específicos para su utilización, en función del tiempo.

Los materiales de construcción deben poseer requisitos mínimos para conformar las obras de construcción, lo que significa que la primera condición la constituyen las propiedades técnicas intrínsecas de cada uno de ellos. Entre las principales propiedades, en orden de importancia, encontramos su resistencia mecánica, es decir, la capacidad de una sustancia o cuerpo para resistir —según su composición, forma y tamaño— determinadas tensiones (esfuerzos internos que tratan de oponerse a las fuerzas externas que se le aplican al cuerpo) en un lugar específico de una construcción. Como ejemplo de estas propiedades tenemos: dureza, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, resistencia al corte o cizallamiento, etcétera.

En segundo lugar están aquellas propiedades que se refieren a la capacidad del material para resistir la acción de los agentes con los cuales va a estar en contacto la construcción o una parte de ella, como pueden ser: la atmósfera en sus diversas composiciones relativas (desde pura hasta contaminada), las aguas en sus diversas formas y otros líquidos, gases o sólidos que puedan ponerse en contacto o estar contenidos en ellas. Algunas de estas propiedades son la porosidad, la capilaridad, la permeabilidad, la resistencia a agentes químicos, las propiedades reológicas, y otras.

² Ibídem, p. 71.

1.3 Principales propiedades de los materiales de construcción

Con el objetivo de emplear correctamente uno u otro material es necesario conocer sus propiedades y tener en cuenta las condiciones en que se va a trabajar con ellos.

Las principales propiedades de los materiales de construcción, pueden clasificarse de la forma siguiente: propiedades físicas, que caracterizan el comportamiento de los materiales de construcción, bajo la acción del agua y bajo la acción del calor, y las propiedades mecánicas.

1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Peso específico. El peso específico γ_e es el peso de material en la unidad de volumen, sin tener en cuenta los poros.

Para el cálculo del peso específico es necesario dividir el peso P del material seco entre el volumen V_0 que ocupa la estructura del material, o sea, sin tener en consideración el volumen que ocupan poros y vacíos.

De tal forma

$$\gamma_e = \frac{P}{V_0} \text{ [g/cm}^3 \text{]}$$

Esta propiedad tiene significación auxiliar, en los materiales de construcción, pero se utiliza para calcular la densidad y la porosidad, propiedades que sí tienen un gran valor práctico.

El peso específico de la mayoría de los materiales de construcción es mayor que la unidad, excepto la madera, las lacas, los hormigones celulares y algunos plásticos.

En los materiales de piedra el peso específico oscila entre 2,2 y 3,3 g/cm³, el de los materiales orgánicos (maderas, betunes, plásticos, lacas, alquitrán, etc.), entre 0,9 y 1,6 g/cm³ y el de los materiales ferrosos (hierro y acero, etc.) entre 7,25 y 7,85 g/cm³.

Para la determinación del peso específico en los casos de los materiales pétreos habitualmente se usa el método picnométrico.

Peso volumétrico (o volúmico). Es el peso de la unidad de volumen en estado natural, γ_v o sea, teniendo en cuenta los poros.

El volumen de material V se determina de acuerdo con sus dimensiones o mediante alguno de los otros métodos conocidos. El peso volumétrico se puede calcular según la expresión

$$\gamma_v = \frac{P}{V} \text{ [g/cm}^3 \text{ o kg/m}^3 \text{]}$$

El peso volumétrico de la mayoría de los materiales es menor que el peso específico pues $V > V_0$. Solo en el caso de los materiales conocidos como completamente densos (vidrio, acero y betunes) la magnitud de ambos pesos coincide. El valor práctico de esta propiedad es muy amplio, pues se utiliza para el cálculo de las características de resistencia (estabilidad) de las distintas construcciones en las que se calcula su peso. A diferencia del peso específico, el peso volumétrico de los distintos materiales de construcción oscila en grandes límites, desde 20 kg/m³ hasta 7 850 kg/m³ (para el acero). Con el incremento de la humedad, aumenta el peso volumétrico.

A continuación ofrecemos algunos valores promedios de γ_v para distintos materiales de construcción (tabla 1).

Tabla 1

PESOS VOLUMÉTRICOS DE DIFERENTES MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Material	Peso volumétrico, kg/m ³
Granito	2 500 – 2 700
Caliza	1 800 – 2 400
Ladrillo de arcilla	1 600 – 1 900
Grava	1 400 – 1 700
Hormigón normal	1 800 – 2 400
Hormigón de escoria	1 200 – 1 800
Hormigón ligero	500 – 1 800
Arena	1 450 – 1 650
Acero	7 850
Pino	400 – 600
Roble	700 – 900

Densidad. El material, en su estado natural, ocupa un volumen V , mientras que en estado denso ocupa un menor volumen V_0 . La relación entre V_0 y V expresa la densidad del material N . El valor de N se puede expresar de la manera siguiente

$$N = \frac{V_0}{V} = \frac{\frac{P}{V_0}}{\frac{P}{V}} = \frac{\gamma_v}{\gamma_e}$$

Es decir, la densidad es la relación entre el peso volumétrico y el peso específico y se puede expresar también en porcentaje.

$$N = \frac{\gamma_v}{\gamma_s} \cdot 100$$

La mayor parte de los materiales tienen una densidad menor que el 100 % a causa de la presencia de los poros.

Porosidad. Por porosidad de los materiales η se entiende la relación existente entre el volumen que ocupan los poros V_p con respecto al volumen total V_0 , o sea

$$\eta = \frac{V_p}{V_0} = \frac{V - V_0}{V}$$

$$\eta = 1 - \frac{V_0}{V}$$

o expresado en porcentaje

$$\eta = \frac{V - V_0}{V} \cdot 100$$

La porosidad y la densidad de los materiales son de gran significación en la construcción, pues ellas poseen propiedades muy importantes como son: resistencia, permeabilidad, absorción de agua, conductividad del calor, etcétera.

1.3.2 PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA ACCIÓN DEL AGUA

Higroscopicidad. Es la propiedad que poseen los materiales de absorber el vapor de agua contenido en el aire y depende de la temperatura del aire y su humedad relativa, y del tipo, cantidad y dimensiones de los poros.

Algunos materiales atraen fuertemente hacia su superficie las moléculas de agua y otros las repelen. Los primeros son capaces de disolverse en el agua, mientras que los segundos son estables.

Absorción de agua. Los materiales absorben agua y la retienen en su interior. Esta propiedad de absorber el agua se determina por la cantidad de líquido que es capaz de absorber un material seco que esté completamente sumergido en agua y se expresa en porcentaje relativo al peso o al volumen del material seco, o sea

$$W_p = \frac{g - g_0}{g_0}$$

$$W_v = \frac{g - g_0}{V}$$

donde:

W_p — absorción de agua, expresada en función del peso del material seco, %;

W_v — absorción de agua, expresada en función del volumen del material seco, %;

g — peso del material en un estado de saturación, g;

g_0 — peso del material seco, g;

V — volumen del material, cm^3 .

La absorción de agua es siempre menor que la porosidad, ya que parte de los poros son cerrados, o sea, no se comunican con el medio que los rodea, y por tanto, no permiten la entrada del agua.

La absorción de agua en los materiales de construcción varía, fundamentalmente en dependencia del volumen de los poros, sus tipos y dimensiones.

Como resultado de la absorción de agua, cambian las propiedades de los materiales, por lo que puede aumentar su peso volumétrico y la conductividad térmica; en algunos materiales (madera, arcilla, etc.) aumenta el volumen y disminuye la resistencia mecánica a causa del debilitamiento del enlace entre las partículas.

En virtud de la influencia que tiene la saturación sobre la resistencia mecánica de los materiales, en muchas ocasiones es conveniente determinar su resistencia, tanto en estado seco como en estado saturado.

A la relación existente entre el límite de resistencia a la compresión del material saturado R_s y la del material seco R , se le denomina coeficiente de reblandecimiento k_r .

$$k_r = \frac{R_s}{R}$$

Este coeficiente representa la estabilidad de los distintos materiales frente al agua. Varía en grandes límites, desde 0 para los materiales que son fácilmente reblandecidos (por ejemplo, arcilla), hasta 1,0 para los materiales que conservan su resistencia bajo la influencia del agua (vidrio, acero, etcétera).

Los materiales cuyos coeficientes de reblandecimiento (k_r) sean menores de 0,8 en lugares donde frecuentemente haya humedad, no se pueden utilizar.

Permeabilidad. Es la propiedad que tienen los materiales de permitir el paso del agua a través de ellos. El valor de la permeabilidad depende de la densidad y la estructura del material.

Los materiales compactos y los que poseen poros finos cerrados son impermeables.

La permeabilidad se caracteriza por la cantidad de agua que pasa, en una hora, por una superficie de 1 cm^2 del material en cuestión, bajo presión constante.

Liberación de agua. Los materiales que se encuentran en el aire conservan su humedad solamente en determinadas condiciones, o sea, cuando poseen una humedad equivalente a la humedad específica del aire.

Si la humedad relativa del aire es menor, entonces el material comienza a emitir humedad al medio, o sea, se va secando.

La velocidad de pérdida de humedad de un material depende, en primer lugar, de la diferencia de humedad entre el material y el aire que lo rodea, siendo mayor la velocidad mientras mayor sea esta diferencia. En segundo lugar, depende de las propiedades del material en cuestión, de las características de su porosidad, etcétera.

En condiciones naturales el aire siempre contiene cierta humedad, es por eso que en dichas condiciones los materiales húmedos no se secan totalmente, sino solo hasta un determinado grado de humedad, que será el del equilibrio. El estado del material en estas condiciones de equilibrio recibe el nombre de *seco al aire*.

En algunos materiales la variación de humedad va acompañada de la variación del volumen del material.

El humedecimiento y el secado sistemático de los materiales en las construcciones conduce a que se produzcan tensiones variables, las que con el tiempo ocasionan la disminución de su capacidad portadora y hasta pueden provocar su destrucción.

Estabilidad en el aire. Es la capacidad que posee un material para soportar reiteradamente su humedecimiento y secado sin la pérdida de la resistencia mecánica.

Los materiales de construcción pueden tener diferentes comportamientos ante la variabilidad de la humedad.

Resistencia al frío. Esta propiedad es importante para los países en los cuales en invierno la temperatura desciende por debajo de cero.

La resistencia al frío es la capacidad que poseen los materiales saturados de agua para soportar ciclos de frío y deshielo sin disminuir significativamente su resistencia mecánica.

1.3.3 PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA ACCIÓN DEL CALOR

Conductividad térmica. Es una cualidad de los materiales que permite que el calor se transmita a través de ellos. Todos los materiales poseen esta propiedad, sin embargo, la conductividad es diferente para cada uno.

La conductividad de los materiales se representa mediante el coeficiente de conductividad λ , que es igual a la cantidad de calor kcal que pasa en una hora a través de un material de 1 m de espesor y cuya área es de 1 m² si la diferencia de temperatura entre sus superficies paralelas es de 1°C, o sea,

$$\lambda = \frac{Q \cdot S}{F \cdot (t_1 - t_2) \cdot Z} \quad [\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$$

donde:

Q — cantidad de calor que pasa, kcal;

S — espesor del material, m;

F — área a través de la cual pasa el flujo térmico, m²;

$t_1 - t_2$ — diferencia de temperatura entre las superficies del material, °C;

Z — tiempo que dura el flujo, h.

La conductividad térmica depende de muchos factores: composición del material, estructura, grado de porosidad, características de los poros, humedad y temperatura medias en las cuales se produce la transmisión de calor.

Está comprobado que con la disminución del peso volumétrico disminuye la conductividad térmica, y viceversa, aunque entre el peso volumétrico y el coeficiente de conductividad aún no se ha establecido una dependencia general.

La humedad influye sobre la conductividad térmica de forma significativa siendo los materiales húmedos mejores conductores de calor que los materiales secos.

A continuación mostramos una tabla con el peso volumétrico y el coeficiente de conductividad de algunos materiales de construcción (tabla 2).

Tabla 2
COEFICIENTE DE CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Material	Peso volumétrico, kg/m ³	Coefficiente de conductibilidad térmica kcal/m · h · g
Acero	7 850	50
Granito	2 500 — 2 700	2,4 — 2,5
Hormigón de espuma	300 — 900	0,08 — 0,2
Ladrillo de arcilla	1 600 — 1 800	0,65 — 0,7
Lana mineral	200 — 400	0,05 — 0,08
Paneles de fibra de madera	300	0,07
Plástico poroso	20	0,03
Vidrio celular	250 — 300	0,05 — 0,07
Fibrolita	450 — 550	0,15 — 0,20
Paneles de corcho	150	0,04

Es muy importante la conductividad térmica de los materiales que se usan como paneles y cubiertas en edificios con calefacción, para el aislamiento de los congeladores y diferentes equipos de calor (calderas, redes de vapor, etcétera).

Calor específico. Es la propiedad que tienen los materiales de absorber calor durante su calentamiento. Está representado por el coeficiente de calor específico C que se determina por la expresión siguiente:

$$C = \frac{Q}{g(t_1 - t_2)} \text{ [kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C]}$$

donde:

Q — cantidad de calor que se consume al calentar un material, desde t_1 hasta t_2 , kcal;

g — peso del material;

$t_1 - t_2$ — diferencia de temperatura antes y después del calentamiento, $^\circ\text{C}$.

El coeficiente de calor específico es la cantidad de calor (kilocalorías) necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de material en un grado centígrado.

Para los materiales pétreos, este coeficiente se encuentra entre 0,18 y 0,22; para la madera, entre 0,50 y 0,65 y para el acero es de 0,11 kcal/kg \cdot $^\circ\text{C}$.

Resistencia al fuego. Es la capacidad de los materiales para resistir la acción de altas temperaturas, sin perder su capacidad portadora. Esta propiedad es importante en caso de incendios.

En dependencia de su resistencia al fuego, los materiales de construcción se clasifican en:

Materiales no combustibles.

Materiales difícilmente combustibles.

Materiales combustibles.

1.3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas son las capacidades de los materiales para resistir la acción de fuerzas exteriores. Estas propiedades van a estar caracterizadas por la resistencia a la compresión, a la tracción, a la flexión o al golpe y por la dureza, la elasticidad-plasticidad y la abrasividad.

Resistencia. Es la capacidad de los materiales para resistir la acción de fuerzas externas, sin ser destruidos. El estudio de la resistencia se efectúa en la disciplina denominada *resistencia de materiales*, no obstante, explicaremos brevemente algunos conceptos generales necesarios para el estudio de la resistencia en los materiales de construcción.

Los materiales que se encuentran en las obras pueden estar sometidos a la acción de distintas cargas. Lo más característico para las construcciones son la compresión, la tracción, la flexión y el golpe.

Los materiales de piedra (granito, hormigón, etc.), resisten bien la compresión, pero soportan mal la tracción, la flexión o el golpe, es por eso que los materiales de piedra se utilizan fundamentalmente en construcciones donde la compresión sea el principal elemento.

En cambio, los metales y las maderas resisten bien la compresión, la tracción y la flexión, por lo que pueden utilizarse en obras que reciban la acción de tales esfuerzos.

La resistencia de los materiales está dada por su *límite de resistencia*, que es la carga que se produce en el momento en que se destruye el material.

Resistencia a la compresión. Este índice es quizás el más importante por determinar en las piedras y en el hormigón, pues ellos, como ya expresamos, habitualmente están sometidos a este tipo de carga.

El límite de resistencia a la compresión se determina por la expresión

$$R_0 = \frac{P}{F}$$

donde:

R_0 — límite de resistencia a compresión, kg/cm²;

P — carga de rotura, kg;

F — área de la sección transversal original de la muestra, cm².

Este ensayo se realiza en prensas hidráulicas o mecánicas, preparándose habitualmente muestras del material en cuestión, de forma cúbica y de distintas dimensiones.

Resistencia a la tracción. Esta determinación en los materiales de construcción se hace pocas veces, variando la forma de la muestra en función del método de determinación y el tipo de máquina que se vaya a emplear.

En general, podemos decir que la resistencia a la tracción R_t de las piedras naturales oscila entre

$$R_t \approx (1/8 \text{ y } 1/36) R_c$$

Resistencia a la flexión. Para determinar este índice se preparan muestras en forma de barras, se sitúan sobre dos apoyos y se les colocan encima una o dos cargas concentradas, las cuales se van incrementando hasta que se produzca la rotura.

La resistencia a la flexión se determina mediante las fórmulas siguientes:

- a) Para el caso de una fuerza concentrada en el centro de la barra de sección rectangular

$$R_f = \frac{3P\ell}{2bh^2} \text{ [kg/cm}^2\text{]},$$

- b) Para el caso de dos fuerzas concentradas equidistantes del centro

$$R_f = \frac{3P(\ell - a)}{bh^2},$$

donde:

P — carga de rotura, kg;

ℓ — luz entre los apoyos, cm;

a — distancia entre las cargas, cm;

b — ancho de la sección de la barra, cm;

h — altura de la sección de la barra, cm.

Resistencia al golpe. Esta propiedad tiene un gran valor para los materiales que se emplean en cubiertas y en revestimientos de caminos. El límite de resistencia de los materiales al golpe se expresa por la cantidad de trabajo que es necesario gastar para destruir la muestra, según su unidad de volumen.

La determinación de este índice se realiza en un aparato especial denominado *torre de ensayo*.

A manera de resumen podemos decir que la resistencia de los materiales va a depender de un conjunto de factores, entre los que tenemos:

Forma y dimensiones de la muestra que se ensaya.

Características de la superficie de dichas muestras.

Velocidad de aplicación de la carga.

Estructura del material.

Peso volumétrico.

Humedad.

Dirección en que se aplica la carga, etcétera.

Dureza. Se define como la resistencia que ofrecen los cuerpos, en virtud de su cohesión, a dejarse penetrar o rayar por otros cuerpos.

Existen diversas escalas que agrupan a los minerales y a las rocas según su dureza. En este trabajo citamos la de Mohs, que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES SEGÚN SU DUREZA

Talco	Fácilmente rayable
Yeso, sal gema	Rayable con la uña
Calcita	Rayable fácilmente con una lima
Fluorita	Rayable con una lima
Apatita	Rayable con una lima bajo presión. No rayable al vidrio.
Feldespatos (ortosa)	No es rayable con una lima. Raya poco al vidrio.
Cuarzo	Raya al vidrio
Topacio	Raya al vidrio
Corindón	Raya al vidrio
Diamante	Raya al vidrio

Con el objetivo de determinar la dureza de cualquier roca o mineral, se intenta rayar los ejemplares componentes de la escala u otros de dureza conocida, con la muestra que se estudia.

Por ejemplo, si el ejemplar en proceso de estudio raya al cuarzo, es un índice de que su dureza es superior a 7 y entonces pasaríamos a probar con el topacio; si no lo raya, sabemos que está entre 7 y 8, y si lo raya, pasamos a probar con el corindón.

Para realizar estas determinaciones es necesario tener en cuenta que:

Cuando un material es más blando que el otro, al efectuarse el ensayo, algunas porciones de él pueden quedar sobre el otro, pudiendo esto ser confundido con una raya. Para evitar esta posible confusión, se debe frotar la muestra después de realizada la prueba para eliminar cualquier falso indicio.

En los ensayos deben emplearse materiales frescos, que no hayan sufrido alteraciones.

Propiedades elástico-plásticas. Los materiales que se encuentran bajo la acción de cargas se deforman, o sea, cambian su forma y sus dimensiones iniciales.

La magnitud y las características de estas deformaciones pueden variar. Así tenemos que, si después de cesar la carga actuante la muestra recobra su forma y sus dimensiones iniciales, entonces esta deformación es elástica; si por el contrario, la muestra conserva, en parte o totalmente, el cambio sufrido, esta deformación será plástica.

Abrasividad. Se denomina abrasividad la capacidad que posee un material de perder peso y volumen bajo la acción de fuerzas de fricción.

Esta propiedad tiene gran importancia para los materiales que se usan en pisos, escaleras, tolvas, etcétera.

La abrasividad puede determinarse por la expresión

$$R_a = \frac{g_1 - g_2}{F} \text{ [kg/cm}^2\text{]},$$

donde:

g_1 — peso de la muestra antes del ensayo, kg;

g_2 — peso de la muestra después del ensayo, kg;

F — área de abrasión, cm².

1.4 Clasificación de los materiales de construcción

1.4.1 ASPECTOS GENERALES

Para estudiar la diversidad de materiales de construcción que se utilizan actualmente es preciso clasificarlos, o sea, agruparlos de acuerdo con determinados criterios que faciliten su estudio; sin embargo, esta tarea, tan necesaria en los procesos didáctico y pedagógico, no es muy fácil de realizar, porque el empleo de los materiales de construcción es muy amplio y cambia con frecuencia, por ello cualquier clasificación contiene un número determinado de errores o contradicciones.

Diversos autores han intentado elaborar una clasificación exenta de estos problemas y que permita estudiar con claridad los materiales, aunque no lo han logrado.

Los materiales de construcción pueden clasificarse, según el criterio de las funciones que realizan en las obras, en *principales* (o resistentes) *aglomerantes* y *auxiliares*.

Los principales (hormigón, hierro, madera, etc.), como su nombre lo indica, son aquellos que por sus propiedades, pueden ser portadores o sostenedores de una edificación.

Los aglomerantes (cemento, cales, morteros, etc.), se caracterizan porque al endurecerse unen diversos elementos más resistentes, dando integridad y unidad a la obra; los auxiliares (pinturas, vidrios, herrajes, etc.), sirven para dar el acabado final a la obra.

La siguiente forma de clasificación, llamada *constructiva*, agrupa los materiales según el lugar donde se utilizan en las obras. Así tenemos los de *cimentación*, los de *estructura* y los de *cubierta*.

Las dos clasificaciones explicadas poseen la desventaja de que un mismo material puede pertenecer a distintos grupos. La clasificación genética es mucho más avanzada, pero también tiene algunas contradicciones. Ella agrupa a los materiales de la forma siguiente:

Pétreos naturales: rocas.

Pétreos artificiales: cerámicos y vítreos.

Agglomerantes: cales, cementos y asfaltos.

Artificiales aglomerados: bloques y baldosas.

Metálicos: hierro, cobre y plomo.

Orgánicos: maderas y corcho.

Plásticos.

Antes de presentar la clasificación universal de los materiales adoptada por nosotros, debemos expresar que la misma no se fundamenta en la base genética y agrupa algunos materiales atendiendo a otras características.

El análisis de estas clasificaciones nos conduce, en primer lugar, a cuestiones propias de materiales de construcción.

El desarrollo de la industria de materiales de construcción y de las técnicas constructivas modernas van hacia la utilización, bajo nuevas formas, de viejos materiales o a la creación de nuevos tipos. Por ello, para el estudio específico de cada uno se impone hacer una clasificación de acuerdo con el nivel de desarrollo con que llegan a las obras. Es decir, el grado de elaboración con que salen de la industria los materiales.

Por otra parte, esta gran gama de génesis, orígenes formas de obtención, uso, empleo, etc., de los materiales hace de la situación un cuadro complejo. Por esto, cualquier clasificación de los materiales de construcción debe poseer una dinámica muy grande, ya que además va a estar influenciada por el desarrollo vertiginoso que tiene lugar en este campo.

1.4.2 CLASIFICACIÓN UNIVERSAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

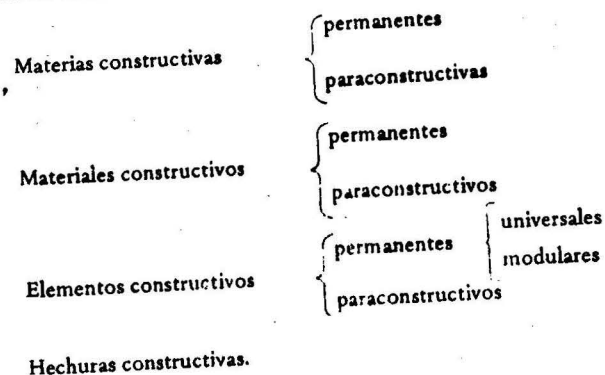
La clasificación que presentamos está basada en el estudio de los materiales de construcción, siguiendo un conjunto de criterios subordinados o priorizados, los cuales nos permiten dividirlos en clases, subclases y grupos. Sobre esta división y su actualidad influyen las transformaciones dinámicas en que se ve envuelto el sector de la construcción, como resultado de la revolución científico-técnica.

En este proceso, por una parte intervienen aún los métodos de la construcción clásica, que utilizan los materiales de construcción en su aspecto más primitivo (casi como materias primas), y por otra parte la industrialización de la construcción que conduce, en primer término, a la alta tecnificación de la industria de materiales de construcción.

El desarrollo de este proceso, en el cual, en la medida que se desarrolla la industria de los materiales, se revolucionan las técnicas constructivas y desaparece la construcción clásica como tal, es por su naturaleza contradictorio y conducirá finalmente a que toda la actividad constructiva se realice fuera de pie de obra, negando la construcción bajo la forma actual.

Este proceso de transformación está en la actualidad presente y determina que los materiales de construcción no lleguen a la obra con idénticas características de elaboración.

Por ello definimos como categoría de un material de construcción, la forma o grado de elaboración en que llega a la obra y tenemos:



Materias constructivas. Son aquellas que, independientemente de su génesis, pueden arribar a la obra bajo la forma de materias primas, generalmente apiladas a granel o en tongas. Ejemplos: madera rolliza o labrada, cemento, arena, etcétera.

Se distinguen las que serán usadas para construir los elementos o partes permanentes de la construcción. Por ejemplo, la madera puede emplearse en arriostrar el techo de una nave, pero también puede emplearse para realizar encofrados o andamios. En estos casos, se utiliza como elemento transitorio de apoyo a la construcción, es decir, con finalidad paraconstructiva.

Materiales constructivos. Son los obtenidos de la elaboración de las materias constructivas, con vistas a ser usados directamente en la ejecución de partes de una obra; su obtención se puede realizar por un mejoramiento de su acabado o apariencia exterior, o por la mezcla de diversas materias constructivas. Ejemplos: morteros, hormigones, madera labrada, etcétera.

Elementos constructivos. En esta denominación queda enmarcado el material de construcción que llega a la obra con un determinado grado de elaboración que le permite desempeñar un papel determinado, es decir, un elemento que posee una forma determinada y tiene un campo específico de aplicación. Ejemplos: ladrillos, bloques, columnas, puertas, ventanas y paneles.

Distinguimos los elementos constructivos permanentes de los paraconstructivos como en la categoría anterior, dividiendo los permanentes según su grado de versatilidad, en dos grupos: universales y modulares; estos últimos son los que se utilizan en obras que tienen módulos constructivos, como el que se utiliza en una columna del sistema Sandino.

Hechuras constructivas. Son aquellos materiales de construcción que llegan a la obra con un alto grado de determinación, constituyendo de por sí una parte de la misma. Ejemplo: un módulo de baño o servicios montado, una cercha, etcétera.

Criterios para la clasificación de los materiales de construcción. Orden de los mismos

Como primer criterio consideramos el genético, representado en el origen, composición y/o naturaleza del material de construcción. Con él determinamos lo que denominaremos *clase de material de construcción*.

Como segundo criterio, sin apartarnos del concepto expresado por el criterio genético, tendremos en cuenta el conjunto, y además, el comportamiento del material (comportamiento en el momento de su empleo, lo que nos dará la *subclase de material de construcción*).

Como tercer criterio emplearemos el uso y la forma de uso del material, lo que nos dará el grupo o clasificación de la subclase y por último, utilizaremos la designación habitual general de material.

Clasificación de los materiales de construcción

Según el criterio genético, los materiales se dividen en cuatro clases:

Materiales de construcción de naturaleza pétreo.

Materiales de construcción de origen orgánico.

Materiales de construcción de naturaleza metálica.

Materiales de construcción de origen químico-industrial.

Las subclases y grupos, pueden ser observados en la tabla 4; a partir de esa clasificación en el resto de la presente obra haremos el estudio de los materiales de construcción, por clases, subclases, grupos y denominaciones.

Todos, o casi todos los materiales de construcción que se enmarcan en esta clasificación tienen uso directo en la minería en tal o más cual condición; para el Ingeniero de minas, fundamentalmente para el especializado en Explotación de yacimientos, se hace necesario conocer y dominar las diversas propiedades de cada material y los intervalos de valores de esas propiedades, la composición y la resistencia a los agentes externos que puedan afectar estas propiedades, en detrimento de las funciones portadoras que los mismos deban ejercer en un elemento de obra determinado.

Tabla 4

CLASIFICACIÓN UNIVERSAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Génesis (Clases)	Comportamiento y forma de actuación (Subclases)	Uso y forma de uso (Grupos)	Nombre genérico (Denominación)	Nombre específico (Ejemplos)
Materiales pétreos	Pétreos volúmenes o inertes	Terrígenos	Suelos (arcillosos, margosos, arenosos)	Mejoramiento rocoso, vegetal, recebo
		Áridos	Áridos artificiales y naturales	Arena, rajón
		Labrados	Piedras de construcción	Mampuestos, sillares, lajas, adoquines
		Elaborados	Cerámicos y vítreos	Tubos de barro, ladrillos, muebles sanitarios, vidrio plano
	Pétreos aglomerantes	Aéreos hidráulicos	Cales, yeso y magnesita (simples)	Cal, yeso, cemento de magnesia
			Puzolanas	Tierras puzolánicas
			Cementos	Portland, de escoria, sobresulfatado
	Pétreos amasados	Aéreos hidráulicos	Pastas	
			Morteros	
			Hormigones	
			Elementos constructivos fraguados	
Materiales orgánicos	Orgánicos comunes	Toscos	Fibras vegetales (corcho, cuero, rollizos de madera)	Yute, henequén, corcho virgen, postes
		Labrados	Madera labrada	Tablas, tablones, vigas, viguetas
	Orgánicos aglomerantes	Pegamentos	Engrudos, colas	
		Cementos bituminosos	Betún asfáltico	
	Orgánicos tabulares	Laminares	Madera técnica, chapada, contrachapada	Madera terciada, chapas, papel de lija
		Prensado, aglomerado	Papel, cartón	Cartón de techo
		Prensado, aglomerado, enchapado	Prensados de aserrín, de bagazo, de viruta	
		Elementos constructivos de carpintería	Puertas, ventanas	
Materiales metálicos	Metálicos simples	Laminados	Perfiles de acero, cabillas, polvos metálicos	Perfil I, cabillas corruga- das, polvo de aluminio, etcétera.
		Fundidos		
		Puzolánicos o granulares		
	Metal- mecánicos	Estampados		
		Conjuntivos	Articulaciones Uniones	Bisagras, charnolas Remaches, puntillas, tornillos
		Complejos	Cerrajerías	Cerraduras, fallevas, pestillos, rejas

(Tabla 4 cont.)

Génesis	Comportamiento y forma de actuación	Uso y forma de uso	Nombre genérico	Nombre específico
(Clases)	(Subclases)	(Grupos)	(Denominación)	(Ejemplos)
Materiales químico-industriales	Químico protectores	Pinturas	Pintura al oleo, barniz, laca	Pintura de vinil, barniz de muñeca
	Químico aglomerantes	Colas frías y adhesivos, masilla o pasta, mate- riales petroquímicos		
	Químico aglomerados	Plásticos		
	Químico auxiliares	Colorantes, reactivos de fraguado, reactivo para la madera, añadiduras		
Materiales compuestos	Pétreos orgánicos	Yeso, fibra, hormigón de aserrín, adobes		
	Pétreos metálicos	Hormigón armado, muebles esmaltados		
	Metaloquímicos	Material electrotécnico		
	Químico pétreos	Hormigones plásticos		
	Organoquímicos	Madera plastificada		

Las condiciones en que la minería tiene que desarrollarse a veces son mucho más difíciles que en la construcción convencional, y por lo tanto, requieren una mayor exigencia en la selección de los materiales que se van a emplear. Al mismo tiempo, el conocimiento de las propiedades, naturaleza, obtención y utilización de los materiales, nos permite el uso más racional de los mismos, y considerar su valor no solo técnico, sino también económico, lo que conlleva el ahorro de recursos. En otras ocasiones, la mina que se va a construir se halla en lugares apartados, lo que nos obliga a la sustitución de gran parte de los materiales necesarios por productos locales que nos garanticen la construcción y nos ahorren transporte.

CAPÍTULO 2

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE NATURALEZA PÉTREA

2.1 Cuestiones generales

Los materiales de esta clase (o las materias que los constituyen) provienen de la trituración natural o artificial de las rocas existentes en la naturaleza o similares, presentando todos al final de su uso en la construcción un aspecto pétreo.

Los materiales pétreos se dividen, a su vez, en tres subclases, atendiendo no solo a su origen, sino a su composición y comportamiento:

Materiales pétreos inertes o volúmicos.

Materiales pétreos aglomerantes.

Materiales pétreos amasados.

Los materiales pétreos inertes o volúmicos comprenden; tanto los materiales de construcción obtenidos directamente de las rocas de la corteza terrestre y que solo varían en su forma y tamaño, como los que sufren una transformación previa, pero mantienen un aspecto pétreo.

Todos ellos intervienen en la construcción y constituyen la porción que da volumen a los elementos que componen la obra. Por ejemplo: gravas, ladrillos, adoquines, etcétera.

Los materiales pétreos aglomerantes son aquellos materiales de construcción que con transformación previa de carácter físico-químico, o sin ella, se presentan en forma de polvo y mezclados con un líquido (generalmente agua) se petrifican (se endurecen), sirviendo para unir entre sí a otros materiales, generalmente los de la primera subclase, es decir, los inertes o volúmicos. Entre ellos están: cales, yesos, cementos, y otros.

Los materiales pétreos amasados son aquellos constituidos por un material petrificante (agua generalmente) y uno o varios tipos de materiales inertes o volúmicos, convenientemente mezclados. Ejemplos de dichos materiales son: hormigones, bloques, mosaicos, baldosas, etcétera.

Para poder estudiar mejor estos materiales, es necesario conocer las fuentes de donde provienen, es decir, estudiar la composición de las rocas de la corteza terrestre. En primer término es necesario señalar que no todas sirven como materia-

les de construcción, sino solamente aquellos que reúnen determinadas cualidades expresadas por sus propiedades físicas.

Para el estudio minucioso de las rocas es necesario tener nociones de geología general, petrografía y mineralogía, por lo que el estudiante debe profundizar sus conocimientos en esas asignaturas.

Como solo pretendemos basarnos en los conocimientos adquiridos en distintas disciplinas, haremos una breve descripción de las rocas y sus orígenes.

2.2 Rocas magmáticas, sedimentarias y metamórficas

Las rocas de la corteza terrestre, en su gran mayoría, están formadas por la asociación de partículas de minerales. Son pocas las rocas que tanto a simple vista como cuando se observan con lupas o microscopios, no presentan esta asociación de cristales o partículas de diversidades de rocas de carácter monomineral, aunque algunas de ellas tienen importancia como fuente de materiales de construcción; tal es el caso de las calizas y el yeso.

Por eso, en primer término, se debe conocer qué entendemos por *mineral*.

Como mineral, desde el punto de vista geológico, se define a un cuerpo homogéneo formado en la corteza terrestre, como consecuencia de los procesos físicos y químicos que se producen en ella. Toda la corteza terrestre consta de minerales, los cuales forman masas continuas llamadas *rocas* o constituyen aglomeraciones locales de diferentes proporciones: filones, nidos e intercalaciones en las rocas. A estos últimos en minería se les denomina también minerales, que cuando contienen metales, se llaman menas. Así se forman los llamados yacimientos de menas, grafito, micas, asbesto y otros minerales. La distribución de los minerales en la corteza terrestre obedece a leyes relacionadas con los procesos de su formación. Todos los procesos de formación de los minerales pueden dividirse en tres grupos fundamentales: *magmáticos*, *sedimentarios* y *metamórficos*. Examinaremos muy brevemente cada uno de dichos tipos de formación.

2.2.1 ROCAS MAGMÁTICAS

La mayor parte de los minerales de la corteza terrestre se forman a partir del enfriamiento del *magma*, que es la masa líquida ígnea que se encuentra a gran profundidad y en muchos casos sale a la superficie durante las erupciones volcánicas. En el transcurso de tales erupciones relativamente se forman pocos minerales, pues al llegar a la superficie de la tierra, el magma pierde una parte considerable de los gases y vapores que contiene (que desempeñan un papel importante en los procesos de formación de minerales) constituyendo las llamadas *rocas efusivas* y se solidifica con rapidez.

Así se forman rocas ligeras y muy porosas como la piedra pómez, las cuales tienen como propiedades el poco peso y cierta resistencia que las hace aptas para la

construcción. Una cantidad incomparablemente mayor de minerales se forma a partir del magma en el proceso de enfriamiento lento en las entrañas de la tierra. En dicho proceso se constituyen las rocas *intrusivas* o *de profundidad*.

Cuando las temperaturas son altas toda esta mezcla compleja se encuentra en equilibrio, bajo la presión colosal de las capas de la corteza terrestre sólida. Ahora bien, en ocasiones, los movimientos orogénicos (de formación de montañas) se extienden a determinadas zonas del globo terrestre. Las capas de la corteza comienzan a arrugarse, a formar pliegues, a dividirse en enormes bloques. Se forman quebradas, grietas, y a veces, cavidades. A simple vista el magma parece como si fuera exprimido en las capas terrestres más profundas y corre por estas cavidades para salir a la superficie. En la medida en que se aproxima a la superficie disminuyen la temperatura y la presión, se altera el equilibrio de las sustancias integrantes del magma y comienza la separación y cristalización de los minerales.

En este proceso, ciertos minerales se segregan casi simultáneamente, formando las *rocas eruptivas*. Así, en el lento proceso de enfriamiento, el foco principal del magma se transforma en enormes masas de rocas eruptivas (principalmente el *granito*), separándose al mismo tiempo las expulsiones calientes del magma (los llamados *residuales*) ricos en sílice, sodio, potasio, aluminio, etcétera. Ellos suelen enfriarse en forma de filones denominados *pegmatitas*, que tienen inclusiones de feldespato, cuarzo, mica clara y mica oscura.

Con la formación de los filones no se terminan los procesos magmáticos; los vapores de agua que emanan del foco en proceso de enfriamiento se transforman en soluciones acuosas, las cuales al subir por grietas y fisuras, se alejan mucho del foco originario. Dichas soluciones forman yacimientos de origen hidrotermal, representados en filones cuarzosos. Las rocas eruptivas se subdividen, según el contenido de sílice, en cuatro grupos:

Rocas ácidas-granitoides —	> 65 % de sílice.
Rocas intermedias, dioritas —	65 a 55 % de sílice.
Rocas básicas —	55 a 40 % de sílice.
Rocas ultrabásicas —	< 40 % de sílice.

Las rocas ácidas suelen tener una coloración clara de tonos rosados o grisáceos; las intermedias, gris oscuro; las básicas y ultrabásicas, desde oscuro hasta negro verdusco.

2.2.2 ROCAS SEDIMENTARIAS

Toda la roca formada en los procesos anteriores es sometida a un proceso de *energía* y *simultánea* destrucción química y mecánica. El conjunto de todos los procesos naturales de destrucción de los minerales y las rocas se denomina *meteorización*.

Los cambios bruscos de temperatura, el efecto del viento, del agua que se hiela en las grietas de las rocas, de las raíces de las plantas que penetran en ellas, etc.,

contribuyen a la destrucción de las moles de piedra y forma pequeños fragmentos que se van convirtiendo después en guijarros y arena.

Son raros los casos en los cuales los productos de la meteorización quedan en su lugar de origen; la mayor parte de ellos es arrastrada por el viento y los torrentes, ríos y riachuelos de montaña, que los llevan constantemente, tanto en estado sólido como disueltos en el agua, hacia los mares y otras cuencas. En el fondo de estas se depositan potentes estratos de sedimentaciones friables: arenas, arcillas, etcétera. Al mismo tiempo se produce la acumulación de restos de organismos vivos de los mares.

Como consecuencia de muchos milenios, se han ido formando gruesas capas de calizas, creta, margas, diatomitas y tripolis. Así, de esta manera tan resumida, ocurre el segundo tipo de formación de los minerales y las rocas de tipo *sedimentarias*.

2.2.3 ROCAS METAMÓRFICAS

Los productos de origen sedimentario, al igual que los magmáticos, tampoco se encuentran en estado de inmutabilidad eterna. A causa de los movimientos de la corteza terrestre pueden verse una y otra vez, en nuevas condiciones, bajar a mayor profundidad y someterse al efecto de altas temperaturas y presiones.

En tales condiciones comienzan nuevas reacciones químicas y surgen nuevos procesos de formación de los minerales, lo que a su vez produce la aparición de nuevos minerales. De este modo, en profundidades considerables, las calizas se transforman en mármoles; las arcillas en pizarras o esquistos duros arcillosos y de otros tipos, y las areniscas friables en compactas cuarcitas. Las rocas magmáticas, al verse en condiciones nuevas pueden también transformarse en rocas de otra estructura y composición mineral (como los gneis, que surgen de los granitos); todas las rocas modificadas se denominan *metamórficas*.

2.2.4 ROCAS CON CUALIDADES PARA CONSTITUIR MATERIALES PÉTREOS DE CONSTRUCCIÓN

Muchas rocas, ya sea en su estado natural o elaboradas en mayor o menor grado, se utilizan como materiales pétreos de construcción o como materia prima para la elaboración de los mismos. Para que las rocas puedan usarse como materiales de construcción deben satisfacer determinadas condiciones, como son: formar un yacimiento, es decir, una concentración de dimensiones lo suficientemente grande como para ser explotadas con rentabilidad, tener condiciones hidrogeológicas buenas (lo que significa que no deben contener aguas subterráneas); al mismo tiempo, la roca debe satisfacer los requerimientos necesarios en cuanto a sus propiedades físicas (resistencia a la compresión, al cortante, durabilidad ante los agentes atmosféricos, etcétera).

Como materiales de construcción se pueden utilizar diversas rocas magmáticas, sedimentarias y metamórficas; unas como elementos de construcción muy toscos, como las piedras, otros en forma geométrica, como las placas de piedra para revestimiento de edificios, etcétera. Como rocas más utilizadas en construcción tenemos, entre las magmáticas:

Los granitos. Son rocas eruptivas de gran profundidad (llamadas también plutónicas) formadas en su mayor proporción por cuarzo, feldespato y mica, y como minerales accesorios: magnetita, zirconio, granates, pirita y calcopirita. Presenta colores muy diferentes, desde el blanco hasta el blanco-grisáceo, el verde o el rosáceo.

Los yacimientos de granito tienen forma de grandes masas de rocas (batolitos) y se encuentran localizados también en forma de nidos y filones.

Los granitos micáceos se alteran fácilmente por la humedad y el anhídrido carbónico del aire, que ataca al feldespato y a la mica, disgregándolos. Esto se evita mediante el pulimento. No obstante, es una roca de gran duración, como se puede comprobar en los monumentos egipcios y romanos.

El granito tiene las siguientes características técnicas: densidad 2,6-3; peso volumétrico 2,6-2,7; absorción de agua 0,1-0,7 % en peso; resistencia a la compresión 800 a 2 700 kg/cm²; a la tracción 30 kg/cm²; al cortante 80 kg/cm² y al desgaste por frotamiento de 4 a 7 cm³.

Se emplea en toda clase de obras por su gran resistencia, belleza y durabilidad; admite bien el pulimento, pero no puede ser labrado con facilidad. Aunque no es refractario, resiste altas temperaturas. Se utiliza en pavimentación por su duración y adherencia en forma de adoquines y losas. En Cuba, el granito casi no aparece, siendo una roca poco abundante.

Sienita. Esta roca se diferencia del granito por la falta de cuarzo; está constituida por minerales llamados ortosa y feldespatos plagioclasas, como elementos de colores claros, y hornablenda, biotita y augita, de colores oscuros. Su coloración general depende del estado de conservación y relación entre los elementos que la integran, siendo generalmente gris, verde o rojiza. Se presenta en la misma forma que el granito, al que acompaña; tienen análogas características térmicas.

Su nombre lo toma de Siena (Egipto), donde fue utilizada como piedra de construcción en arquitectura por su bello pulimento. No es muy abundante y se utiliza en decoración.

Diorita. Esta roca es parecida al granito y a la sienita; tiene propiedades análogas y está formada por plagioclasas, hornablenda y augita. Suele tener coloraciones verde-oscuros por el predominio de la hornablenda. Carece de ortosa y algunas variedades contienen cuarzo. Por su excelente pulimento se puede emplear en ornamentación y talla; por su dureza, en pavimentación y como balasto.

Andesitas y porfiritas. Son rocas efusivas, neovolcánicas, parecidas a las dioritas. Son compactas, a veces porosas, con estructura fírfica en ocasiones. Las

variedades dependen de la combinación entre los minerales componentes. Así tenemos:

Andesitas biotíticas.

Andesitas anfibólicas.

Andesitas piroxénicas.

Cuando el cuarzo entra en la composición, la roca se llama dacita.

Sus características físicas son: color café, rosáceo o negro; densidad 2,4 a 2,86; resistencia a la compresión hasta 2 500 kg/cm². La resistencia a los agentes atmosféricos es variable. La dureza está entre 5,5 y 6.

Las andesitas se utilizan, junto a las porfiritas, como piedras para la pavimentación, se utilizan, además, como piedras de ornamentación. Como yacimiento se presentan en forma de lavas volcánicas (pinzas o corrientes petrificadas, cúpulas, filones o columnas).

Gabro. Es una roca de granos muy gruesos, constituida por plagioclasa y diálaga. Carece de cuarzo y le acompañan minerales accesorios como: apatita, espinela, magnetita, olivino, etc. A causa de la diálaga y el olivino, es muy dura y de color verde oscuro. Admite buen pulimento.

Peridoto. Está constituido por olivino, piroxeno y anfíbol; carece de cuarzo y feldespato, por lo que presenta color oscuro y mucha dureza. Se alteran fácilmente, dando como resultado el amianto y la serpentina.

Serpentina. Esta roca, muy abundante en nuestra isla, es un silicato magnésico hidratado ($\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot n \text{H}_2\text{O}$); de dureza 3-4 y densidad 2,5-2,7. Por su estructura se clasifica en: crisotilo, fibrosa y antigorita. Del crisotilo existen las siguientes variedades: serpentinas nobles de coloración verde vivo, verde manzana, amarillo-azufre, de apariencia compacta y homogénea; serpentina común, compacta y de todas las coloraciones. Estas rocas se pueden torner y tallar fácilmente, endureciéndose después. No resisten los agentes atmosféricos, por lo que se usan en interiores como ornamento por su bello pulimento.

En nuestro país constituye la roca de caja o roca madre de las lateritas níquelíferas.

Como rocas filoneas, tenemos el pórfido granítico, el sienítico, las dioríticas, las aplitas y las pegmatitas.

Entre las rocas volcánicas tenemos el pórfido cuarzoso, las riolitas, la traquita, la diabasa y el basalto.

Esta última es una roca constituida por plagioclasas, augita, olivino y magnetita en forma de fenocristales, sobre una pasta vítrea. Generalmente son de color oscuro, compactos, duros, siendo la roca que da los mayores valores de resistencia a la compresión.

Al salir a la corteza forman corrientes y mantos de gran extensión; son características la agrupación de prismas o columnas hexagonales perpendiculares al manto, pudiéndose extraer fácilmente para adoquines y balasto.

Como rocas sedimentarias

La caliza. Es la roca más usada en nuestro país como material de construcción. Es una roca generalmente de precipitación u organogénica, muy rica en carbonato de calcio, que se utiliza en función de sus propiedades para fabricar además cemento y cal. Algunas tienen muy buena coloración (depende de sus impurezas en óxidos metálicos y otros compuestos) y toman un bello pulimento, lo que permite que sea utilizada para revestimiento de exteriores o como piedra labrada. La estudiaremos más profundamente cuando tratemos la obtención de la cal.

La creta. Es una roca monomineral constituida por sulfato de calcio hidratado, de color blanco. Posteriormente será estudiada, pues sirve para la obtención de yeso.

En nuestro país, son notables los yacimientos de creta en Punta Alegre, Ciego de Ávila, por su extensión y el de Baitiquirí, en Guantánamo, por su alto grado de pureza.

Dolomita. Es una roca formada por carbonato de calcio y magnésico, de color gris blanco, o amarillento si contiene hierro. Su estructura es compacta o cavernosa; es una excelente piedra de construcción. Se emplea en revestimiento y en esculturas; le atacan la humedad y las atmósferas ácidas, por lo que no dan buen resultado en las grandes ciudades y en el mar.

Se distingue de la caliza porque el ácido clorhídrico diluido no produce efervescencia en frío, pero sí en caliente. Tiene las siguientes propiedades técnicas:

densidad 2,1-2,95; peso volúmico 2,85-2,95; absorción de agua 0,3-0,8 % en peso; resistencia a la compresión 500-1 200 kg/cm²; desgaste al rozamiento 7-10 cm³ y al chorro de arena 30-40 cm³.

Rocas arcillosas. Constituyen rocas de naturaleza terrígena como resultado de la desagregación físico-química de algunos tipos de minerales componentes de rocas magmáticas, sedimentarias y metamórficas, compuestas principalmente de feldespato, mica, caliza, etc. Sus propiedades son fundamentalmente el estar formadas por granos extraordinariamente pequeños, ser portadoras de agua y mantener un estado de impermeabilidad más o menos alto. Según el grado de pureza pueden poseer la propiedad de petrificarse al ser sometidas a altas temperaturas, convirtiéndose en materiales cerámicos. Las arcillas se clasifican según una gran gama de criterios establecidos por diversos autores.

Esencialmente, el alto grado de impermeabilidad que poseen las hace buenas como materias primas constructivas en ejecución de terraplenes, diques de tierra, presas, etcétera.

Cuando su estado es muy puro y no contiene impurezas (con excepción del bióxido de silicio) se convierte en materia prima para los materiales de construcción de composición cerámica.

Rocas orgánicas. Constituyen rocas de naturaleza terrígena, al igual que las arcillas, denominados suelos por la agricultura. Son materiales detríticos com-

puestos por una parte inorgánica producto de la desagregación de diversas rocas y su mezcla con materiales remanentes de la actividad biológica, por lo tanto, contienen humus y otras sustancias de composición orgánica. Constituyen un medio idóneo para el crecimiento de las plantas. Se utilizan en masas como material de construcción, para la protección contra la erosión, con vistas a la siembra de hierba u otras plantas, para el recubrimiento de taludes de caminos, presas u otras construcciones. Se usan, además, en terrenos o zonas de contaminación o denudadas, para la rehabilitación del terreno.

Como rocas metamórficas

Gneis. Tiene la misma composición química que el granito; presenta una estructura hojosa y pizarrosa y su grano puede ser grueso, medio o fino. Según la coloración de la mica que contiene, se presenta en colores oscuros (gneis biotítico) o más claro (gneis moscovítico) o blanco; también, según el mineral accesorio que predomine, se conocen las variedades de gneis hornabléndico, piroxénico, etcétera.

Es una roca formada a partir de la transformación del granito y sus propiedades son muy similares a este. Su resistencia a la compresión varía entre 1 500 y 2 300 kg/cm². Se emplea en pavimentación, en forma de lajas o adoquines; es áspera y se trabaja con facilidad.

Pizarras. Estas rocas se forman de la metamorfosis de las rocas arcillosas; existen muchas variedades. La piedra de tejar es una roca sedimentaria arcillosa ligeramente metamorfoseada, compuesta de arcilla, cuarzo, mica, feldespato, calcita, etc.; de estructura laminar muy compacta y de coloraciones diversas que van desde el más común, el gris, hasta el verde, el azul o el negro. No es una roca dura y se puede clavar en ella. Su densidad es de 2 a 3,5. La resistencia a la flexión es alta: 300-400 kg/cm², y la compresión es media: 600-900 kg/cm². Se emplean para techar, para lo cual no deben presentar impurezas como la pirita y otros materiales alterables que la disgregan. Se utilizan además para pizarrones en aulas, pavimentación, piedras de afilar y otros.

Cuarcitas. Se producen por un mayor o un menor metamorfismo de las areniscas (arenas consolidadas). Se componen de granos de cuarzo y minerales accesorios como la mica, la turmalina, los granates, etc. Sus colores son variables, dependiendo de las impurezas. Se emplean como grava y balasto.

Mármoles. Son calizas metamórficas compuestas por calcita cristalizada, y algunas veces, minerales accesorios como la mica, la pirita, la serpentinita, el grafito, etcétera, tomando muy diversas coloraciones.

Hay mármoles monocromos, policromos, veteados, con incrustaciones que si son angulosas y de pequeño tamaño, el mármol recibe la denominación de *brocatel*. También los hay *arborescentes* y las llamadas *lumaquelas*, que son los mármoles conocidos bajo el nombre más genérico de fosilíferos; es decir, aquellos que contienen restos orgánicos de animales, como son las conchas y caracoles. Los mármoles

tienen muy bellos colores, adquieren un gran brillo y resisten muy bien los agentes atmosféricos.

Sus propiedades técnicas son: dureza 3; densidad 2-2,8; peso volúmico 2,6-2,8; absorción 0,1-0,5 % en peso; resistencia a la compresión 400-2 800 kg/cm²; desgaste al rozamiento 20-40 cm³ y por chorro de arena 5-10 cm³.

En nuestro país hay una alta y diversa producción de mármoles. Entre las zonas productoras se distinguen: Isla de la Juventud, la zona central y la provincia Granma, teniendo perspectivas la provincia de Guantánamo. Tenemos mármoles de color blanco, estatuarios y arquitectónicos, de color rosa claro, gris rosáceo, verdes, negro y negro con incrustaciones piritosas.

2.3 Materiales pétreos inertes o volúmicos

2.3.1 DEFINICIÓN

Se denominan materiales de construcción pétreos, inertes o volúmicos aquellos materiales que tienen un aspecto pétreo y participan en la construcción, ayudando a constituir con su volumen y su forma, las distintas partes de que se compone esta, siendo inertes desde el punto de vista de que los mismos de por sí no se unen con otros materiales mediante procesos físicos o físico-químicos.

Los materiales inertes o volúmicos generalmente desempeñan el rol de portadores o transmisores de las cargas o fuerzas a que están sometidas las construcciones, pero algunos de ellos cumplen determinadas funciones en las cuales no son portadoras. Los materiales inertes o volúmicos se dividen en cuatro grupos: los terrígenos, los áridos, los labrados y los elaborados.

2.3.2 TERRÍGENOS

Están formados por una gran gama de rocas detríticas, que van desde las margas, los loes y los suelos arcillosos, hasta los suelos vegetales. Sus propiedades son muy variables y generalmente se extraen localmente para su empleo en obras de tierra, como terraplenes, rellenos, muros de tierra, cortinas, revestimientos de taludes, etc. Tales materiales, por la razón de obtenerse directamente por los ejecutantes de las obras y muchas veces por poseer poco valor, no han sido considerados por muchos autores, aunque de hecho, son materiales de construcción.

2.3.3 ÁRIDOS

Conocemos bajo el nombre de árido el material de construcción constituido por partículas de piedras, que pueden tener diversas dimensiones y formas y poseer propiedades variables, de acuerdo con el uso a que se le destine.

Los áridos se utilizan en la construcción, fundamentalmente como materia constructiva, para la formación de materiales denominados morteros y hormigones, los cuales serán estudiados más adelante y que se usan, a su vez, como materiales constructivos.

Los áridos, además, pueden emplearse como materiales constructivos en obras de tierra y como relleno. Los áridos, según su procedencia, pueden ser naturales o artificiales; los áridos naturales provienen de las rocas de la corteza terrestre y los artificiales se obtienen granulando las escorias de los hornos metalúrgicos.

Para determinar si una roca es buena para la obtención de áridos naturales es necesario conocer los datos que definen la clase de material que nos hace falta para construir. Para poder analizar si las rocas halladas cumplen las condiciones necesarias es imprescindible conocer sus características y propiedades, que generalmente son: resistencia, forma, tamaño, granulometría, homogeneidad, pureza o estado de limpieza, etc., en otros casos la densidad desempeña un papel importante.

En términos generales, cualquier roca convenientemente triturada (natural o artificialmente) puede producir áridos naturales más o menos duros, más o menos densos y más o menos gruesos. Unos serán buenos, otros regulares, otros aceptables, según sean las propiedades básicas de las rocas originarias. Esto quiere decir que los áridos naturales pueden provenir, tanto de rocas magmáticas como metamórficas o sedimentarias.

Entre estas últimas, las rocas que sirven como fuente para los áridos son muy variadas. Las hay duras y muy duras, otras son blandas, las hay densas y otras muy ligeras, las hay muy compactas y las hay también porosas; por ello suministran materiales en una gama bastante amplia.

Las rocas sedimentarias pueden presentarse en dos formas: consolidadas o no consolidadas; estas últimas determinan un tipo de árido que se obtiene fragmentado y solo necesita clasificarse, y algunas veces, lavarse. Se presenta en yacimientos en las márgenes de ríos y arroyos, o en las playas (el caso de la arena); comúnmente están constituidos por granos o partículas redondeadas, producto de su transportación. Estos yacimientos se llaman generalmente placeres, pero en el caso concreto de los áridos se les denomina *arenas* cuando constituyen concentraciones y por lo tanto fuentes de arena para la construcción, o *graveras* cuando nos suministran piedras de varios tamaños.

El árido así obtenido se denomina *árido directo*, mientras que el que se obtiene de las rocas arrancadas con explosivos en canteras y luego trituradas y clasificadas en plantas de molienda y clasificación se llama *árido indirecto*.

Estos áridos se obtienen de las rocas sedimentarias consolidadas (como las calizas) y del resto de las metamórficas y magmáticas.

En cuanto a la decisión de utilizar una roca como árido, se han de tomar en consideración esencialmente, las propiedades de resistencia mecánica que la misma posea, pero hay que analizar también que muchas rocas son susceptibles de experimentar cambios químicos, algunos de los cuales es posible que resulten beneficiosos, pero la mayoría de ellos suelen ser, por el contrario, casi siempre perjudiciales.

Tal inestabilidad química puede afectar a la naturaleza, no solo de los propios áridos, sino en caso de que se utilicen para elaborar morteros u hormigones, a la del

cemento que vaya a emplearse, ya sea impidiendo su traguado o su endurecimiento, o provocando incluso su total descomposición, llegando a transformarlo en una papilla fluente.

Las reacciones químicas de inestabilidad más frecuente que hay que tener en cuenta en el empleo de algunos áridos, son las siguientes:

La reacción de ciertos áridos silíceos con los álcalis del cemento produce como último resultado, nuevas sustancias cuya dilatación o expansión provoca la destrucción del mortero u hormigón.

Por lo general esto ocurre con áridos provenientes de rocas ácidas, entre ellos: ciertas cuarcitas inestables, los ópalos (sílice hidratada amorfa), la sílice de opalina que puede estar presente en forma de incrustaciones, en el recubrimiento o en el relleno de diacclas, las calcedonias, el sílex o pedernal, y entre las rocas volcánicas, las kiolitas, las traquitas, las fonolitas, etcétera.

Como criterio seguro para no errar en la selección de una roca como árido de gamitura,³ es recomendable averiguar la relación existente entre su concentración de sílice disuelta S_c y la reducción de los iones hidróxilos valorables R_c .

Cuando esta relación $\frac{S_c}{R_c}$, expresadas ambas cantidades en milimoles por litro, es mayor que la unidad ($\frac{S_c}{R_c} > 1$) se considera casi siempre que los áridos en

cuestión son perjudiciales. Es conveniente emplear las excepciones que tiene esta regla comprobando antes su calidad, en forma experimental, con los áridos y el cemento que se va a utilizar.

Los efectos, más o menos perniciosos, pueden ser corregidos en algunos casos y evitarse con el empleo conjunto de otro tipo de árido o sustancia aditiva como correctores (puzolanas); para ello hay que tener un perfecto conocimiento químico de las propiedades, tanto del árido como del cemento a utilizar.

Otra reacción más peligrosa aun es la que producen ciertos sulfuros (piritas, marcasitas, pirotinas) presentes en muchas rocas (principalmente en muchas rocas de caja en las minas), como productos secundarios a su formación; estos minerales se oxidan con gran facilidad, a menudo, por el simple contacto con los agentes atmosféricos, y se convierten en sulfatos altamente agresivos para el hormigón, por lo que el empleo de áridos que contengan directamente esta clase de sustancias no es recomendable.

Por último, algunos áridos, especialmente arenas de río, contienen elevado porcentaje de materia orgánica (en los ríos cubanos era frecuente la aparición de azúcar en las arenas, producto de la práctica incorrecta de evacuar el mosto o residuo de la actividad de la industria azucarera hacia los ríos), que dificultan el endurecimiento del cemento, y por tanto, su utilización no debe decidirse sin antes averiguar la existencia y cuantía de tales contenidos.

³ En este texto hemos establecido tal denominación para el árido que se utiliza como componente de los morteros y hormigones. (Los autores.)

En las arenas de mar se hace necesario el lavado previo con agua dulce con vistas a eliminar el cloruro de sodio y otras sales perjudiciales para el cemento. Esto encarece el empleo de tales arenas como áridos.

Veamos ahora lo referente a los áridos artificiales. El empleo de escorias como materiales de construcción fue una solución al serio problema que se presentó en el desarrollo de la industria siderúrgica con la eliminación de este subproducto industrial.

Las escorias siderúrgicas (de alto horno) se pueden emplear no solo como árido artificial, sino también como materia prima para la industria del cemento, cuestión esta que estudiaremos en el capítulo correspondiente.

Ahora nos vamos a detener brevemente en el estudio de su utilización como árido.

Las escorias son productos secundarios de los altos hornos; están compuestas esencialmente por óxido de calcio (cal), óxido de aluminio (alúmina) y óxido de silicio (sílice), con cantidades variables de óxido de magnesio (magnesia) y pequeñas cantidades de azufre, álcalis, etc.; salen de los hornos en forma de lava volcánica al final de la colada, como resultado de que por su baja densidad "flotan" sobre la masa de metal licuado, lo que permite una mejor evacuación.

Esta masa obtenida, antes de solidificarse debe ser sometida a la acción de un chorro de agua fría, para de este modo darle la forma granulada final.

Cuando estos granulados presentan una composición química más o menos estable, pueden constituir áridos (tabla 5).

Tabla 5

DENOMINACIÓN DE LOS ÁRIDOS SEGÚN SU GRANULOSIDAD

Granulometría, mm			F o r m a	
de		hasta	esferoidal	esquinosa
	<	0,149	Loss	Polvo de piedra
0,149	a	4,76	Arenilla	Arena fina
4,76	a	6,35	Granzón fino	Arena gruesa
6,35	a	12,7	Casquijo	Gravilla
12,7	a	38,0	Guijarros	Piedra picada, de hormigón o grava
38,0	a	76,0	Guijos	Macadam
76,0	a	152,0	Cantos	Rajoncillo
152,0	a	300,0	Chinas	Rajón

En Alemania, las normas establecen que para ello la escoria debe contener más del 29 % de SiO_2 y menos del 45 % de CaO .

En Gran Bretaña, las normas son más precisas, debiendo estar entre los límites:

$$\text{CaO} + 0,8 \text{MgO} \leq 1,2 \text{SiO}_2 + 0,4 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1,75 \text{S}$$

y

$$\text{CaO} \leq 0,9 \text{SiO}_2 + 0,6 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1,75 \text{S}$$

En general, las escorias con un contenido en óxido de calcio (cal) de 42-43 % son rechazadas por su inestabilidad.

Cuando se realiza su factura reciente las escorias estables presentan un color violeta liláceo uniforme y en algunos casos rojizo.⁴

2.3.4 PÉTREOS LABRADOS

Los materiales pétreos labrados reciben, junto con otros materiales, el nombre genérico de *piedras de construcción*.

Las piedras de construcción pueden tener dos funciones constructivas: portantes u ornamentales. Las portantes se usan como integrantes de los elementos de la construcción sometidos a cargas, mientras que las ornamentales (generalmente en forma de láminas delgadas) se emplean como revestimiento o enchape, para darle aspecto estético a los elementos de la construcción.

En esta clasificación, incluimos las piedras semilabradas y aquellas que aun cuando no lo están, se utilizan singularmente para formar un conjunto, muros y otros elementos de construcción, tanto con el empleo de materiales de unión, como con los morteros o sin ellos.

Entre los materiales de este grupo tenemos: sin gran elaboración previa, los mampuestos; con una cierta elaboración, las lajas, los sillarejos, los labrados, los adoquines, los sillares, las dovelas, los bloques de piedra, la loza, las láminas y otros.

Mampuestos. Son piedras de varios centímetros de diámetro, semejantes al rajoncillo, con algún desarrollo volumétrico de todas sus dimensiones, con las cuales se construyen muros de piedra, colocándolas unas junto a otras o uniéndolas con morteros en base de cal y cemento.

Lajas. Los cantos de roca de forma tubular, con contornos irregulares, reciben el nombre de lajas; provienen de calizas o pizarras estratificadas y metamorfoseadas, que al ser arrancadas de las canteras, se separan por sus planos de estratificación.

Las lajas sirven para el revestimiento rústico ornamental de muros, para pisos rústicos, veredas, y en algunos casos, se pueden emplear con mortero o sin él, para la construcción de muros (figs. 2.1 a y b).

⁴ Muchos de los párrafos anteriores fueron tomados parcial o totalmente del libro *Áridos en la construcción*, Editorial Científico Técnica, ICL, 1975, de varios autores españoles.

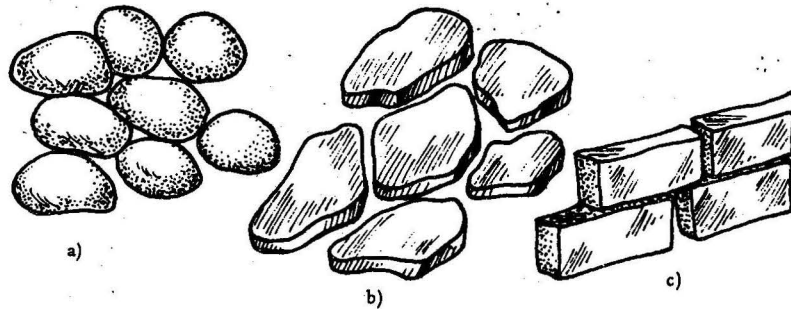


Fig. 2.1 Distintas piedras naturales de construcción: a) mampuestos; b) lajas; c) sillarejos

Sillarejos. Son rajones o mampuestos a los que se les trata de dar una forma de paralelepípedo; sus caras rugosas tienden a ser planas, pero no llegan a serlo. Se emplean para la construcción de muros de piedra, con morteros o sin ellos (fig. 2.1c).

Adoquines. Se les llama adoquines a las piedras labradas en forma de base cuadrada o rectangular, o simplemente en forma de un paralelepípedo ligeramente alargado, que se utilizan para cubrir los caminos, calles o avenidas (es decir, para pavimentación).

Para la pavimentación se emplean rocas duras, resistentes al frotamiento, como son los granitos y los basaltos. Los adoquines se colocan generalmente sin morteros de unión. Se pueden colocar en hileras o formando filigranas, que le dan una bella apariencia al empedrado (fig. 2.2a).

Sillares. Son elementos de piedra en forma de paralelepípedo con caras cortadas y pulidas; con los sillares se construyen muros de piedra, dándosele dimensiones iguales. Los sillares, junto a las dovelas y a las láminas para enchape constituyen los materiales labrados que poseen una mejor terminación.

Dovelas. Es una variedad de sillares cuyas caras convergen siguiendo los radios del arco o arquitrabe que ellos van a integrar. Tienen forma de cono truncado de base rectangular con sus caras acabadas (fig. 2.2b).

En cuanto a su naturaleza, las piedras de construcción, al igual que los áridos, es muy variada; generalmente se prefiere granito y calizas, pero donde abunden otros tipos de rocas que posean las condiciones de dureza, impermeabilidad, resistencia mecánica y a los agentes atmosféricos, y tengan facilidad para el labrado, se usarán preferiblemente las dovelas. Como ejemplo tenemos el caso de empleo de sienitas, algunos mármoles pórfidos y otros.

En algunos casos, y con carácter ornamental, se emplean jaspes, serpentin, alabastro, pórfidos y otros.

Una particularidad importante de estos elementos es la resistencia al frotamiento, la cual no debe ser muy alta, pues hace dificultoso el labrado. En el caso del empleo de morteros, las superficies de las piedras labradas deben ser ásperas.

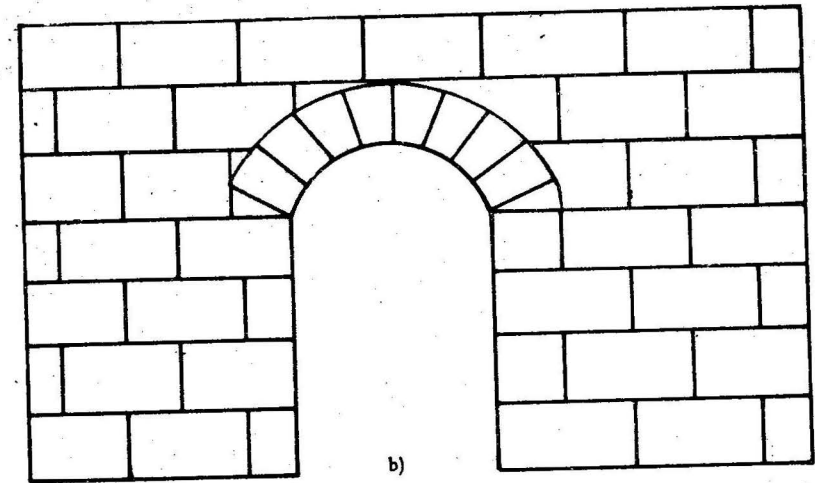


Fig. 2.2 Adoquines, sillares y dovelas: a) adoquines; b) muro de sillares y dovelas

El arte y el oficio de la obtención de las piedras de construcción se denomina cantería, que se define como el arte de extraer y trabajar las piedras de construcción hasta dejarlas listas para su empleo. Comprende las labores de obtención de los cantos, el desbaste, el aserrado, el moteado, el corte, la talla, y en algunos casos, el pulido. En la arquitectura, al moteado y al corte de las piedras de construcción se les denomina estereotomía.

Antes de desarrollarse el uso industrial del hormigón y del hormigón armado, así como de las fortificaciones metálicas, la piedra natural fue muy utilizada para las fortificaciones permanentes en la minería, en las excavaciones mineras maestras (como galerías maestras, pozos, etcétera).

En el presente, como consecuencia de que la piedra de construcción no permite, hasta ahora, la mecanización económica de su labrado, y sobre todo, de su colocación como fortificación, su empleo ha disminuido.

La piedra natural de construcción se utiliza solamente para construir muros secos de apoyo para contener rellenos en las minas meníferas. Se utiliza en forma de mampuestos no labrados, provenientes de las rocas de caja del yacimiento objeto de explotación, siempre que estas se correspondan desde el punto de su resistencia, y con la atmósfera de la mina y no pierda sus propiedades en el tiempo que dure la utilización de la labor o excavación minera que ella fortifica. Solamente en casos excepcionales, y en muy pequeñas cantidades, se lleva piedra de construcción desde la superficie hasta las minas subterráneas.

En las minas meníferas se utiliza la piedra natural de construcción para la fortificación de coladeros y chimeneas, así como para la construcción de pilares y caravanas de piedras en los frentes de arranque.

Con el futuro desarrollo de las técnicas de cantera para la obtención de bloques o cantos geométricos, ya sea con el empleo del hilo helicoidal, mediante el arranque por hidroexplosión, el uso de sierras circulares y máquinas pulidoras más duras, o con la introducción y el empleo de técnicas más avanzadas, este viejo oficio irá reapareciendo, pues en nuestra sociedad se desarrollan construcciones monumentales de carácter colectivo las cuales exigen el uso de la piedra labrada.

Para estos trabajos la piedra se laborará según las necesidades de la obra y puede o no utilizarse morteros para su unión.

La utilización de sillares y bloques de piedra en la minería está limitada solamente a la fortificación de aquellos espacios donde la presión minera puede evitarse solamente por este tipo de fortificación, pues, en general, su mano de obra en la colocación es costosa.

2.3.5 PÉTREOS INERTES ELABORADOS

En este grupo se encuentran ubicados aquellos materiales que, teniendo en su acabado una naturaleza pétrea y siendo las materias primas que le dan origen provenientes de la corteza terrestre, son productos de una profunda transformación físico-química producida por medio de la cocción. Algunos de sus materiales componentes (por ejemplo, los ladrillos de arcilla o de vidrio) constituyen para otros autores (Orus Asso entre ellos) junto a los bloques de hormigón y morteros las llamadas *piedras artificiales*, pues sustituyen a las naturales, labradas o no, en las funciones que estas desempeñan en la construcción de muros o tabiques. No obstante, nosotros consideramos estudiarlos bajo el subtítulo de materiales pétreos inertes elaborados, pues dentro de ellos aparecen materiales de construcción muy importantes, como los muebles sanitarios y los vidrios planos en sus diversos tipos, los cuales ya distan bastante de ser, a pesar de su naturaleza pétrea, piedras artificiales de construcción.

Para su estudio, los dividiremos también en *materiales cerámicos* y *materiales vítreos*.

Materiales cerámicos

Son productos que se obtienen por la mezcla de ciertas sustancias minerales en forma de polvo, a las cuales se les añade agua y forman una masa de gran plasticidad. Esta masa puede ser moldeada fácilmente como elementos de variadas configuraciones los cuales una vez secados, conservan la forma adquirida.

Por medio de cocción ulterior, estas piezas sufren un cambio en su estructura y adquieren sus propiedades físico-químicas y mecánicas características. Los productos cerámicos se dividen, según la calidad dada por su aspecto, en productos cerámicos con partitura porosa (ladrillos, tejas, etc.), y en productos cerámicos con partitura compacta (porcelana, tazas sanitarias, lavabos, etcétera).

Los materiales cerámicos están compuestos por las siguientes materias primas:

Componentes plásticos (caolín, arcilla, talco).

Materiales desgrasantes (cuarzo).

Materiales fundentes (feldespato, pegmatita, yeso).

Las materias primas constituyentes de los productos cerámicos, según su naturaleza mineralógica, pueden ser: arcillosas silíceas, aluminosas, calcáreas y feldespáticas.

Generalmente, las arcillas están conformadas como rocas detríticas sedimentarias por varios silicatos de aluminio hidratado que provienen de la descomposición de los feldespatos producto de la erosión.

Las arcillas muy puras son de color blanco y se denominan *caolín* ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Este cristaliza en el sistema monoclinico; tienen forma de tierra suelta, poco plástica, se deseca muy rápidamente después de amasado y se contrae muy poco.

Esta forma es poco común; en su mayoría, las arcillas son coloreadas a causa de la presencia de impurezas, como el cuarzo, el carbonato de calcio, los sulfatos sódicos, los óxidos de hierro, las sustancias orgánicas, etcétera.

Las arcillas que se emplean en cerámicas no pertenecen a un solo tipo de mineral arcilloso, sino están formadas por una asociación de ellos, los cuales presentan, de conjunto, las características deseadas. Una vez cocidas, adquieren propiedades refractarias, es decir, se las puede someter a temperaturas elevadas sin que sufran deformaciones.

Las materias que sirven como desgrasantes y fundentes más utilizadas son las inorgánicas de naturaleza silícea, entre ellas el anhídrido silíceo o tierra de infusorios, la arena silíce, las areniscas silíceas y la cuarcita. Entre las principales propiedades de las arcillas usadas en cerámica tenemos:⁵

⁵ En este capítulo fueron tomados algunos párrafos, así como las propiedades cerámicas de las arcillas del libro *Materiales de construcción* del profesor Félix Orus Asso. Edición Revolucionaria, La Habana, 1966.

Fluidez. La arcilla tiene la propiedad de mantenerse en suspensión en un medio acuoso durante mucho tiempo, depositándose lentamente en forma estratificada.

Plasticidad Es la propiedad de conservar la forma dada cuando la arcilla se encuentra en forma de pasta, con un contenido de agua entre 15-50 % en peso. Si se aumenta el agua, adquiere consistencia pegajosa y se hace muy difícil de laborar.

Contracción. Al secarse la arcilla, es decir, al perder la pasta el agua de amasado, disminuye su volumen, o sea, que para obtener piezas de dimensiones determinadas, hay que calcular el aumento del tamaño del molde, para que cuando se contraiga adquiera las medidas deseadas.

Dsecación. La dsecación debe realizarse lentamente por el hecho de que aproximadamente la cuarta parte del volumen de la pasta es agua. Las dsecaciones rápidas producen una rápida contracción y destruyen los enlaces moleculares, produciéndose grietas en el material, y si es muy brusca, propende a desmoronarse.

Cocción de las materias arcillosas

Durante el proceso de cocción de las sustancias arcillosas se produce un conjunto de transformaciones físico-químicas que varían su estructura química y cristalina, aumentando su resistencia mecánica.

La cocción consta de las siguientes transformaciones:

De 0°C a 400 °C. En este intervalo se producen la dsecación (eliminación del residuo de agua) y el quemado de las materias orgánicas (o sea, las impurezas que contenga). En esta etapa hay dilatación; no se producen cambios químicos ni estructurales.

De 400°C a 600 °C. En esta etapa se desprende el agua químicamente unida, descomponiéndose la arcilla en óxidos. Cesa la dilatación y comienza la contracción en volumen.

De 600°C a 900 °C. Se forma un metacaolín muy inestable que tiende a formar alúmina, muy higroscópico (es decir, absorbe mucha agua).

De 900°C a 1 000 °C. Durante este período reacciona la alúmina con la sílice agregada y se forma el silicato de aluminio ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) llamado en mineralogía sillimanita.

Más de 1 000 °C. La sillimanita tiende a transformarse en mullita, un mineral de gran dureza ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Fusión. La arcilla funde a 1 780 °C, la sillimanita a 1 880 °C y la mullita a 1 930 °C.

Clasificación cromática de las arcillas⁶

En resumen, atendiendo a su coloración después de cocidas, como resultado de la manifestación de una composición química las arcillas pueden clasificarse en:

Arcillas puras, ricas en alúmina, que dan productos refractarios de color blanco.

Arcillas ricas en alúminas y pobres en hierro, que adquieren por la cocción una coloración amarillenta o grisácea. Se emplean para fabricar lozas.

Arcillas pobres en alúmina y ricas en hierro. Por la cocción adquieren color rojo característico, y si se eleva aún más la temperatura, se vuelven violáceas y azules debido al hidróxido de hierro que se convierte en hierro hematítico, al perder el agua de hidratación. Estas son las arcillas más usadas en la construcción.

Arcillas pobres en alúmina, ricas en hierro y cal, que igualmente que las margas arcillosas dan una coloración roja a bajas temperaturas de fusión, y a altas temperaturas, rojo claro o blanco amarillento, a causa de la formación de silicatos calcáreos; si se funden toman color verde o negro.

Preparación de las pastas cerámicas

Las arcillas, que como ya sabemos, tienen la propiedad de formar con el agua una masa plástica que por medio de la cocción se vuelve dura, sólida e inalterable; producen dos clases de productos cerámicos: los permeables y los impermeables.

Los productos cerámicos permeables permiten el paso de los líquidos por sus poros. Cuando se parten presentan un aspecto terroso. A este producto pertenecen los ladrillos, las tejas, etcétera. Presentan color amarillo o rojizo.

Los productos cerámicos impermeables deben su propiedad al ablandamiento y vitrificación de las pastas durante la cocción a temperaturas elevadas.

Al romperse, presentan aristas vivas, a diferencia de las anteriores. Entre estos productos está la *pasta común* (arcillas permeables usadas para la fabricación de ladrillos, tejas, etcétera).

La chamota. Es un producto refractario, resistente a temperaturas hasta de 1 600 °C, se obtiene mediante una mezcla de arcillas ya cocida y pulverizada, arcilla plástica y arena silícea; se utiliza para el revestimiento de hornos industriales y de moldes para vaciar acero.

El gres. Con el que se hacen los tubos de barro esmaltados, baldosines, etc., ocupa una posición intermedia entre las pastas de arcillas comunes y las de caolín.

La porcelana. Es el más fino de todos los productos cerámicos; su masa es vitrificada, muy compacta, blanca y traslúcida, por lo general revestida con un es-

⁶ Esta clasificación fue tomada y resumida por nosotros de la obra citada anteriormente, y según Orus Asso, pertenece a Seger. (Los autores.)

malte fino, incoloro y transparente. La porcelana consta del caolín como elemento plástico, al cual se le agrega un desgrasante (cuarzo o sílice) para atenuar su plasticidad y un fundente que facilita la fusión y mezcla de los ingredientes, para lo cual se usan: feldespatos, fosfatos de cal (huesos calcinados) etcétera.

Para la preparación de las pastas, los materiales finamente pulverizados se amasan mecánicamente con agua, se trituran y se les elimina el exceso de esta mediante filtros-prensas o por desecación parcial. Los objetos se pueden obtener mediante prensado, vaciado, en moldes (en cuyo caso se usa la pasta fluida, la cual recibe el nombre de barbotina) o moldeándolos en tornos de alfarero.

La cocción se efectúa en una o varias etapas (especialmente en el caso del gres o la porcelana). Los objetos como ladrillos o tejas se exponen directamente en los hornos, mientras que los de cerámica fina, es necesario recubrir las piezas con recipientes de arcilla refractarios.

Los objetos o piezas se cuecen, obteniéndose lo que se denomina el bizcocho; a estos se les aplican (por aspersión o por sumersión) los esmaltes, y se hornean de nuevo para vitrificarlos. Los muebles sanitarios se moldean por colada de la barbotina, vaciando el producto en moldes de yeso a cuyas paredes interiores se adhiere. Las piezas que presentan huecos, se obtienen introduciéndoles núcleos, piezas macizas o creándoles las cavidades con aire comprimido.⁷

Diversos productos cerámicos para la construcción

El principal producto cerámico tradicionalmente usado en la construcción convencional es el ladrillo ordinario, el cual consiste en una pieza de forma geométrica (prisma recto de base rectangular) paralelepípeda, maciza, de arcilla cocida, la cual sirve para la construcción de muros, revestimiento de pisos exteriores, construcción de arcos y bóvedas. El ladrillo, por su gran uso y posibilidades de producción en regiones apartadas tiene gran importancia en la construcción, por lo que vamos a describir someramente algunas formas de producirlos.

Para la fabricación de ladrillos ordinarios sirve la arcilla común mezclada con arena sílice (si es que no la posee ya como impureza) para evitar que al contraerse por el secado se produzcan agrietamientos. El amasado se puede hacer manual o empleando máquinas llamadas *malaxadoras*, constituidas por un cilindro de eje vertical u horizontal, de un recipiente o artesa, dentro del cual gira un cilindro o eje provisto de cuchillas y paletas dispuestas en espiral que, además de dividir la masa, la empujan hacia afuera.

El molde se puede hacer también manual o a máquina y debe hacerse con una holgura de 1/10-1/7 mayor que las dimensiones del ladrillo a consecuencia de la contracción que ocurre en la mezcla. El moldeo manual se hace vertiendo la pasta en moldes de madera (fig. 2.3), los cuales se colocan sobre una superficie y sirven para la elaboración de muchos ladrillos, pues una vez llenos se retira para evitar la adherencia de la pasta al mismo, se humedece el molde si la arcilla es magra y se polvorea con arena, si es grasa.

⁷ Ver capítulo Piedras artificiales, del libro *Materiales de construcción*, ya citado.

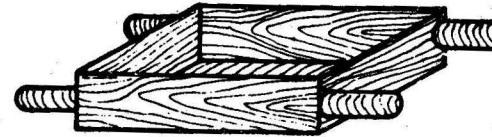


Fig. 2.3 Molde de madera para fabricación manual de ladrillos

En las máquinas se moldea continuo saliendo una serpentina que tiene la forma de un ladrillo transversal o longitudinal, y en la medida en que sale sobre una banda transportadora, es cortada por una guillotina de alambres, formándose los ladrillos moldeados.

Existe el moldeo con máquinas que impulsan la pasta con un helicoides, obligando a la masa a salir por una rejilla que tiene la forma transversal de los ladrillos llamados huecos, produciéndose después el corte longitudinal de los mismos.

Los ladrillos ordinarios pueden cocerse en el clásico *horno criollo*, semejante en su funcionamiento a los hornos de fabricar carbón vegetal. Este tipo de horno está constituido por una estructura de ladrillos en forma de pirámide de base cuadrada o rectangular; su altura no sobrepasa los 6,5 metros y llegan a alcanzar una capacidad de hasta 100 000 ladrillos. Los ladrillos se colocan de canto, en filas paralelas; en las tres capas iniciales se dejan espacios libres (el ancho de un ladrillo) entre ellos, con vistas a que circule el aire y en el centro se va construyendo una chimenea al quedar un espacio libre, en la cual se introduce el hogar. El resto de las hiladas se realiza colocando los ladrillos a continuación, de canto y cara a cara. Los lados de la pirámide se recubren con tierra y se enciende el horno. La cocción dura aproximadamente 15 días, después se apaga el horno y se deja enfriar. En este tipo de horno los ladrillos no se cuecen uniformemente; se vitrifican los cercanos al fuego y quedan medio crudos los más lejanos.

Existen muchos tipos de hornos de alfarería. Nos detendremos a explicar brevemente el horno tipo Hoffmann y el horno de túnel porque en el caso del ladrillo puede ocurrir que tengamos que fabricarlo alguna vez en regiones apartadas.

El horno Hoffmann moderno (ovalado) está formado por una galería cerrada de unos 80 a 100 m de longitud. En esa galería son apilados los ladrillos, de canto; por entre las cámaras pasa aire caliente en forma circular y los ladrillos, ya secos, se cuecen en la zona (cámara) donde se mantiene el hogar. El aire caliente producido se mueve dentro de la galería circular que une las cámaras, realizando el precalentamiento paulatino (deseccación) de las camadas de ladrillo que han sido colocadas en el horno, hasta llegar a la última cámara de donde fueron extraídos los ladrillos ya cocidos y enfriados. En esa cámara se introduce una nueva camada de ladrillos crudos, separándose esa cámara de la siguiente por medio de un tabique de papel o cartón, al cual se le abre el canal correspondiente hacia el interior del horno donde se encuentra la chimenea.

Los ladrillos que estaban en cocción, una vez apagado el hogar pasan al enfriamiento al entrar aire fresco desde el canal exterior y el hogar es rotado a la cámara inmediata para cocer los ladrillos más secos, mientras los de la cámara más fría se extraen, y así sucesivamente el horno funciona en forma continua (fig. 2.4).

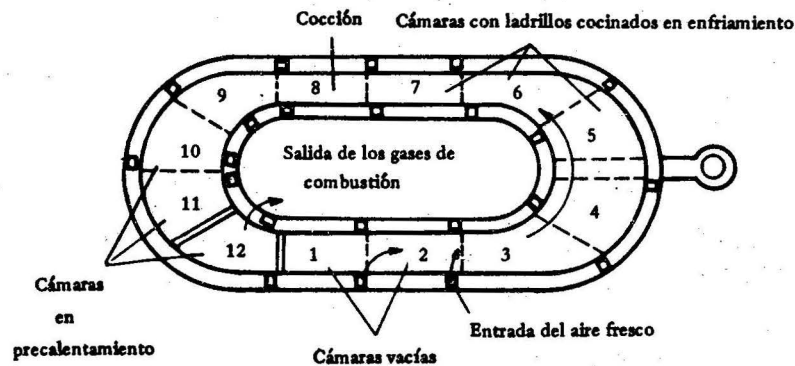


Fig. 2.4 Horno Hoffman para la fabricación industrial de ladrillos

Existen hornos Hoffmann ovalados que producen 200 000 ladrillos en una jornada consumiendo solo el 60 % del combustible necesario para hornos intermitentes.

El horno de túnel, a diferencia del horno Hoffmann, donde los ladrillos permanecen estáticos y las zonas de cocción, calentamiento y enfriamiento son las que rotan al rotar sucesivamente el hogar de cámara en cámara, consta de una galería recta por donde se mueven las pilas de ladrillos sobre vagonetas, atravesando las zonas del horno, el cual posee su hogar fijo.

Las vagonetas o planchas se mueven en sentido contrario al de la circulación de los gases. La longitud del horno es de unos 10-20 m y su sección es de 2 m². En la zona de cocción existen registros u hogares que permiten la comunicación con el exterior y que se calientan con mecheros de gas o resistencia eléctrica. Estos hornos se usan para cocer productos vítreos.

En nuestro país los ladrillos ordinarios se fabrican mediante métodos diferentes, según las condiciones locales. Los ladrillos se clasifican de acuerdo con su grado de calidad y su resistencia a la compresión en:

- Grado A – Alta resistencia a la compresión (aproximadamente 140 kg/cm²).
- Grado B – Buena resistencia a la compresión (aproximadamente 100 kg/cm²).
- Grado C – Mediana resistencia a la compresión (aproximadamente 80 kg/cm²).
- Grado D – Baja resistencia a la compresión (aproximadamente 60 kg/cm²).

Las tolerancias de sus dimensiones, para cada grado de calidad, se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

TOLERANCIA DE LAS DIMENSIONES DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA

Dimensiones, mm	Tolerancias			
	A	B	C	D
Largo 250	± 2,5	± 5	± 8	± 12
Ancho 120				
Espesor 60 (mínimo)	± 2	± 2,5	± 4	± 6

Alabeo del ladrillo. El alabeo es la curvatura que alcanza un ladrillo al ser cocido y que le resta calidad.

El alabeo permisible según su grado de calidad es:

- A – 1 % del largo,
- B – 2 % del largo,
- C – 5 % del largo.

Aligerados de arcilla. Con este nombre genérico se conoce un tipo de ladrillo, cuya forma y dimensiones varían. En esta clasificación se incluyen los llamados ladrillos huecos, los multihuecos, las celosías, etc. (fig. 2.5):

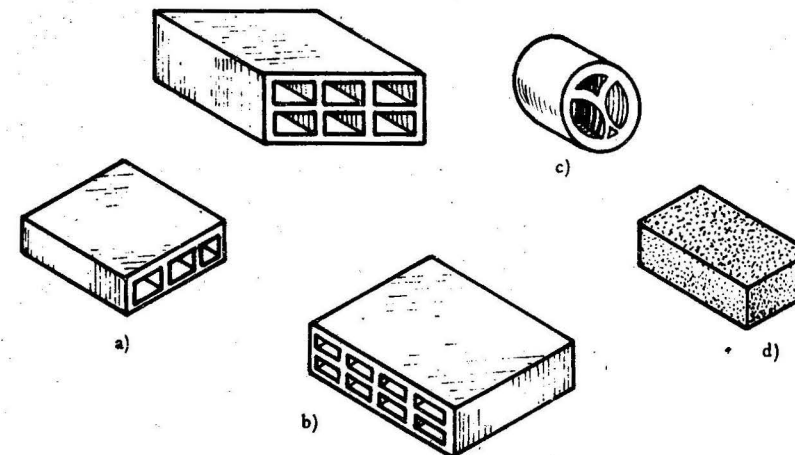


Fig. 2.5 Aligerados de arcillas: a) ladrillos huecos; b) ladrillos multihuecos; c) celosías; d) otros tipos de ladrillos

El uso de los aligerados de arcilla reduce en el 30-45 % el peso de una pared, en relación con el mismo volumen de ladrillo ordinario; se caracterizan no solo por poseer huecos sino también poseen una alta porosidad en la masa cerámica. El uso de estos ladrillos reduce el costo en el transporte, en el consumo de morteros y en la utilización de fuerza de trabajo. Su peso varía de 1 250 a 1 400 kg/m³.

Las paredes que se construyen con este tipo de ladrillo tiene propiedades antiacústicas y aisladoras, y cada uno llega a pesar, cuando más 4 kg. En los tejares, que son los talleres donde se fabrican los ladrillos, se producen también otros artículos denominados tejas, que en nuestro país se fabrican de dos tipos: las tejas francesas o planas y las tejas árabes o criollas (fig. 2.6).

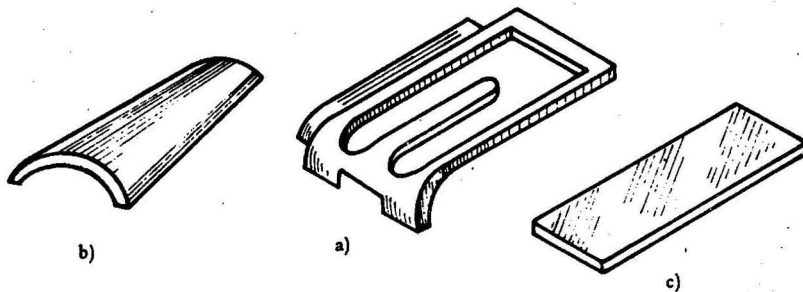


Fig. 2.6 Tejas cerámicas: a) planas o francesas; b) árabes o criollas; c) racilla o panetela

También se confeccionan tuberías de barro, las cuales pueden fabricarse de calidad inferior y sin el proceso de vidriado. Los artículos con vidriado tienen una calidad cerámica superior. A ellos pertenecen los tubos y las piezas de barro vidriado, utilizados en las instalaciones sanitarias de las construcciones (fig. 2.7).

Los bizcochos para estos elementos se fabrican con arcilla de cierta calidad cercana al gres. Con ellas se hacen los objetos de loza y los azulejos, que son pequeñas placas con superficie vidriada y coloreada, muy resistentes e higiénicas que se utilizan en las paredes de los baños, hospitales, mesetas de laboratorios donde se trabaja con ácidos, o como ornamento.

Un gres de alta calidad, cercana a la porcelana, es el utilizado en la fabricación de muebles sanitarios, los cuales también pueden ser coloreados al ser vidriados. El vidriado de los productos del tejar se realiza con el cloruro de sodio, que se aplica al final de la cocción; el sodio reacciona con la arcilla y al disociarse forma un silicato aluminico sódico.

Los esmaltes y barnices usados para el acabado o decoración de las cerámicas finas se obtienen por compuestos metálicos. El cobalto, por ejemplo, produce azul oscuro; el cobre, verde, azul turquesa y rojo; el manganeso se utiliza para obtener colores violáceos y amarillos; los de cromo, verde, rosado y coral; los de antimonio y uranio, amarillos; los de estaño, blanco; el magnesio, oro y rosa; el platino y el iridio, gris y negro, etcétera.

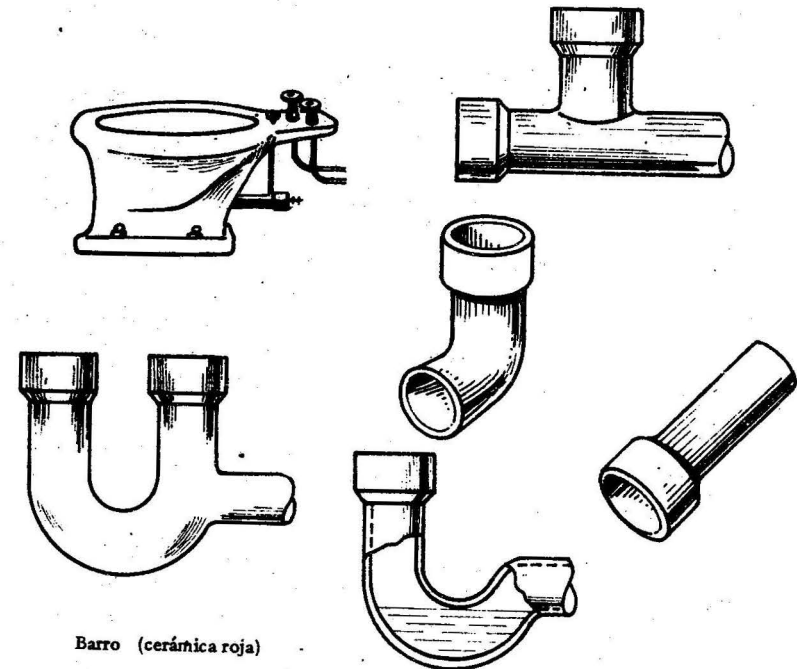


Fig. 2.7 Piezas y muebles sanitarios de cerámica

Las piezas de alfarería y tejar se cuecen a 1 000 °C, las de loza (gres) a 1 200 °C (ambos valores son aproximados).

Materiales de construcción de naturaleza vítrea

El vidrio es una sustancia fundamental en estos tipos de materiales de construcción; es una sustancia amorfa (no cristalizada), lo que significa que el vidrio tiene una estructura molecular desordenada que permite el paso parcial o casi total de la luz. No tiene una estructura cristalina, aunque algunos tipos de vidrios de cualidades ópticas reciban el nombre de cristales.

El vidrio también es termoplástico, porque en determinada temperatura se puede moldear y remodelar; al enfriarse conserva la forma final.

Se obtiene por fusión de los silicatos complejos de sodio, calcio, aluminio, plomo y el enfriamiento lento de la mezcla. En la composición del vidrio participan muchos tipos de sustancias, tales como:

Vitrificantes: son sustancias básicas que producen el estado vítreo. Por ejemplo, la sílice (arena sílice), el óxido de boro y otros.

Fundentes: bajan la temperatura de fusión, disminuyendo la estabilidad química y la viscosidad (por ejemplo, los óxidos alcalinos usados bajo la forma de soda, sulfato de sodio, etcétera).

Estabilizadores: se emplean para aumentar la dureza, la estabilidad química, la resistencia mecánica y disminuir la estabilidad térmica (se utilizan óxidos de calcio, magnesio, plomo, bario, cinc y aluminio).

Afinadores: son añadiduras para limpiar el vidrio (se utilizan el nitrato de potasio o de sodio y el sulfato de sodio).

Opacificantes: son añadiduras para opacar el vidrio (óxido de estaño, fluoruro de calcio, criolita).

Colorantes: como su nombre lo indica, son las sustancias que dan color al vidrio. (Se utilizan: el óxido de cobre para el color rojo o se logra con oro coloidal; con plata, el amarillo; con hierro y cromo, el verde; con manganeso, el violáceo; con cobalto, el azul; etcétera.)

Decolorantes: son añadiduras que eliminan el color verde del vidrio. La fusión de las materias primas se realiza en hornos calentados con gases o petróleo, empleando crisoles.

El estado termoplástico y amorfo del vidrio se caracteriza por el hecho de que no tiene una determinada temperatura de fusión. El paso del estado sólido al líquido se realiza en un intervalo de temperatura llamado *de reblandecimiento*.

El vidrio tiene un peso específico de $2,2 - 6,3 \text{ g/cm}^3$; su resistencia a la compresión oscila entre $3\,000$ y $12\,600 \text{ kg/cm}^2$ y a la tracción entre 330 y 810 kg/cm^2 . El vidrio es frágil (no resiste el choque) y tiene una baja conductividad térmica. No es atacado por los ácidos, exceptuando el ácido fluorhídrico, el cual se utiliza precisamente, para realizar grabaciones sobre él. La dureza del vidrio, según Mohs, oscila entre 4 y 8.

Materiales vítreos de construcción

La variedad de los materiales vítreos no es muy grande; fundamentalmente se utilizan para cerrar los vanos en las armaduras de puertas y ventanas, bajo la forma de vidrio plano (ambas caras planas) o bajo la forma de vidrio martillado (con filigranas en relieve en una cara). Otro uso de los vidrios es como elemento constructivo universal (algunos tipos de ladrillos y piezas de celosías); en forma textil, como fibras de vidrio ("lana" de vidrio, para aislamiento térmico y acústico) y como elementos altamente resistentes especialmente fabricado con fibras vítreas (*fiber glass*).

Vidrios planos. Son aquellos constituidos por láminas delgadas transparentes, traslúcidas o coloreadas, que sirven para conformar puertas, ventanas, tabiques, lucetas, etc.; actualmente pueden fabricarse por varios métodos. Antiguamente se fabricaban por soplado, construyéndose enormes burbujas que se les daba forma cilíndrica y luego se cortaban en forma longitudinal; en la actualidad existen procedimientos tecnológicos más productivos, entre ellos el de estirado, que consiste

en hacer penetrar por una ranura, bajo cierta presión, vidrio líquido que al condensarse forma la lámina que es halada paulatinamente, obteniéndose piezas entre $0,5$ y 1 mm de grueso y hasta $2,5 \text{ m}$ de ancho. Existe además el procedimiento de laminado, a partir de una masa fundida de vidrio en forma pastosa que se hace pasar entre dos cilindros o entre un cilindro y una superficie plana o grabada, produciéndose el llamado vidrio liso o los vidrios ornamentales que reciben el nombre en la construcción de "vidrios martillados"; estos vidrios presentan en una de sus caras o en ambas a la vez, una filigrana grabada que puede presentar diversos colores.

3.1 Cuestiones generales

Se les llama sustancias pétreas aglomerantes a aquellas que finamente trituradas y en combinación con el agua y en algunos casos con soluciones de algunas sales, forman una masa plástica que bajo la acción de un proceso físico-químico, gradualmente se endurecen y pasan a un estado sólido.

Esta propiedad de las sustancias aglomerantes es utilizada para la preparación de morteros, hormigón y otros materiales de construcción.

Se considera que el primer material aglomerante utilizado fue el yeso, y más tarde, la llamada cal aérea; el uso del cemento comenzó a fines del siglo XVIII, cuando en el año 1792 Parker patentó el llamado cemento natural o romano.

3.2 Clasificación

En dependencia de su composición, de sus principales propiedades y de su campo de aplicación, los aglomerantes se dividen en dos grupos fundamentales:

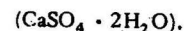
Aglomerantes aéreos. Se destacan porque su mezcla con el agua y su endurecimiento se realiza en el aire. Como ejemplo de estos aglutinantes tenemos el yeso, la magnesia y la cal aérea.

Aglomerantes hidráulicos. Su principal característica es que pueden endurecerse, tanto en el aire como en el agua. En este grupo se encuentran los cementos, las puzolanas y la cal hidráulica.

3.2.1 AGLOMERANTES AÉREOS

Yeso. El yeso es el aglomerante artificial más conocido desde tiempos remotos. Según investigaciones, su empleo en la construcción comenzó hace aproximadamente 4 500 años; fue utilizado en Egipto para la construcción de pirámides y otras obras.

Como materia prima para la obtención del yeso sirve la piedra de yeso, que es una roca sedimentaria formada por el sulfato de calcio deshidratado:



En dependencia del esquema tecnológico de producción, las piedras de yeso se cuecen en forma de pedazos, triturados o mullidos, hasta una temperatura entre 150 y 180 °C, convirtiéndose en yeso semihidratado según la reacción siguiente:



El producto ya confeccionado, convertido en polvo (yeso de construcción), en combinación con el agua fragua rápidamente, es decir, pierde su movilidad y luego se endurece cuando se expone al aire.

El tiempo de fraguado del yeso se puede controlar, añadiéndosele distintos complementos. Así, por ejemplo, tenemos que si añadimos yeso molido cocinado se acelera el proceso de fraguado, mientras que si añadimos goma de pegar o cal, se demora a causa de que estas sustancias envuelven a las partículas de yeso, disminuyendo su solubilidad.

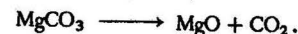
Una propiedad particular del yeso de construcción es el aumento de volumen que alcanza su pasta en el proceso de endurecimiento, que llega aproximadamente hasta 1 % y que se debe al aumento de los cristales del yeso deshidratado. Por esta razón, las piezas de yeso ocupan por completo los moldes, sin necesidad de que se añadan áridos fríos.

Una desventaja considerable de las obras construidas con yeso es su baja resistencia a la acción del agua; sin embargo, agregándole ciertos componentes como cemento, cal viva, oleína (éter oleico de la glicerina) y otros, o también mediante condensación, vibración y apisonamiento se puede elevar dicha resistencia.

El límite de resistencia del yeso a la compresión se determina mediante el ensayo de muestras, de forma cúbica (7 · 7 · 7 cm) de 1,5 horas de hechas y secadas a una temperatura entre 45 °C y 55 °C hasta obtener un peso constante, no debiendo ser esta resistencia menor de 45 kg/cm².

Magnesia. Las dos variantes de aglomerantes que contienen magnesio, son la magnesita cáustica (MgO) y la dolomita cáustica (MgO · CaCO₃).

Magnesita cáustica. Es el producto de la cocción de la magnesita natural a una temperatura de 700-800 °C; como resultado se produce la reacción



Esta reacción es reversible, por lo que durante su realización se hace necesario ir alejando del horno el CO₂ formado.

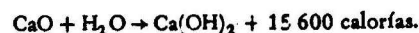
El óxido de magnesio que se obtiene se guarda en cartuchos. La magnesita cáustica, en forma de polvo frío, se mezcla con una solución de cloruro de magnesio MgCl₂ en agua, obteniendo el aglomerante conocido como cemento de magnesio.

Dolomita cáustica. Se obtiene mediante la cocción de la dolomita natural ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) a una temperatura de 650-750 °C. La dolomita cáustica ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$) contiene una cantidad considerable de CaCO_3 ; en su composición debe haber 15 % o más de MgO y no más de 2,5 % de CaO ; por esta razón su calidad es inferior a la magnesita cáustica.

Cal aérea. Como materia prima para la obtención de la cal aérea sirven las rocas carbonatadas (calizas, calizas dolomitizadas y dolomitas). La parte esencial de las calizas es el carbonato de calcio (CaCO_3), el cual, bajo la acción de la calcinación en hornos a temperatura de 1 000 °C se desintegra en cal viva (CaO) y gas carbónico (CO_2)



El óxido de calcio, que también se le llama cal viva, es un producto sólido de color blanco. Este producto es inestable a causa de su gran avidez por el agua, con la que reacciona en la forma siguiente:

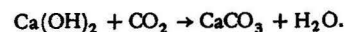


Al producirse esta reacción se desprende calor, la temperatura se eleva a unos 160 °C, se pulveriza el material y aumenta rápidamente su volumen.

Esta avidez del CaO por el agua es tan grande que puede llegar a absorber el vapor de agua de la atmósfera y el de las sustancias orgánicas, produciendo efectos cáusticos.

El hidróxido de calcio [Ca(OH)_2] obtenido es un cuerpo blanco y amorfo, soluble en agua, a la cual transmite el color blanco (agua de cal o lechada); y ligando una gran cantidad de [Ca(OH)_2] con agua se forma una pasta fluida denominada *cal apagada*.

La cal apagada, en forma pastosa, tiene la propiedad de endurecerse lentamente cuando está al aire, enlazando los cuerpos sólidos; por esa razón puede emplearse como aglomerante. El proceso de fraguado de la cal apagada se efectúa en dos etapas: en la primera se produce la desecación de la pasta por la evaporación del agua con la que se forma, en tanto que en la segunda se produce la carbonatación a causa de la absorción del CO_2 del aire, como vemos en la reacción



Como resultado de esta reacción se forma el carbonato de calcio, o sea, el producto endurecido vuelve a su estado primario.

Esta reacción es muy lenta, pues empieza aproximadamente a las 24 horas y concluye en un lapso de seis meses, por lo que las obras hechas con cal apagada tardan mucho tiempo en secarse y adquirir la solidez definitiva.

La reacción solo se logra correctamente en aire húmedo, aunque con mucha dificultad; en presencia del agua no se produce, pues esta disuelve la cal.

Como planteamos al inicio, la cal puede obtenerse de las calizas. Estas, en condiciones naturales, pocas veces se encuentran puras, o sea, formadas solamente por carbonato de calcio (CaCO_3), sino que en su composición entran otras sustancias como son: arcilla, magnesia, hierro, azufre, álcalis y materias orgánicas, sustancias que al no volatilizarse durante el proceso de calcinación, comunican a la cal propiedades que dependen de la proporción en que ellas entren a formar parte de la piedra caliza. De acuerdo con sus propiedades, las cales se clasifican en grasas, magras e hidráulicas.

Cales grasas. Cuando la caliza contiene hasta 5 % de arcilla, la cal al apagarse forma una pasta fina de color blanco que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos, pero que se disuelve en presencia del agua.

En las cales grasas, el rendimiento de la cal llega a ser de 3 a 3,5 (entiéndase por este término la relación que existe entre el volumen de la pasta de cal resultante y el volumen primitivo de la cal viva).

Cales magras. También llamadas cales áridas, se obtienen a partir de calizas que contienen menos de 5 % de arcilla, pero contienen magnesio en una proporción mayor de 10 %. Esta cal, al añadirsele agua, forma una pasta gris que se endurece menos que la cal grasa y desprende más calor que ella. Al secarse en el aire se reduce a polvo, mientras que en el agua se disuelve. Como es lógico, esta cal no se emplea en construcción.

Cales hidráulicas. Proceden de la calcinación de calizas que contengan más de 5 % de arcilla, formando un producto que además de reunir las propiedades de la cal grasa, tiene la capacidad de poder endurecerse y consolidarse (fraguar) en sitios húmedos, y aun en un medio acuoso. Este tipo de cal es la que se usa habitualmente en construcción y la estudiaremos posteriormente en los aglomerantes hidráulicos.

Apagado de la cal. Para poder usar la cal en construcción es necesario poner la cal viva en contacto con el agua, para que se hidrate; esta operación recibe el nombre de apagado de la cal. Existen variados procedimientos para el apagado de la cal, por ejemplo: espontáneo al aire, por fusión, en autoclave, y utilizando máquinas apagadoras de cal.

Apagado espontáneo al aire. Este método consiste en exponer la cal viva a los efectos del vapor de agua de la atmósfera para que lo absorba. Tiene la desventaja de que dura mucho (aproximadamente 3 meses) además de que la cal absorbe el CO_2 .

Apagado por fusión. Es el que se realiza a pie de obra y consiste en introducir pequeñas cantidades de cal en montones de arena, después se vierte agua en una cantidad igual a 3 veces su volumen (para obtener la pasta).

Apagado en autoclave. Se usa mucho en EE.UU. y consiste en introducir la cal viva en hornos y después inyectar vapor de agua a presión durante un tiempo dado.

Apagado utilizando máquinas apagadoras. Este procedimiento consiste en colocar pedazos de cal en el recipiente de acero de la máquina apagadora que se encuentra llena de agua. Con estos equipos, el proceso se acelera considerablemente, mejorándose la calidad de la producción.

De acuerdo con la velocidad de su apagado, la cal se divide en: de apagado lento (20 o más minutos) y de apagado rápido (menos de 20 minutos), en tanto que, de acuerdo con la temperatura que desarrolla durante su apagado, la cal puede tener baja exotermia (menos de 70 °C) o alta exotermia (más de 70 °C).

Por último, es necesario señalar que la pasta de cal no se emplea pura en construcción, ya que de hacerse así, cuando se seque tendría lugar su asentamiento y la formación de grietas, por lo que al añadirse arena se forma un mortero poroso.

3.2.2 AGLOMERANTES HIDRÁULICOS

Cal hidráulica. Es la cal parcialmente hidratada o apagada, en polvo, que además de fraguar en el aire, lo hace bajo la acción del agua. Esta cal fue descubierta y comenzó a emplearse a principios del siglo XIX, cuando se observó que si la caliza natural contiene o se le añade arcilla en proporción de 8 a 20 %, el producto resultante de la cocción, reducido a polvo, tiene propiedades hidráulicas.

La caracterización de la composición química de los materiales aglomerantes hidráulicos, se expresa mediante el llamado índice hidráulico I , que no es más que la relación existente entre la suma de los pesos de la sílice (SiO_2), la alúmina (Al_2O_3) y el óxido de hierro (O_3Fe_2), con respecto a la suma de los pesos del óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO), o sea:

$$I = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{O}_3\text{Fe}_2}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

llamándosele módulo hidráulico M al inverso del índice hidráulico, o sea:

$$M = \frac{1}{I} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{O}_3\text{Fe}_2}$$

Puzolanas. Son aquellas sustancias silíceas que reducidas a polvo y amasadas con cal forman aglomerantes hidráulicos. Su nombre tiene como origen el yacimiento de Puzzuoli, ubicado en la bahía de Nápoles, Italia.

Las puzolanas, según su origen, se agrupan de la siguiente manera:

Cenizas y tobas volcánicas (riolita, andesita, etcétera).

Rocas silíceas sedimentarias (diatomitas, pizarra, etcétera).

Arcillas y pizarras calcinadas (caolinita).

Subproductos industriales (escoria y ceniza).

Con frecuencia las puzolanas se clasifican también como naturales y artificiales.

Las naturales son las que existen en la naturaleza y solo es necesario molerlas para su empleo. Se clasifican en: básicas si contienen entre 40 y 55 % de SiO_2 ; neutras si el contenido es entre 55 y 65 % y ácidas si el contenido de sílice oscila entre 65 y 70 %.

Las artificiales se obtienen mediante el calentamiento de arcillas o pizarras, o como subproductos industriales (escoria).

3.2.3 CEMENTOS

3.2.3.1 Aspectos generales

El primer cemento empleado fue el llamado cemento natural o romano, que es el producto de la molienda fina y la cocción de margas dolomitizadas que contengan no menos de 25 % de mezclas arcillosas, con la adición de añadiduras minerales.

Este cemento natural o romano, se emplea en la actualidad para decorados y para la elaboración de morteros de mampostería, así como también para hormigones de bajas marcas, siendo en la actualidad los cementos más utilizados los del tipo Portland, cuyas características veremos más adelante.

3.2.3.2 Fabricación de cementos

El proceso de fabricación de cementos consta de un conjunto de operaciones que son válidas para todos sus tipos, pero nosotros vamos a estudiar dichas operaciones referidas al Portland por ser este cemento el más difundido y empleado.

La materia prima para la fabricación del cemento debe contener entre 75-78 % de CO_2 Ca y 22-25 % de sustancias arcillosas.

Es difícil encontrar en la naturaleza rocas calizas que satisfagan las exigencias planteadas, por eso, conjuntamente con la caliza y la arcilla se emplean las llamadas añadiduras correctoras, que contienen óxidos que están en cantidad insuficiente en la materia prima. Por ejemplo, cuando hay deficiencia de SiO_2 esta carencia se puede compensar adicionando una sustancia como la diatomita. Para aumentar la cantidad de óxido de hierro se puede añadir hierro.

Cuando se tiene la materia prima lo primero que se hace es triturarla; después, se procede a la dosificación de las mezclas para lo cual se pueden emplear las distintas fórmulas que existen para ello, en dependencia de los criterios y de los propósitos de los fabricantes.

Una vez establecida su dosificación, la preparación de la mezcla se puede llevar a efecto por dos métodos: el húmedo o el seco, definiéndose así las dos líneas fundamentales para la fabricación del cemento.

En caso del método húmedo, la materia prima se tritura y se mezcla en presencia de agua, y la mezcla obtenida se cuece en forma de barro líquido en hornos giratorios; cuando empleamos la vía seca, la materia prima se tritura y se mezcla en estado seco, realizándose también la cocción en ese estado

Conjuntamente con estos dos métodos fundamentales, en la actualidad se está empezando a utilizar el método combinado, que consiste en realizar la trituración de la materia prima y su mezclado en presencia del agua, y después, la sustancia obtenida se seca, preparándose en forma de gránulos que se cuecen mediante el método seco.

Cada uno de los métodos planteados tiene sus ventajas y sus desventajas. Así tenemos que mediante el método húmedo se obtiene una trituración más fácil de los materiales y se logra la homogeneidad de la mezcla más rápidamente, pero el consumo de combustible en la cocción es 1,5-2 veces superior que por el método seco.

Con respecto al método seco, durante un largo tiempo se usó limitadamente a causa de la baja calidad del *clinker* que se obtenía con su empleo, no obstante, a causa de los adelantos experimentados en las operaciones de trituración y homogeneización de la mezcla seca, se ha logrado obtener un *clinker* de elevada calidad, por lo que en los últimos años este método tiene un mayor uso.

Por último, el método combinado permite una disminución del 20-30% del consumo de combustible, pero produce aumento en el consumo de energía eléctrica y en el gasto de trabajo en el proceso de su producción.

En la actualidad, en E.E.U.U., hasta el 60% aproximadamente del cemento se fabrica por el método húmedo; en la URSS hasta el 80%, en Inglaterra y Francia este método es también preponderante; en Japón, RFA, Italia y Suiza, tiene mayor utilización el método seco. En nuestro país, en la actualidad se emplean los dos métodos, principalmente el húmedo.

Clasificación de cementos

Los cementos pueden ser clasificados según los siguientes aspectos: tiempo de fraguado, composición química y resistencia.

Con respecto al tiempo de fraguado, se dividen en cementos de fraguado rápido (se produce en menos de una hora) y cementos de fraguado lento (los que tardan más de una hora).

Por su composición química se clasifican en Portland normal, de escoria, puzolánico, expansivos y otros.

Según su resistencia, los cementos se clasifican en marcas, las cuales se establecen tomando como base la resistencia a la compresión. En nuestro país se fabrican cementos de tres marcas: P-250, P-350 y P-450 (que se envasan en bolsas amarillas, verdes y rojas respectivamente).

Además, existen cementos especiales que son resistentes a un determinado efecto. Por ejemplo, hay cementos resistentes a los ácidos, los resistentes a los sulfatos, etcétera.

Cemento Portland. Es un aglomerante hidráulico que se endurece, tanto en el aire, como en el agua, y que se obtiene de calcinar hasta el punto de fusión mezclas rigurosamente homogéneas de calizas y arcillas, obteniéndose una sustancia denominada *clinker*. De su calidad dependen las propiedades del cemento, que son: resistencia, velocidad de incremento, durabilidad y estabilidad en distintas condiciones de explotación.

Para regular el tiempo de endurecimiento del *clinker*, durante su molienda se le añade yeso en una cantidad que oscila entre 2-3%.

El cemento Portland se puede fabricar sin añadir otro material o con empleo de añadiduras minerales en cantidades de hasta 15% del peso del cemento.

La calidad del *clinker* que se emplee depende de su composición química y mineralógica.

Las calizas empleadas para la fabricación de este cemento constan normalmente de CaO y CO_2 , mientras que las arcillas de distintos minerales contienen fundamentalmente SiO_2 , Al_2O_3 y O_3Fe_2 . En el proceso de cocción de la mezcla, se elimina el CO_2 quedando como partes constituyentes del *clinker* los restantes componentes.

La composición química del cemento Portland, aproximadamente, es la siguiente:

Óxido de calcio CaO	60-67%
Sílice SiO_2	17-24%
Alúmina Al_2O_3	4-7%
Óxido de hierro (III) Fe_2O_3	2-6%
Otros óxidos	2-6%

Un aumento en el contenido de CaO trae consigo aumento en la velocidad de endurecimiento de la mezcla, elevación de su resistencia mecánica y disminución de su resistencia al agua. El aumento en el contenido de SiO_2 demora el proceso de fraguado y aumenta la estabilidad del cemento frente a la acción del agua. El aumento en el contenido de alúmina trae consigo un aumento de la velocidad de endurecimiento, pero disminuye su estabilidad ante el agua, ante los sulfatos y el frío. En tanto, el óxido de hierro posibilita la disminución de la temperatura de fusión del *clinker* y el aumento de la estabilidad del cemento ante la acción de aguas sulfatadas.

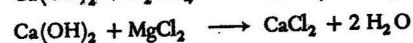
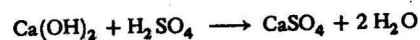
Además de los óxidos que consideramos como fundamentales, en la composición del *clinker* existen otros óxidos, como son: óxido de magnesio (MgO), óxido de potasio y sodio (K_2O) (Na_2O) que disminuyen la calidad del cemento.

Al mezclarse el cemento Portland con el agua, reaccionan sus componentes y se forma una pasta plástica que gradualmente va perdiendo su plasticidad hasta alcanzar el estado pétreo.

El proceso de endurecimiento del cemento Portland, en lo fundamental, se determina por la hidratación de los silicatos, aluminatos y del aluminoferrito de calcio.

Cuando se produce la reacción del cemento con el agua hay desprendimiento de calor; este fenómeno tiene gran importancia pues cuando tenemos grandes masas de este aglomerante se puede observar un aumento de temperatura que dura un cierto tiempo, lo cual puede producir grietas en el cemento cuando él retorne a su temperatura normal. El desprendimiento de calor se puede reducir disminuyendo el contenido de aluminato tricálcico, lo cual se puede lograr aumentando el contenido de Fe_2O_3 .

Sobre este cemento actúan desfavorablemente el H_2SO_4 y el MgCl_2 (contenido en el agua de mar) produciéndose las reacciones siguientes:



y tanto el CaSO_4 como el CaCl_2 se disuelven en agua, lo cual trae consigo la destrucción de la obra.

Por esta causa no es recomendable utilizar el Portland corriente en morteros y hormigones que se empleen en construcciones sometidas al efecto del agua de mar, al de aguas mineralizadas (en las minas) o en condiciones de aguas agresivas, utilizándose en tales casos otros tipos de cementos.

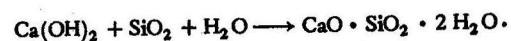
Otros tipos de cementos

Cemento Portland de alta resistencia. Este tipo de cemento tiene la característica de adquirir altas resistencias iniciales. Se empezó a utilizar en la segunda década del presente siglo. Posee un rápido endurecimiento, pues a los 3 días posee una resistencia superior en el 50 % al Portland corriente. Esto es de gran importancia para las construcciones industriales, y en particular, para las construcciones mineras, pues usando este cemento se pueden construir obras que en mucho menor tiempo puedan soportar altas tensiones.

En cuanto a su composición química diremos que es análoga a la del Portland corriente, ya que solo aumenta un poco el contenido de cal, lo que produce la formación de mayor cantidad de silicato tricálcico, y por consiguiente el cemento tendrá una mayor resistencia inicial.

Cemento puzolánico. Se prepara mediante el mullido común o la mezcla minuciosa del cemento Portland con puzolanas (naturales o artificiales).

Este cemento tiene una alta estabilidad contra el efecto de las aguas a causa de que la cal libre que se desprende durante el endurecimiento del cemento se une con la sílice de las añadiduras hidráulicas, formando el hidrosilicato de calcio, que es prácticamente insoluble en agua:



Este cemento también se caracteriza por poseer una alta resistencia a la acción de los agentes químicos.

El empleo de este cemento para morteros y hormigones es solo racional en aquellos casos en que dichos morteros y hormigones van a estar sometidos al efecto del agua o a la acción de agentes químicos, como es el caso de construcciones en ríos, en fábricas químicas o en construcciones subterráneas.

Este cemento se debe usar en lugares húmedos, pues si se emplea en lugares secos, se detiene su endurecimiento a causa del secado rápido.

Cemento de escoria. Son los cementos que se obtienen mezclando la escoria de alto horno, el cemento Portland y el sulfato de calcio, en distintas proporciones, según las características del cemento que se desee obtener.

Este tipo de cemento se considera efectivo desde el punto de vista económico, ya que su costo es 15-20 % menor que el Portland.

La escoria de alto horno constituye un producto secundario de la obtención del hierro. Por su composición química se acerca a la del cemento Portland y consta fundamentalmente de tres óxidos (CaO , SiO_2 y Al_2O_3). Para la valoración de la calidad de las escorias como añadiduras activas, se utilizan dos módulos: el de actividad M_a y el de basicidad M_b , resultando que:

$$M_a = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{SiO}_2}$$

$$M_b = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3}$$

En los casos en que $M_b > 1$, la escoria se denomina básica, en tanto que si $M_b < 1$, se denomina ácida.

La actividad hidráulica de las escorias de alto horno aumenta con el aumento de estos módulos.

Existen diversos tipos de cementos de escoria, según sus componentes y la proporción en que se encuentren. Así, tendremos los cementos de escoria y cal, los cementos de escoria y Portland y los cementos sulfatados de escoria.

El cemento de escoria y cal se obtiene de la molienda común de la escoria granulada seca y la cal, con adición de una pequeña cantidad de yeso. El contenido de óxido de calcio en este aglomerante varía en dependencia del tipo de escoria (básica o ácida) y oscila entre el 10 y el 30 % del peso de la mezcla.

El cemento de escoria y cal fragua lentamente y se endurece. El comienzo del fraguado se produce entre las 2 y las 4 primeras horas, en tanto que el final se logra entre las 6 y las 8 horas de iniciado el proceso.

Este cemento forma morteros más plásticos y de menor resistencia que los confeccionados con cemento Portland.

El cemento de escoria Portland es un aglomerante hidráulico que se obtiene al moler una mezcla de *clinker* de cemento Portland, escoria granulada de alto horno y una cierta cantidad de yeso.

Este cemento se puede emplear en los mismos fines que el Portland, sin embargo, teniendo en cuenta su alta estabilidad frente al agua, se considera útil emplearlo en construcciones sometidas a la acción del agua.

El cemento sulfatado de escoria está constituido por una mezcla de escoria básica granulada de alto horno, sulfato cálcico y cal hidratada o cemento Portland.

En general, sobre los cementos de escoria diremos que se utilizan, tanto en construcciones industriales como en construcciones bajo el agua y también en obras sometidas a efectos de vapores.

Cemento aluminoso. Es un aglomerante hidráulico que se obtiene mediante la calcinación y mullido fino de una mezcla de caliza con rocas ricas en alúmina. El producto debe tener en su composición 32 % o más de alúmina (Al_2O_3).

Este cemento tiene la importantísima propiedad de endurecerse rápidamente, por lo que es de gran importancia en los casos de averías; se usa también para las construcciones afectadas por agua mineralizada o agua de mar.

Cemento expansivo. Todos los cementos hidráulicos experimentan una deformación en forma de asentamiento; esto puede conducir a la formación de grietas en los lugares de unión de los elementos de hormigón y de hormigón armado, por lo que en los casos en que no sea permisible dicho asentamiento se debe emplear el cemento expansivo, del cual se conocen algunas variedades, entre ellas: expansivo aluminoso y expansivo Portland.

Cemento a prueba de ácido. Se produce al mullir y mezclar bien la arena cuarzosa y la sosa de silicofluor. Este cemento, mezclado con vidrio líquido, se utiliza generalmente para repellar y para la colocación de morteros en lugares afectados por ácidos.

Cemento blanco. Se obtiene mediante el empleo de materias primas exentas de Fe y Mn (que son las que transfieren el color gris al cemento), o con calizas muy puras y caolín. Se emplean como fundente la criolita y la fluorita, porque carecen de hierro.

Este cemento se emplea, fundamentalmente, con fines decorativos; se fabrica con varias calidades, en dependencia de su grado de blancura.

Cementos coloreados. Se fabrican añadiéndole al cemento blanco (o al Portland) determinados colorantes minerales naturales o artificiales inorgánicos (a causa de que los orgánicos son perjudiciales para el fraguado y la resistencia).

A partir del Portland (a causa de su color gris) solo se pueden obtener tonos rojizos y pardos, mientras que a partir del blanco se puede obtener cualquier color.

CAPÍTULO 4

MATERIALES PÉTREOS AMASADOS

Estos materiales se obtienen al mezclar materias constructivas, tanto volúmicamente como aglomerantes, que convenientemente amasadas con un solvente líquido (generalmente agua), se endurecen o se petrifican, formando parte de las obras de construcción como materiales constructivos. Entre ellos tenemos las "pastas", los morteros y los hormigones, los cuales como en el caso de los materiales pétreos aglomerantes, se agrupan en aéreos e hidráulicos.

4.1 Pastas

De acuerdo con la definición anterior las pastas, según su composición, no serían materiales pétreos amasados, pues están compuestas solamente por él o por los aglomerantes y el agua. Se destacan las pastas de cemento utilizadas para rellenar las juntas de mosaicos, baldosas, rodapiés, azulejos, etcétera. Otra de las pastas muy utilizadas es la llamada masilla de cal, elaborada con cal apagada y un pequeño porcentaje de yeso, la cual sirve preferentemente para cubrir lozas de techo (cielos rasos), aunque se emplea también para el recubrimiento de paredes.

4.2 Morteros

4.2.1 ASPECTOS GENERALES

Se le llama mortero a una mezcla plástica obtenida por la unión de un aglomerante, de un árido fino (arena) y de agua, o sea, se diferencian del hormigón por la ausencia en ellos de un árido grueso (grava, piedra picada, etcétera).

Existe una gran cantidad de morteros, los cuales pueden ser agrupados de acuerdo con el peso volumétrico, el tipo de sustancia aglomerante, su destino y las propiedades físico-mecánicas:

Según el peso volumétrico, en estado seco

Pesados. Con peso volumétrico igual o mayor que los $1\,500\text{ kg/m}^3$, empleándose en su preparación arena de cuarzo o de otro tipo.

Ligeros. Tienen un peso volumétrico inferior a los 1 500 kg/m³; en ellos se emplean arenas ligeras y porosas de: escoria, toba, piedra pómez y de otros agregados ligeros.

Según el tipo de aglomerante

Con cemento. Fabricados con cemento Portland y sus variedades.

De cal. Hechos de cal aérea o hidráulica.

De yeso. Hechos con yeso.

Mixtos o bastardos. Se obtienen cuando por razones técnicas o económicas parte del cemento se sustituye por cal o arcilla, obteniéndose morteros de cemento-cal y de cemento-arcilla.

La elección del tipo de aglomerante que se va a emplear en los morteros se hace a partir de las exigencias que se le plantean en dependencia del uso que se le va a dar.

Según su destino

De mampostería. Para paredes; ellos deben poseer una alta resistencia y deben poder retener el agua.

De decorado. Para la elaboración de detalles arquitectónicos y decorativos y para el repellado de paredes.

Especiales. Poseen alguna propiedad no común (acústica, de taponamiento y otras). Estos morteros tienen uso limitado.

Según sus propiedades físico-mecánicas.

Se clasifican de acuerdo con su resistencia mecánica, la cual caracteriza su durabilidad. Según su resistencia a la compresión, los morteros se clasifican en "marcas", llegando hasta la marca 300 (300 kg/cm²) de resistencia.

La composición de los morteros puede ser expresada en el peso o en el volumen dado para 1 m³ de mortero.

4.2.2 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS

Las propiedades esenciales de los morteros son: su resistencia, su movilidad y su capacidad para retener agua.

Resistencia. La resistencia de los morteros dependerá fundamentalmente de dos factores: a) actividad del aglomerante empleado; b) relación agua-cemento.

Basado en esta característica, N. A. Popov propone la siguiente expresión para el cálculo de la resistencia de un mortero elaborado con cemento Portland:

$$R_m = 0,25 R_c (c/a - 0,4)$$

donde:

R_m — resistencia del mortero, kg/cm²;

R_c — actividad del cemento, kg/cm²;

c/a — relación cemento-agua.

Esta fórmula se cumple para morteros colocados sobre una base densa; en el caso de una base porosa, la cual succiona agua del mortero y lo densifica, la resistencia se aumenta aproximadamente 1,5 veces.

La resistencia del mortero va a depender, además, de la cantidad de cemento y de arena; según se puede observar en la expresión siguiente

$$R_m = k R_c (C - 0,05) + 4,$$

donde:

k — coeficiente que se toma para arena fina de 0,5-0,7; para arena de granulometría media, de 0,8 y para arena gruesa de 1;

C — gasto de cemento en toneladas, para 1 m³ de arena.

Como ya señalamos, la resistencia de los morteros se establece por su marca, la cual se obtiene por el límite de su resistencia a la compresión.

Movilidad. Una de las cualidades que deben poseer los morteros, es la de que puedan ser colocados de forma fácil y con el mínimo gasto de trabajo en los objetos de obra, lo cual dependerá de la movilidad que tenga el mortero.

Se llama movilidad del mortero a la capacidad que ellos tienen de derramarse por la acción de su propio peso o por la acción de esfuerzos exteriores. El mortero, en dependencia de su composición, puede tener una consistencia muy variada, desde rígida hasta fluida.

El grado de fluidez de los morteros se puede determinar según la profundidad que penetre en la mezcla un cono metálico de 300 g de peso, de 145 mm de altura y 75 mm de base, con un ángulo de 30°.

Retención de agua. La capacidad de retener agua es una propiedad muy esencial en los morteros. Frecuentemente los morteros son colocados en superficies porosas (ladrillos, piedras, etc.), las cuales tienden a absorber el agua; este hecho puede traer como consecuencia que en un momento dado el agua de la mezcla resulte insuficiente para su endurecimiento, por lo que el mortero no alcanza la resistencia proyectada.

4.2.3 MORTEROS DE MAMPOSTERÍA

Los morteros de mampostería deben poseer resistencia y movilidad, además de ser capaces de retener el agua.

La composición de estos morteros y el tipo de sustancia aglomerante empleada va a depender del tipo de construcción y de las condiciones en su explotación.

Los morteros que se emplean en paredes de piedras y para la preparación y montaje de elementos de paredes grandes, se preparan con los aglomerantes siguientes:

Cemento Portland y Portland de escoria. Para el montaje de paredes de paneles y bloques, para la preparación de bloques y otros.

Cal y cal-escoria. Para edificios de pocos pisos y en los casos en que sean necesarios morteros de marcas elevadas.

Cemento puzolánico y Portland. Resistente frente a sulfatos en condiciones de presencia de medios agresivos.

Los morteros de mampostería se preparan según 3 variantes:

Con *cemento, compuesto de cemento, agua y arena.* Se emplea para construcciones subterráneas, y para cuando sea necesario emplear un mortero resistente y estable ante agentes químicos.

Con *cemento y cal, compuesto por una pasta de cemento, cal, arena y agua.* Son fácilmente colocables, son resistentes y tienen una resistencia suficiente ante el frío. Tienen el mismo uso que los de cemento.

Con *cal.* Se preparan con una pasta de cal, arena y agua. Son fácilmente colocables y poseen una gran plasticidad, cohesionándose muy bien con la superficie de trabajo.

4.2.4 MORTEROS DE ACABADO

Estos morteros se dividen en morteros para el repellado normal y morteros para fines decorativos.

Los morteros para el repellado se preparan con los siguientes aglomerantes: cemento-cal, pasta de cal, cal-yeso y pasta de yeso, mientras que en los morteros para decoración, se emplean como sustancias aglomerantes: cemento Portland (habitualmente blanco o de colores) cal y yeso.

4.2.5 MORTEROS ESPECIALES

Como especiales se pueden denominar aquellos morteros que se usan para el llenado de las uniones entre elementos de hormigón armado, como medio aislante frente al agua, para el taponamiento, con fines acústicos y otros.

Los morteros que se usan para el llenado de las uniones entre las piezas de hormigón armado se preparan con cemento Portland y arena de cuarzo, su movilidad debe ser de 7-8 cm, según el cono. Estos morteros deben tener igual marca que el hormigón empleado en la fabricación de las piezas.

Los morteros aislantes (con un medio acuoso) se preparan con cementos de marcas elevadas y arena cuarzosa. En este caso se emplean el cemento puzolánico y el estable frente a sulfatos, en proporción de 1:2,5 o 1:3,5 (cemento-arena), según el peso.

Los morteros que se usan para taponar pueden ser de cemento-arena, cemento-arcilla, arena-cemento-arcilla. Estos morteros se emplean fundamentalmente para taponar los pozos de petróleo, cuando en minería se aplica este método especial de laboreo. Deben poseer alta estabilidad ante la acción del agua, alta movilidad, tiempo de endurecimiento determinado; deben ser resistentes y además poseer otras características.

Como aglomerante, en estos morteros se emplea el cemento Portland, y en caso de aguas agresivas, el puzolánico (estable frente a los ácidos). Su composición se elige según las condiciones hidrogeológicas existentes, el tipo de fortificación y la forma en que se vaya a realizar el taponamiento.

4.3 Hormigones

4.3.1 ASPECTOS GENERALES

El hormigón es una piedra artificial que se obtiene como resultado del endurecimiento de una mezcla racional de un aglomerante (cemento-cal), agua, arena y un árido grueso (grava, piedra picada, etcétera).

La mezcla de tales materiales hasta su endurecimiento se denomina mezcla de hormigón; es decir, es la unión de un mortero con un árido grueso.

El hormigón es uno de los principales materiales de construcción que se utilizan en la industria moderna, por las ventajas siguientes:

Posibilidad de variar sus propiedades en amplios límites, modificando los componentes utilizados y empleando métodos especiales de preparación.

Posibilidad de la mecanización total de los trabajos.

Economía con su empleo, pues entre el 80 y el 85 % de su volumen lo constituyen materiales de piedras locales.

4.3.2 CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Los hormigones se clasifican según los aspectos siguientes: peso volumétrico, tipo de aglomerante, resistencia y destino.

Peso volumétrico

- Muy pesados, con peso volumétrico superior a 2 500 kg/m³.
- Pesados (habituales) con peso volumétrico entre 1 800-2 500 kg/m³.
- Ligeros, con peso volumétrico entre 500-800 kg/m³.
- Particularmente ligeros (porosos), con peso volumétrico menor que 500 kg/m³.

Sustancia aglomerante

- Con cementos (preparados con cemento Portland u otros tipos de cementos).
- Con silicatos (preparados con cales, en combinación con componentes silicizados y de aluminio).
- De yeso (empleando anhidrita de yeso).
- Hormigones con aglomerantes orgánicos.
- Hormigones con aglomerantes minerales.

Resistencia

Los hormigones se clasifican por sus marcas. En los hormigones pesados existen marcas entre 100-600; en los ligeros entre 25-300; en los muy ligeros hay marcas entre 100-200 y en los gaseosos hay marcas de 25 hasta 200. La marca del hormigón está dada por su resistencia a la compresión, en kg/cm².

Destino

- Ordinarios (destinados para obras y construcciones portadoras, como columnas, placas, vigas, etcétera).
- Hidrotécnicos (destinados para la construcción de presas, esclusas, para el revestimiento de canales, etcétera).
- Para revestimiento de caminos y cimientos.
- Para edificios y revestimientos ligeros.
- Destinos especiales (resistentes ante la acción de los ácidos, al calor, particularmente pesados para la protección biológica, etcétera).

4.3.3 HORMIGÓN PESADO

El hormigón pesado es muy empleado en la construcción de cimientos, columnas, vigas, estructuras de puentes y otros elementos portadores; también es usado en edificios, construcción de viviendas y obras industriales.

Según el destino y las condiciones de explotación, el hormigón requiere un conjunto de exigencias en cuanto a su composición; entre ellas tenemos:

Cemento. Para la preparación de los hormigones pesados se emplea el cemento Portland, el Portland con agregados hidráulicos, el Portland de escoria y otros tipos de cementos.

El tipo de cemento se seleccionará según las exigencias que debe poseer el hormigón (resistencia, estabilidad química, impermeabilidad y otros).

La marca del cemento que se va a emplear, debe ser elegida en dependencia de la marca de hormigón que se desee obtener (tabla 7).

Tabla 7

DEPENDENCIA ENTRE LA MARCA DEL HORMIGÓN Y LA DEL CEMENTO

Marca de hormigón	100	150	200	250	300	400	500
Marca de cemento	300	300-400	400	400-500	500	500-600	600

Agua. Para la preparación de la mezcla de hormigón se emplea agua que no contenga sustancias dañinas que puedan afectar el endurecimiento normal del hormigón, entre ellas: ácidos, sulfatos, gases, aceites y azúcares, etcétera. Está prohibido utilizar agua de pantanos, de sumideros, de alcantarillas o de cualquier otro tipo de agua sucia.

El agua de mar o cualquier otro tipo de agua que contenga soluciones salinas puede ser empleada, siempre que la concentración de sales no sobrepase el 2 %.

La posibilidad de uso del agua para la mezcla de hormigón debe ser establecida por análisis químicos y por pruebas de resistencia que se realicen con muestras que se preparan con ese fin.

Arena. Constituye un material suelto, formado por granos de 0,14 a 5 mm, que se origina como resultado de la destrucción natural de las rocas. Además de las arenas naturales, se emplean las arenas artificiales que se obtienen de la trituración o la granulación de la escoria metalúrgica o de materiales especiales.

En los hormigones pesados, las arenas naturales (cuarzosas, dolomíticas y calcáreas) tienen un mayor uso; las más utilizadas son las cuarzosas.

Sobre la calidad del hormigón influye notablemente la composición granulométrica de las arenas y la cantidad de sustancias extrañas que ellas contengan (polvo, limo, arcilla y sustancias orgánicas). Se considera que lo más perjudicial para las arenas es el contenido de sustancias arcillosas, las cuales envuelven los diversos granos de arena y atentan contra la cohesión de estos con las sustancias aglomerantes, disminuyendo la resistencia del hormigón.

Árido grueso. Como árido grueso para la confección de los hormigones pesados se emplean grava y ripios o cascajos de piedras naturales, y ocasionalmente, escoria o ripio de ladrillo.

Grava. Es la acumulación de granos de dimensiones entre 5 y 70 mm, formados como resultado de la destrucción natural de las rocas. Los granos de la grava tienen, por lo general, forma redondeada y superficie lisa.

Según las dimensiones de los granos, se agrupan en las siguientes fracciones:
de 5-10 mm; de 10-20 mm;
de 20-40 mm y de 40-70 mm.

La grava, al igual que la arena, puede contener mezclas dañinas de polvo, arcillas, ácidos orgánicos, etc., las cuales no deben sobrepasar el máximo establecido por las normas al respecto.

Piedra picada. Se obtiene mediante la trituración de rocas, cantos rodados o piedras artificiales, hasta fracciones de dimensiones entre 5 y 70 mm.

Para la preparación del hormigón, habitualmente se utilizan ripios o cascajos obtenidos en la trituración de rocas densas de la escoria de alto horno.

4.3.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Resistencia

En las diferentes obras y construcciones que se realizan, el hormigón puede estar en distintas condiciones de trabajo; soportando esfuerzos de compresión, tracción, flexión u otros.

La experiencia ha demostrado que el hormigón es resistente a la compresión, y por esa causa, este indicador es el que se utiliza fundamentalmente para la caracterización de sus propiedades de resistencia.

Para determinar la resistencia del hormigón a la compresión se utilizan muestras en forma de cubos de $30 \cdot 30 \cdot 30 \text{ cm}^3$, $15 \cdot 15 \cdot 15 \text{ cm}^3$ y $10 \cdot 10 \cdot 10 \text{ cm}^3$. Una desviación de la resistencia proyectada para el hormigón, se permite sólo en el sentido de su aumento y hasta un valor del 15%, pues un aumento de la resistencia del hormigón en exceso trae consigo mayor gasto de cemento, y por consiguiente, aumenta el costo del hormigón.

Los factores considerados para calcular la resistencia del hormigón son:

- calidad del cemento usado,
- relación agua-cemento a/c ,
- calidad de los áridos,
- grado de densidad de la mezcla de hormigón,
- condiciones de su endurecimiento.

Es conocido que mientras más activo es el cemento, mayor es la resistencia del hormigón, sin embargo, con un mismo cemento podemos obtener hormigones de distintas resistencias, porque la variación de la relación agua-cemento oscila entre 0,4 y 0,7.

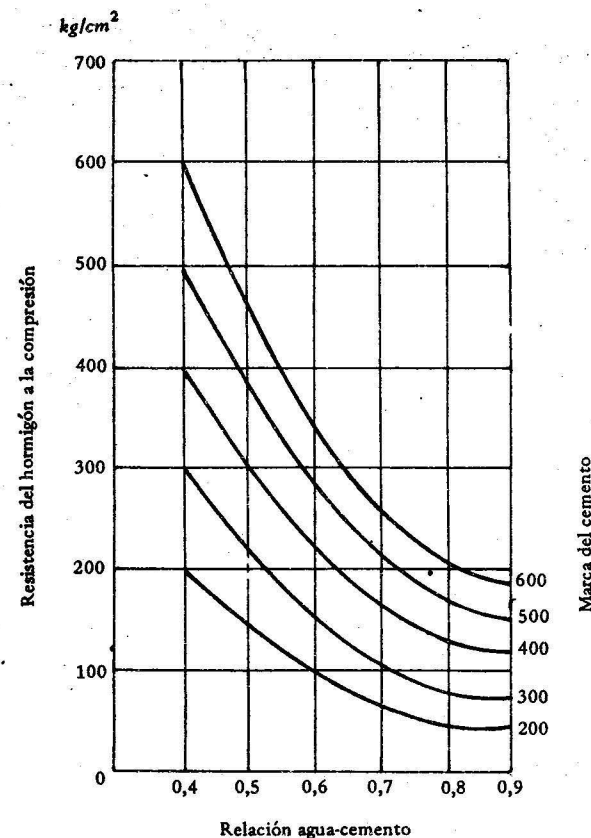


Fig. 4.1 Gráfico de la variación de la resistencia del hormigón, en dependencia de la relación agua-cemento

La influencia de los factores mencionados en la resistencia del hormigón, está establecida en gráficos (fig. 4.1) o viene expresado por fórmulas, como por ejemplo:

$$\text{si } a/c > 0,4, \text{ entonces } R_H = A R_c \left(\frac{C}{A} - 0,5 \right)$$

y si

$$a/c < 0,4, \text{ entonces } R_H = A_1 R_c \left(\frac{C}{A} + 0,5 \right)$$

donde:

R_H — límite de resistencia del hormigón a compresión en un período de 28 días, kg/cm^2 ;

R_c — actividad del cemento, dada por su límite de resistencia a compresión, kg/cm^2 ;

A y A_1 — coeficientes adimensionales que dependen de las propiedades y calidad de los materiales empleados (tabla 8).

Tabla 8

VALORES DE LOS COEFICIENTES A Y A_1

Cemento y áridos	A	A_1
De alta calidad	0,65	0,43
De calidad normal	0,60	0,40
De baja calidad	0,55	0,37

La resistencia del hormigón ante distintos factores nos permite determinar con antelación la resistencia que tendrá cualquier hormigón a la edad de 28 días, previo conocimiento de la relación a/c , de la marca del cemento usado y del tipo de agregado; también nos posibilita determinar una relación a/c que nos garantice un hormigón con la resistencia que necesitamos.

Las resistencias de los áridos gruesos no ejercen una gran influencia sobre la del hormigón, siempre y cuando estén por encima de las de este, pues el empleo de áridos gruesos de baja resistencia (por debajo de las proyectadas para el hormigón), conducirá a que se disminuya la resistencia del hormigón o a que se aumente el gasto de cemento.

Una superficie rugosa y áspera del árido influye favorablemente en la resistencia del hormigón porque garantiza una mayor cohesión con el cemento.

La resistencia del hormigón en condiciones favorables de temperatura y humedad, crece continuamente. Así tenemos que en los primeros 7-14 días, la resistencia del hormigón crece rápidamente; después esta velocidad va en descenso hasta los 28 días. La variación de la resistencia del hormigón con el tiempo viene dada, aproximadamente, por una ley logarítmica.

Para el cálculo de las resistencias de los hormigones de distintas edades puede emplearse, con bastante aproximación, la siguiente fórmula empírica:

$$R_n = R_{28} \frac{\log n}{\log 28}$$

donde:

R_n — resistencia de un hormigón de edad n días, kg/cm^2 ;

R_{28} — resistencia de un hormigón de 28 días de edad, kg/cm^2 ;

n — número de días de endurecimiento del hormigón.

Esta fórmula, se debe emplear solo en los cálculos tentativos.

Para acelerar el endurecimiento del hormigón se emplean diversos agregados, entre ellos: cloruro de calcio y cloruro de sodio, lo que en la práctica tiene gran importancia.

Movilidad de la mezcla

La capacidad de la mezcla de disgregarse bajo la acción de su propio peso o por efecto de la vibración es lo que se denomina movilidad. Para determinar esta propiedad se utiliza un cono metálico hueco que tiene una altura de 30 cm, una base inferior de 20 cm y una base superior de 10 cm (fig. 4.2).

Este cono se llena con una mezcla de hormigón que se va densificando; después de estar lleno el cono, se eleva lentamente y entonces se produce el asentamiento de la mezcla a causa de su propio peso. La magnitud de este asentamiento (en cm) nos permite evaluar la movilidad de la mezcla de hormigón.

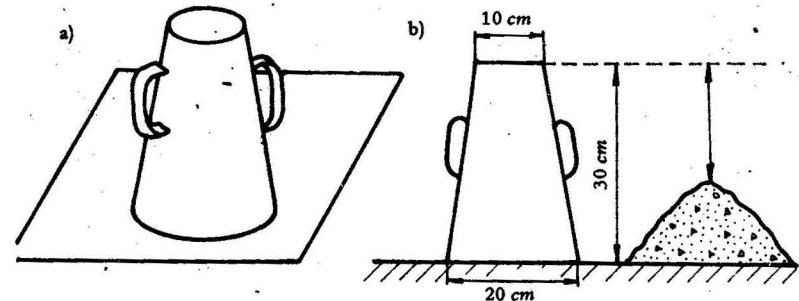


Fig. 4.2 Cono para la determinación de la movilidad del hormigón: a) cono; b) esquema de ensayo

Según este indicador, las mezclas se clasifican del modo siguiente:

la mezcla es fluida cuando tiene un asentamiento superior a los 15 cm,

la mezcla es móvil cuando su asentamiento está entre 4 y 15 cm,

la mezcla es poco móvil con un asentamiento entre 1 y 3 cm,

la mezcla es rígida cuando no hay asentamiento.

Para determinar el grado de rigidez de la mezcla se pueden emplear los viscosímetros.

Sobre la movilidad de la mezcla de hormigón influyen un conjunto de factores: tipo de cemento, contenido de agua, granulometría y forma de los granos del árido grueso, y contenido de arena.

Las mezclas de hormigón con una misma composición, pero con distintos tipos de cementos, poseen diferentes movilidades. Esto se explica por las diversas

necesidades de agua de los distintos tipos de cemento, pues a medida que sea mayor la necesidad de agua, menor será la movilidad de la mezcla o mayor será su rigidez.

Con el aumento del contenido de agua, sin variar el consumo de cemento, aumenta la movilidad de la mezcla de hormigón, pero disminuye su resistencia.

Se considera más económica la mezcla de hormigón rígida, ya que ella necesita una menor cantidad de cemento que la mezcla móvil. Cuando se va a seleccionar la movilidad de la mezcla de hormigón, se debe elegir un valor lo más bajo posible, pero teniendo en cuenta siempre que se garantice la comodidad y la calidad en la colocación de la mezcla.

A continuación mostramos la tabla 9, donde se señalan los distintos asentamientos de las mezclas, según el tipo de obra que se realice.

Tabla 9

CALIDADES DE HORMIGONES Y SUS USOS, SEGÚN EL ASENTAMIENTO POR LA PRUEBA DEL CONO

Tipo de obra y métodos de su construcción	Asentamiento del cono, cm	Indicador de rigidez
<i>Construcciones monolíticas</i>		
Para cimientos y bases de carreteras	0	50 - 60
Revestimiento de carreteras, aeródromos, construcciones masivas no armadas (paredes de apoyo, cimientos y otros)	0 - 2	25 - 35
Para construcciones masivas armadas	2 - 4	15 - 25
Placas, vigas, columnas de gran y mediana sección construidas <i>in situ</i>	2 - 4	15 - 25
<i>Elementos de hormigón y de hormigón armado</i>		
Paneles de paredes	0	60 - 80
Otros elementos de hormigón armado	0	50 - 60

Densidad e impermeabilidad ante líquidos y gases

Para alcanzar una alta densidad del hormigón es preciso hacer una elección racional de la composición granulométrica de los áridos, empleando una mezcla de hormigón con baja relación a/c , con una densificación intensiva e introduciendo en la mezcla de hormigón, plastificadores y otros agregados activos.

Es necesario tener presente que, a pesar de las medidas anteriores, es imposible obtener un hormigón absolutamente denso porque siempre se formarán poros a causa del derramamiento del agua que no entró en reacción química con el cemento durante el endurecimiento y también a causa de no eliminarse totalmente las burbujas de aire durante su densificación.

Por esa causa, el hormigón es un material permeable.

Estabilidad ante el frío

Es una de las principales exigencias que se le plantea a los hormigones que se van a utilizar en construcciones hidrotécnicas, revestimientos de caminos y otras construcciones de esta índole en países de clima frío.

Esta propiedad está caracterizada por la capacidad del hormigón para resistir una sucesión de ciclos de congelación sin disminuir su capacidad portadora en más de 25 %.

Disminución del volumen del hormigón

Durante el proceso de endurecimiento tiene lugar la disminución del volumen del hormigón. El endurecimiento del hormigón en el aire va acompañado de la disminución de su volumen; esta disminución es más intensa en el primer día (de 60-70 % del valor correspondiente a un mes).

4.3.5 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN

La determinación del contenido del hormigón tiene el objetivo de establecer el consumo de materiales necesarios para formar un m^3 de la mezcla de hormigón.

La composición de la mezcla se expresa en función de la relación existente entre los pesos de cemento, arena y árido grueso, señalándose la relación a/c ; la cantidad de cemento se toma como la unidad.

De manera general, la relación cemento-arena-árido grueso se puede expresar como $1 : X : Y$, con la relación $a/c = z$.

Se destacan dos composiciones para el hormigón: la nominal (de laboratorio) la cual es aplicable para materiales secos, y la de producción, para materiales con su humedad natural.

Los datos necesarios para el cálculo de la composición del hormigón son: marca del hormigón que se desee R_H características del cemento (actividad, peso específico, etc.), características de la arena (peso específico y volumétrico) y características del árido grueso.

En dependencia de las condiciones en las cuales va a trabajar el hormigón, se exigen unas u otras cualidades, como por ejemplo: grado de estabilidad ante el frío, estabilidad ante la acción de aguas agresivas, permeabilidad, etcétera.

La composición de la mezcla de hormigón, o sea, la cantidad de cemento, arena, agua y árido grueso, inicialmente se establece mediante el cálculo y después se precisa con el trabajo en el laboratorio.

El cálculo de la composición del hormigón se realiza en el orden siguiente:

- Se calcula la relación cemento-agua que garantiza la obtención de un hormigón de determinada resistencia.
- Se determina el gasto de agua.
- Se calcula el gasto de cemento, de árido grueso y de arena.
- Se comprueba la movilidad de la mezcla de hormigón.

Se preparan las muestras para la determinación de la resistencia a compresión y otros ensayos.

- Se determina la relación c/a mediante las fórmulas siguientes:

Para hormigones con $c/a \leq 2,5$

$$R_H = AR_c \left(\frac{c}{a} - 0,5 \right)$$

donde:

$$\frac{c}{a} = \frac{R_H}{AR_c} + 0,5.$$

Para hormigones de $c/a > 2,5$

$$R_H = A_I R_c \left(\frac{c}{a} + 0,5 \right)$$

donde:

$$\frac{c}{a} = \frac{R_H}{A_I R_c} - 0,5$$

- La determinación del gasto de agua tiene como objetivo conocer la cantidad de agua que garantiza la movilidad necesaria de la mezcla.

La magnitud gasto de agua se puede obtener en la figura 4.3, según la movilidad de la mezcla y las distintas marcas del cemento usado (dados por las curvas 1, 2, 3 y 4).

- Determinación del gasto de cemento. Conocidas la relación c/a y la cantidad de agua a que necesita la mezcla de hormigón, el gasto de cemento c se puede determinar por la expresión:

$$c = \left(\frac{c}{a} \right) a.$$

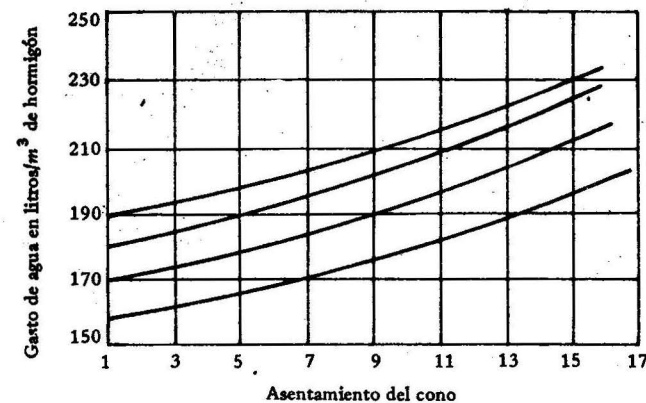


Fig. 4.3 Gráfico para el cálculo del gasto de agua, en dependencia de la movilidad de la mezcla

Para la determinación del gasto de arena y de áridos gruesos se establecen dos condiciones:

Que la suma de los volúmenes de todas las partes integrantes de la mezcla de hormigón sea igual a 1 m^3 de mezcla compactada, o sea

$$\frac{c}{\gamma_c} + \frac{R}{\gamma_r} + \frac{P}{\gamma_p} + a = 1000$$

donde:

c, a, R y P — contenido de cemento, agua, arena y árido grueso respectivamente, en kg/m^3 ;

$\gamma_c, \gamma_a, \gamma_r, \gamma_p$ — peso específico de dichos materiales, en kg/m^3 .

— Que la mezcla arena-cemento sea capaz de llenar los vacíos existentes entre los componentes de mayor tamaño (áridos gruesos) o sea

$$\frac{c}{\gamma_c} + \frac{R}{\gamma_r} + a = V_{\text{vacío}} \cdot \frac{P}{\gamma_p} \cdot \alpha$$

Con la solución simultánea de estas dos expresiones se encuentra la fórmula para determinar la necesidad de árido grueso (grava, piedra picada, etcétera).

$$P = \frac{1000}{V_{\text{vacío}} \left(\frac{\alpha}{\gamma_c} + \frac{1}{\gamma_p} \right)}$$

donde:

$V_{\text{vacío}}$ — vacío en el árido grueso en condiciones normales de esponjosidad;

γ_c — peso volumétrico del árido grueso, kg/m^3 ;

γ_p — peso específico del árido grueso, g/cm^3 ;

α — coeficiente de movilidad de los granos de árido grueso; para mezcla rígida $\alpha = 1,05-1,1$, para mezcla móvil $\alpha = 1,25-1,4$.

Una vez determinado el gasto de árido grueso, se calcula el de arena en kg/m^3 como la diferencia entre el volumen de mezcla proyectado y la suma de los volúmenes absolutos del árido grueso, el cemento y el agua.

Partiendo de que el volumen es 1 000 litros, tenemos que:

$$R = [1\,000 - (\frac{c}{\gamma_c} + a + \frac{P}{\gamma_p})] \gamma_r$$

d) Después de realizado el cálculo preliminar de la composición del hormigón se hacen ensayos destinados a comprobar su movilidad. Si se diese el caso de que la mezcla de hormigón tuviese menor movilidad que la necesaria, entonces será necesario aumentar la cantidad de agua y cemento, sin variar la relación a/c , hasta alcanzar el valor deseado. Si por el contrario, hiciera falta disminuir la movilidad, se añadirán arena y áridos gruesos, manteniendo constante la relación entre ellos.

Con el objetivo de precisar la composición del hormigón, calculada de manera orientativa, anteriormente se realizan ensayos en el laboratorio.

Se realizan los experimentos a partir de tres relaciones distintas de a/c , tomando una de ellas igual a la de cálculo y las otras entre 10-20 % (por exceso y por defecto con respecto a dicho valor) determinándose en estos casos las cantidades de cemento, agua, arena y árido grueso, como ya vimos anteriormente.

De cada mezcla se obtienen tres muestras de $20 \cdot 20 \cdot 20 \text{ cm}^3$, las cuales se conservan en condiciones normales y se ensayan a los 28 días para determinar la marca del hormigón (puede hacerse con otro intervalo de tiempo).

De acuerdo con el resultado de estos experimentos, se construye un gráfico donde se refleje la dependencia de la resistencia del hormigón con la relación a/c ; el gráfico nos permite elegir la relación a/c para obtener un hormigón de determinada marca.

Durante la mezcla de los distintos componentes del hormigón, los granos finos de arena se pueden ubicar en los vacíos existentes en el árido grueso, y los vacíos de las arenas pueden llenarse con la pasta de cemento.

Por esta razón, el volumen de la mezcla de hormigón va a ser siempre menor que la suma de los volúmenes de las sustancias componentes.

Según lo expresado hasta aquí, podemos introducir el concepto *coeficiente de pérdida de hormigón*, el cual es igual a la relación entre el volumen de la mezcla obtenida

en un estado denso V_M con respecto a la suma de los volúmenes de los componentes en estado seco:

$$\beta = \frac{V_M}{V_c + V_r + V_p}$$

donde:

V_M — volumen de la mezcla, litros;

V_c, V_r, V_p — volúmenes de cemento, arena y árido.

Este coeficiente β es una de las principales características técnico-económicas de la calidad, tanto de los componentes como de la mezcla de hormigón. A medida que aumenta este coeficiente, más económico será el hormigón.

Para hormigones hechos con áridos que tengan granos gruesos $\beta = 0,67-0,70$, mientras que cuando se empleen áridos más finos $\beta = 0,7-0,8$.

Utilizando la magnitud β se puede calcular la necesidad de cada material componente para formar la mezcla con un volumen dado, o sea,

$$C_V = (\frac{\beta V}{1\,000}) C$$

$$a_V = (\frac{\beta V}{1\,000}) a$$

$$R_V = (\frac{\beta V}{1\,000}) R$$

$$P_V = (\frac{\beta V}{1\,000}) P$$

donde:

C_V, a_V, R_V y P_V — cantidad necesaria de cemento, agua, arena y árido grueso necesarios para garantizar un volumen dado de mezcla, kg;

β — coeficiente de pérdida;

C, a, R y P — gasto de cemento, agua y árido grueso, kg/m^3 .

4.3.6 PREPARACIÓN Y TRANSPORTACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

Preparación de la mezcla

Las operaciones tecnológicas fundamentales que se realizan durante la preparación de la mezcla de hormigón son la dosificación de los materiales constituyentes y su mezclado.

Un aspecto de suma importancia cuando se va a preparar la mezcla es su exacta dosificación. Esta operación se realiza con dosificadores que pueden ser o no ser de acción continua.

La operación de mezclado se puede realizar en hormigoneras de acción continua o periódica, manualmente o en fábricas.

El principio de funcionamiento de las hormigoneras está basado en la caída libre de la mezcla o en el mezclado por fuerza; el hormigón es más resistente cuando se obtiene mediante el mezclado por fuerza.

Como norma, una hormigonera consiste en un recipiente giratorio provisto interiormente de paletas, en el que se vierten en las proporciones debidas: cemento, arena, agua y árido grueso. La mezcla se produce por la rotación del recipiente y por la acción de las paletas.

La capacidad de producción de las hormigoneras puede oscilar en grandes límites, algunos desde $1 \text{ m}^3/\text{hora}$, hasta $30 \text{ m}^3/\text{hora}$ o más.

Cuando se requiere la fabricación de grandes cantidades de hormigón, se construyen fábricas mecanizadas. Tal forma de producción del hormigón (en grandes cantidades y en forma concentrada) con su ulterior traslado a los lugares de consumo, proporciona ventajas desde el punto de vista técnico-económico, lo que se debe a los siguientes factores:

Se aumenta la producción de hormigón.

Se reduce el costo de fabricación.

Se reduce el volumen de trabajo necesario para la producción de 1 m^3 de hormigón.

Transportación de la mezcla

La forma en que se realice el traslado de la mezcla de hormigón al lugar de colocación debe garantizar que se conserve su homogeneidad y grado de movilidad.

Cuando se efectúe un traslado que demore más de lo calculado, la mezcla de hormigón se condensa a causa de la hidratación del cemento, por la absorción de agua por los componentes y por la evaporación, sin embargo, se debe lograr que la movilidad de la mezcla en el momento de ser colocada corresponda a la del proyecto.

Colocación de la mezcla

Una de las operaciones más difíciles y que consume más trabajo es la colocación de la mezcla y su densificación en los encofrados.

El encofrado es un molde hecho de madera o metal, que sirve para darle la forma deseada al hormigón y contenerlo hasta que frague.

La colocación de la mezcla en el encofrado debe realizarse antes de que la mezcla comience a fraguar, por esta razón, en los casos en que no sea colocada toda la mezcla de una vez en un encofrado, es necesario mantenerlo en estado limpio y húmeda la superficie de la mezcla colocada, hasta que se añada la mezcla que falta.

Habitualmente, y con el fin de aumentar la resistencia y solidez del hormigón colocado, se procede a su vibración.

El grado de densificación que alcanza la mezcla mediante la vibración depende, en lo fundamental, de la frecuencia y amplitud de vibración y de la duración del proceso de vibración.

Según el tipo, la forma y las dimensiones de la obra de hormigón, se emplean vibradores de distintos tipos. Así tenemos que para la colocación del hormigón en grandes superficies (pisos, placas, caminos, etc.), se usan vibradores superficiales, los cuales le transmiten vibración a la mezcla a través de una placa metálica a la cual se le fija el vibrador.

La profundidad a que se transmiten las vibraciones, alcanza hasta 20-30 cm; la duración de la vibración en un lugar debe durar un minuto aproximadamente.

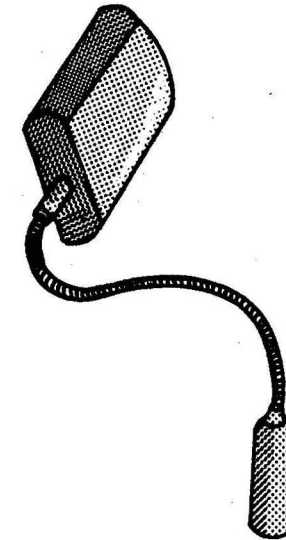


Fig. 4.4 Vibrador de inmersión

Los vibradores de inmersión o interiores se emplean para densificar mezclas de hormigón colocadas en construcciones que tengan un gran espesor, en las cuales no sea racional emplear el tipo de vibrador superficial (fig. 4.4).

Este vibrador consta normalmente de: motor eléctrico, manguera flexible, el elemento de trabajo y la base.

Los vibradores estacionarios se utilizan en fábricas donde se producen piezas desarmables de hormigón y hormigón armado (baldosas, columnas, etc.). La duración del proceso de vibración oscila entre 20 y 60 s lo que depende de la movilidad de la mezcla, la potencia del vibrador y de la frecuencia de las vibraciones.

La colocación del hormigón empleando vibradores, nos da la posibilidad de trabajar con hormigones poco móviles, lo que reduce el consumo de cemento sin que se altere la resistencia del hormigón. Otra ventaja que obtenemos con el proceso de vibración es que por el aumento de la calidad del hormigón, en ocasiones se pueden disminuir las dimensiones de los objetos u obras a construir. Esto último es importante, particularmente en el caso del hormigón armado prefabricado, donde el peso de los elementos tiene gran importancia.

Después que se coloca el hormigón, es necesario cuidar de él manteniendo la humedad necesaria y la temperatura de endurecimiento.

Cuando el hormigón adquiere cierta resistencia, se retira el encofrado. Esta operación se realiza en un intervalo de 2-12 días, según el carácter de la obra, de la calidad y tipo del cemento usado y de las condiciones existentes.

4.3.7 TIPOS ESPECIALES DE HORMIGONES PESADOS

Hormigón hidrotécnico

Es un hormigón pesado, distinto al que hemos estudiado, que se caracteriza por su elevada estabilidad ante la acción del agua, su impermeabilidad, su estabilidad ante el frío y su estabilidad ante medios químicos agresivos.

Se emplea en obras que se encuentran impregnadas de agua (total o parcial) y en las cuales este hormigón garantiza un trabajo normal para un largo plazo de servicio.

En dependencia del lugar de ubicación de la construcción hidrotécnica, este hormigón se puede encontrar:

Constantemente bajo el agua.

En la zona de cambio del nivel de las aguas.

Fuera del agua, por encima de la zona de cambio del nivel de las aguas.

En dependencia de las condiciones de trabajo de las construcciones hidrotécnicas, se pueden emplear en ellas hormigones de marca entre 75 y 500.

Hormigón antiácido

Este tipo de hormigón se obtiene a partir del cemento a prueba de ácido y otros agregados. Se utiliza en diversas construcciones en la industria química y para el revestimiento de aparatos usados también en esa industria.

La composición estimada de este hormigón, dada en peso es: vidrio líquido, 1; polvo de arena, 1; arena, 1 y árido grueso, 2. La cantidad de fluoruro de sodio silícico se toma del 15 % del peso del vidrio líquido. El endurecimiento de este hormigón se debe realizar en ambiente de calor, con aire seco.

Hormigón resistente al calor

Estos hormigones están destinados para las industrias de equipos y construcciones que vayan a soportar calor. Están capacitados para conservar en límites dados sus propiedades físico-mecánicas, aun bajo la acción de altas temperaturas en un largo período de tiempo.

En dependencia del aglomerante empleado, estos hormigones pueden ser variados, como por ejemplo:

Hormigones con cemento Portland.

Hormigones con cemento aluminoso.

Hormigones con vidrio líquido y otros.

Hormigón coloreado

Estos hormigones se emplean con fines decorativos en la construcción de edificios y otras construcciones, en líneas divisorias en los revestimientos de caminos, etcétera.

Se obtienen, introduciendo en la mezcla de hormigón pigmentos estables y coloreados, entre 8-10 % del peso de cemento, o empleando directamente cementos coloreados. Los pigmentos más usados son ocre y minio, entre otros.

En ocasiones se emplean colores agregados que poseen el color deseado: cuarzo coloreado, mármol, toba y otras rocas de color.

Hormigón para pavimentos

Las condiciones en que se usa el hormigón en los caminos y carreteras, no son las mejores, ya que él reiteradamente se moja y se seca; en los países fríos se congela y se deshíela y también recibe la acción de los medios de transporte.

Por estas causas, al hormigón que se emplee en tales fines se le exigen altas cualidades de resistencia y estabilidad.

La durabilidad de este hormigón se alcanza con una tecnología correcta de realización de los trabajos y con el empleo de materiales de alta calidad en su fabricación.

Añadiduras utilizadas en los hormigones

Para la variación de las propiedades del hormigón y de los morteros, o sea, de su movilidad, velocidad de endurecimiento, impermeabilidad, durabilidad, comodidad en su colocación y también para el ahorro de cemento se utilizan una serie de añadiduras, algunas de las cuales mostramos en la tabla 10, donde además se señalan sus funciones.

Tabla 10

AÑADIDURAS PARA HORMIGONES

Destino	Tipo de añadidura
Añadiduras minerales activas naturales	Toba, ceniza, piedra pómez, rocas sedimentarias volcánicas
Añadiduras minerales activas artificiales	Escoria de alto horno, arcilla cocida, escoria caliente
Añadiduras de complemento	Arcilla, arena, escoria de alto horno, rocas eruptivas y calizas
Plastificadores	Bagazo de derivados de alcohol (sólido o líquido)
Añadiduras para el rápido endurecimiento	Cloruro de calcio, cloruro de sodio, ácido clorhídrico, potasa
Añadiduras para demorar el endurecimiento	Sulfato de sodio, nitrato de sodio, permanganato potásico

4.3.8 HORMIGONES LIGEROS

Cuestiones generales

Los hormigones de peso volumétrico entre 500 y 1 800 kg/m³ se denominan ligeros y se destacan por su alta porosidad.

En dependencia del método de formación de la porosidad artificial, los hormigones ligeros se pueden clasificar como:

Preparado con aglomerantes, agua y agregados ligeros porosos.

Preparado con agregado grueso poroso, sin arena.

Poroso, el cual consiste en sustituir los granos del árido por poros artificialmente formados.

En dependencia de su función, los hormigones ligeros pueden ser:

Para la aislación térmica. Tienen como función principal garantizar la resistencia térmica de las construcciones protectoras. El peso volumétrico de estos hormigones muchas veces es inferior a los 500 kg/m³ y el coeficiente de conductividad térmica llega hasta $2,20 \frac{kcal}{m \cdot h \cdot g}$.

Constructivos. Están destinados a soportar cargas considerables en edificios y obras. El peso volumétrico de ellos oscila entre 1 400 y 1 800 kg/m³.

Constructivos de aislación térmica. En esta clase se unen las características de los dos tipos vistos anteriormente. El peso volumétrico varía de 500-1 400 kg/m³, y la conductividad es inferior a $0,55 \frac{kcal}{m \cdot h \cdot g}$.

Los hormigones ligeros hechos con agregados porosos presentan diferencias significativas con respecto a los hormigones normales (pesados), las cuales son causadas por los agregados porosos.

Los agregados porosos, con respecto a los demás agregados usados en el hormigón normal, tienen: menor peso volumétrico, menor resistencia y superficie mayor y más áspera.

Materiales componentes de los hormigones ligeros

Los hormigones ligeros, al igual que los normales o pesados, están constituidos por aglomerantes, agua y áridos de distinta granulometría.

Los materiales aglomerantes usados en la preparación de los hormigones ligeros, son los mismos que se utilizan para los hormigones pesados. La elección de uno u otro tipo de aglomerante depende de:

Resistencia necesaria del hormigón.

Estabilidad necesaria para las condiciones dadas.

Régimen de endurecimiento y otros factores.

Como áridos se utilizan materiales sueltos porosos, tanto naturales como artificiales, con peso volumétrico hasta de 1 200 kg/m³ en caso de granos de hasta 5 mm (arena), y de hasta 1 000 kg/m³ para granos entre 5 y 40 mm (grava, piedra picada, etcétera).

En estos hormigones también se emplean distintas añadiduras, acordes con el trabajo planificado. Para el hormigón normal, por ejemplo, se usan: escoria, toba, ceniza, piedra pómez, y otros.

Con respecto al agua es necesario emplearla limpia y que cumpla las mismas condiciones explicadas anteriormente.

4.3.9 HORMIGONES MUY LIGEROS (POROSOS)

Son hormigones cuya estructura se caracteriza por la presencia de una gran cantidad de poros formados artificialmente, con dimensiones entre 0,5 y 2 mm y llenados con aire o gases.

Estos hormigones, en dependencia de la forma de obtención de la estructura porosa, pueden ser: hormigones de espuma y hormigones gaseosos.

El hormigón gaseoso se prepara introduciendo en la mezcla sustancias que en contacto con la cal hidratada desprendan nitrógeno, oxígeno, etc., que hinch

la pasta de cemento; en tanto, el hormigón de espuma se obtiene, añadiendo espumantes a la mezcla.

En dependencia del tipo de aglomerante empleado, los hormigones porosos pueden ser:

Hormigones de espumas y gaseosos, hechos con cemento Portland.

Silicato gaseoso y espumoso, obtenido a partir de una mezcla de cal y arena cuarzosa.

De escoria gaseosa y espumosa, obtenida a partir de la mezcla de cal y escoria de alto horno, finamente molida.

Los hormigones muy ligeros (porosos), tienen una menor resistencia mecánica que los normales, pero por su menor peso se pueden hacer con ellos piezas de mayor tamaño, lo que facilita su colocación.

Estos hormigones son muy buenos aislantes del sonido y de la temperatura; los elementos fabricados a partir de ellos se pueden hacer huecos o macizos, siendo las piezas macizas menos eficaces por su mayor peso y su alta conductividad.

Entre los hormigones muy ligeros, estudiaremos las variedades siguientes:

Hormigón alveolar. Se obtiene de la mezcla mecánica de pasta de cemento con espuma. La espuma se obtiene del batido de la emulsión de agua con la colofonia, un álcali y cola.

Este hormigón se logra cuando se endurece la pasta de cemento rodeada por espuma, formando así células de aire cerradas con paredes finas.

Las principales propiedades de este hormigón son:

Peso volumétrico, entre 400-600 kg/m³.

Coefficiente de conductividad del calor, 0,08-0,12 kcal/m · h · g.

Límite de resistencia a la compresión, 5-10 kg/cm².

Este hormigón, en virtud de su poco peso volumétrico, flota en el agua, absorbe poco líquido y es resistente al fuego. Es un aislante de alta calidad y por esa razón es muy usado en construcciones industriales.

La desventaja esencial de este tipo de hormigón es su alto consumo de cemento, que puede llegar hasta 450 kg/m³ de hormigón.

Hormigón gaseoso y silicato gaseoso. Con el objetivo de dar al hormigón una estructura celular, a la mezcla se le agregan sustancias que en contacto con la solución de cal hidratada desprenden gases (N₂, O₂ y otros) los cuales hinchaban la pasta del aglomerante (hormigón gaseoso); también se puede introducir aluminio en polvo en la mezcla en 0,1-0,2 % del peso de cemento. En este caso, al producirse la reacción se forma el silicato gaseoso.

El tratamiento en autoclaves, tanto del hormigón gaseoso como del silicato gaseoso, garantiza alta resistencia y estabilidad.

Con el fin de economizar, se puede sustituir parte del cemento por arena fina o ceniza.

Silicato de espuma. Es una piedra artificial de grano fino, muy ligera, fabricada a base de cal, arena molida y un espumante. Después que se realiza la mezcla, esta se coloca en moldes de metal, para después ser sometida a la evaporización y al secado artificial.

El silicato de espuma es resistente al frío, al agua y al fuego, y puede ser cortado y cepillado con facilidad.

Hormigón coloidal. Este hormigón se obtiene poniendo el cemento en un estado coloidal mediante el empleo de equipos homogeneizadores que giran a gran velocidad, produciéndose fenómenos de naturaleza coloidal durante el proceso.

Siporex. Es un hormigón muy ligero, de tipo celular, cuya masa contiene una gran cantidad de burbujas de aire que se forman por la reacción química de sus componentes durante el proceso de fraguado.

Los componentes de este hormigón son: cemento, agua, arena finamente molida y otros reactivos químicos.

Este hormigón tiene una gran capacidad de aislamiento acústico y térmico, es fácil de laborar, no es combustible, es resistente al fuego y posee una buena estabilidad.

Se fabrica en moldes de distintos tamaños, llenándose solamente hasta su tercera parte, ya que cuando se produce la reacción química, se obtiene el llenado total de ellos.

4.4 Hormigón armado

4.4.1 ASPECTOS GENERALES

Este material, a pesar de no ser netamente pétreo amasado, lo incluimos en esta clasificación por motivos didácticos y por conveniencia para culminar el estudio de los hormigones y su utilización.

El hormigón armado es un material de construcción en el cual realizan trabajo común el acero y el hormigón.

El porqué de la combinación de estos dos elementos, que se diferencian tanto uno del otro, se explica de la siguiente forma. El hormigón, como cualquier material de piedra, tiene una buena resistencia a los esfuerzos de compresión, pero ofrece una baja resistencia a las tensiones de tracción, siendo esta, como promedio, entre 10 y 15 veces menor que la resistencia a la compresión.

Por lo tanto, el hormigón como tal no es conveniente emplearlo en obras donde actúen tensiones de tracción. Para suplir esta baja resistencia a la tracción, en los elementos de hormigón se colocan barras o cabillas de acero, obteniéndose entonces un material: el *hormigón armado*, en el cual el hormigón tendrá la función de resistir los esfuerzos a la compresión, en tanto que el acero soportará los esfuerzos a la tracción.

La posibilidad de que dos materiales tan diferentes puedan realizar un trabajo común está dado por los factores siguientes:

El hormigón de forma resistente se une con la armadura de acero, para que cuando surjan las tensiones en los elementos de hormigón armado, los dos materiales trabajen en común.

El acero y el hormigón tienen casi igual coeficiente de dilatación lineal, lo cual garantiza su integridad. El hormigón protege a la armadura de acero contra los efectos de la corrosión.

En la actualidad, el hormigón armado es uno de los materiales de construcción que más se utiliza. Esto se debe, fundamentalmente, a los factores siguientes:

Durabilidad de las obras construidas con ese material.

Con el empleo de elementos de hormigón armado de grandes dimensiones se posibilita que gran parte del trabajo se realice en la fábrica, lo cual trae consigo ventajas económicas.

Universalidad en las propiedades de este material, lo que nos permite obtenerlo con distintas propiedades físicas o mecánicas, según el caso.

Posibilidad de reducir el gasto de acero en la obra en cuestión.

Como ejemplos de obras de hormigón armado podemos mencionar, entre otros: cimientos, baldosas, columnas, vigas, bloques, tarimas, etcétera.

Como ya expresamos, la unión entre la armadura y el hormigón es muy resistente, pudiendo incluso darse el caso de que se llegue al punto de rotura de las cabillas de acero, cuando aún no se haya roto la vinculación acero-hormigón. Esta gran fuerza de enlace surge como consecuencia de las fuerzas que se desarrollan como resultado del asentamiento del hormigón que comprime a las cabillas de acero.

Con el fin de aumentar aún más la fuerza de enlace entre el hormigón y la armadura, esta se puede hacer empleando cabillas corrugadas, con lo que se pueden aprovechar mejor las propiedades del acero.

En dependencia de la forma del armado y del estado de la armadura, se distinguen:

Hormigón armado de forma normal.

Hormigón armado con el pretensado previo de la armadura.

El armado normal es aquel en el cual durante la preparación del hormigón armado la armadura se coloca directamente en el encofrado, sin ningún tipo de trabajo preliminar.

Esta forma de armado no exime totalmente a las obras que trabajan a flexión de la posible formación de grietas en la zona de tracción, pues el hormigón posee una baja capacidad de alargamiento, en tanto que la del acero, para iguales cargas, es de 5 a 6 veces mayor.

La aparición de grietas influye negativamente en el trabajo de los elementos de hormigón armado, ya que al aumentarse el pandeo en las grietas penetran gases y agua que tienden a producir la corrosión de la armadura.

Es posible eliminar este defecto mediante el pretensado preliminar de la armadura, que se puede realizar de dos formas:

Antes del endurecimiento de la mezcla de hormigón.

Cuando la mezcla ya haya alcanzado una resistencia dada.

Si empleamos la primera variante es necesario colocar la armadura en el encofrado antes de verter en él la mezcla de hormigón y proceder a fijarla por un extremo a un apoyo, mientras que por el otro se estira con un equipo especial. Una vez vertida la mezcla de hormigón y después que se endurezca, se libera la armadura; ella tiende entonces a retornar a su forma primitiva, comprimiendo al hormigón que la rodea.

Si empleamos la segunda variante, entonces la armadura se colocará en una canal que se deja en el encofrado después de colocar el hormigón. Cuando se endurece el hormigón, la armadura se tensa, se fija en los extremos mediante anclas y después se llena el canal de hormigón, el cual cuando se endurece completamente se une a la armadura.

El pretensado preliminar de la armadura no solo evita la formación de grietas en el hormigón, sino también permite disminuir el peso de las obras de hormigón armado, aumentar su rigidez, disminuir el gasto de armadura y aumentar su durabilidad.

4.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS OBRAS DE HORMIGÓN ARMADO

Las obras de hormigón armado pueden clasificarse a partir de un conjunto de aspectos, que son:

Forma de armado

Armado normal.

Pretensado previo de las armaduras.

Peso volumétrico del hormigón empleado (kg/m^3)

Hormigones muy pesados, de peso volumétrico de más de 2 500.

Hormigones pesados de peso volumétrico entre 1 800 y 2 500.

Hormigones ligeros de peso volumétrico entre 500 y 1 800.

Hormigones porosos de peso volumétrico menores de 500.

Tipo de hormigón empleado

Hormigones de cementos, hormigones pesados; áridos corrientes, hormigones muy pesados y hormigones ligeros.

Hormigones porosos.

Hormigones especiales resistentes a los agentes químicos y al calor; hormigones decorativos y otros.

Según su destino

- Edificios de viviendas y públicos.
- Edificios industriales.
- Obras y construcciones.
- Fines varios.

4.4.3 PROCESO TECNOLÓGICO DE FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

El proceso tecnológico utilizado para la fabricación de elementos de hormigón armado consta de las siguientes operaciones sucesivas:

- a) preparación de la mezcla de hormigón,
- b) preparación de los moldes para el encofrado,
- c) el armado,
- d) colocación del hormigón con vibración,
- e) tratamiento con calor y humedad que garantice la obtención de la resistencia deseada en el plazo previsto.
- f) el acabado de la obra.

Después de elaborados los elementos de hormigón armado son guardados de forma clasificada (en almohadillas de madera) con el fin de preservar su aspecto exterior y evitar golpes casuales durante su almacenamiento.

También para su transporte deben adoptarse todas las medidas de protección para evitar que estos elementos sufran daños.

4.5 El hormigón y el hormigón armado como materiales de fortificación

Para las fortificaciones de las excavaciones normalmente se emplea el hormigón pesado, con peso volumétrico superior a los $1\ 800\text{ kg/m}^3$ y con poca fluidez.

El hormigón es un material que se usa frecuentemente para fortificar, principalmente, excavaciones maestras que estén fuera de la influencia de los trabajos de arranque (por ejemplo, pozos, excavaciones alledañas y otros).

Además del hormigón normal y del hormigón armado, en la minería se emplean como material de fortificación un conjunto de hormigones especiales, entre ellos:

El acero-hormigón. Este hormigón está formado por una parte de cemento, 0,3 partes de arena, 1-15 partes de aserrín de acero (según el peso) y 10-12 % de agua. Para este proceso se emplea cemento de marca entre 400-600 y arena de cuarzo.

Es útil su empleo en la fortificación de los pisos y las paredes de las cámaras de carga situadas cerca del pozo.

Hormigón activado. Consta, en lo fundamental, de escoria de alto horno y roca quemada. La escoria se tritura en equipos especiales y allí se le añade agua y un activador. Esta operación se denomina activación y la masa que se obtiene en este proceso posee una gran actividad.

Hormigón de rápido endurecimiento (fraguado rápido). Se emplea en aquellos casos en los cuales es necesario retirar rápidamente el encofrado.

Este hormigón contiene agregados especiales que aceleran su endurecimiento y para ello habitualmente se usa CaCl_2 en una cantidad que oscila entre 2-3 % del peso del cemento. La resistencia de este hormigón, transcurridas 3 o 4 horas de preparado llega a $40\text{--}80\text{ kg/cm}^2$, y a las 24 horas alcanza los 300 kg/cm^2 .

Este hormigón se usa en minería cuando hay averías o cuando se construye una fortificación de hormigón monolítica que vaya a soportar la acción de la presión minera desde un inicio.

Hormigón coloidal. Para preparar este hormigón, inicialmente se obtiene un mortero coloidal en hormigoneras especiales que posee una velocidad de mezclado de 200 rpm o más. Este mortero posee una alta estabilidad, y antes del proceso de endurecimiento las partes de arena y cemento deben estar bien mezcladas.

Una vez colocado en el encofrado o antes de ser colocado en él, este mortero se une a los áridos gruesos y se forma el hormigón coloidal.

Este tipo de hormigón posee una alta resistencia y es prácticamente impermeable porque los morteros coloidales no se disuelven en el agua; el hormigón que se obtiene se puede utilizar para el hormigonado bajo agua, como es el caso de la fortificación en los pozos inundados.

Entre los hormigones especiales pueden incluirse también aquellos que se obtienen del hormigonado por separado. En este proceso, el primer paso es situar el árido grueso en el encofrado para después inyectar la mezcla cemento-arena en la relación 1 : 1 o 1 : 2, después que haya sido previamente sometida a la vibración.

La resistencia de estos hormigones es de 1,5-2 veces mayor que la de los hormigones normales, con un menor gasto de cemento.

4.6 Elementos constructivos fraguados

4.6.1 ASPECTOS GENERALES

Se denominan elementos fraguados aquellos materiales de construcción que llegan a la obra en forma de piezas ya elaboradas. Los hay de dos tipos: los elementos fraguados universales y los prefabricados.

Elementos fraguados universales son aquellos que tienen una dimensión determinada y se agregan unos a otros, para determinadas funciones dentro de una

obra. Así tenemos los bloques de cemento, mosaicos, baldosas de granito, baldosas de terraza, etcétera.

Entre los elementos prefabricados se incluyen todos aquellos que, como columnas, cimientos, arquivribas, paneles, etc., se prefabrican y se envían a las obras.

4.6.2 ELEMENTOS FRAGUADOS UNIVERSALES

Entre estos elementos, los bloques de cemento huecos tienen gran importancia y alto volumen de utilización. En nuestro país tienen una dimensión estándar en cuanto al largo y a la altura (40 y 20 cm respectivamente), el ancho varía y por él se determina su clasificación, pudiendo existir bloques de 7, 10, 15, 20 y 25 cm (fig. 4.5).

Con estos tipos de bloques pueden construirse paredes de 10, 15 y 20 centímetros de espesor, sin repello.

Estos bloques se fabrican con morteros de arena gruesa o con hormigón de gravilla. En estado húmedo se comprime dentro de un molde; la elaboración puede ser manual o mediante algunos tipos de máquinas.

Tienen la característica de poseer alrededor del 30 % de su volumen hueco; para ello se dejan generalmente 3 huecos cilíndricos o prismáticos rectangulares.

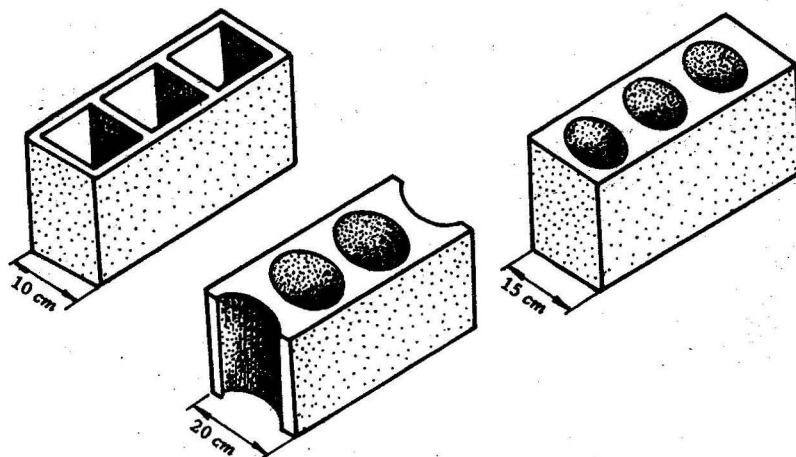


Fig. 4.5 Bloques de cemento.

En minería se emplean bloques de 20 a 25 cm macizos, para la construcción de muros similares a los que se ejecutaban con piedras naturales.

Como es obvio, también se elaboran dovelas de diversas formas y tamaños para la fortificación de túneles y galerías, empleando bóvedas de cañón, cilíndricas, semicilíndricas, rebajadas, de carpanel o de tres centros.

Entre los materiales fraguados universales, es necesario señalar los múltiples elementos que se prefabrican en forma de fibrocemento. Con el nombre de fibrocemento se registró la invención de un material nuevo, constituido por una mezcla de una parte de amianto y cuatro partes de cemento Portland de fraguado lento, aunque modernamente estas proporciones han variado con el desarrollo de la tecnología de fabricación; este material se utiliza para elementos fraguados universales, como placas lisas u onduladas (tejas), tubería sanitaria e hidráulica, así como otros materiales singulares, como tanques de agua, etcétera.

Estos elementos se fabrican en moldes. En nuestro país tienen un gran empleo en las cubiertas de naves industriales y agrícolas. Es un material incombustible y muy resistente.

El asbesto o el amianto, con sus fibras le da cierta resistencia a la tracción; con el cemento aumenta la resistencia a la flexión, permitiendo fabricar y moldear elementos finos, en forma de placas y superficies alabeadas. Modernamente se emplean tecnologías que orientan las fibras, para que ofrezcan una mayor resistencia a la tracción.

4.6.3 ELEMENTOS FRAGUADOS PREFABRICADOS

El empleo de grandes elementos prefabricados es actualmente la tendencia más acentuada de desarrollo en la construcción moderna. El montaje de estos elementos se ha convertido en una nueva técnica y un nuevo oficio en la construcción. Entre los nuevos equipos especializados, tenemos: camiones porta-paneles (paneleras), grúas-torres, grúas con plumas telescópicas y la creación de aperos mecánicos perfeccionados para la sujeción temporal de las piezas; además, existe el empleo de la soldadura, en gran escala, como fijación total o auxiliar de las piezas. El uso de los cables y de las clavijas de acero también con estos fines y una vertiginosa terminación de las estructuras de los edificios, tanto civiles como industriales, también son elementos de gran utilidad en la construcción.

CAPÍTULO 5

MATERIALES ORGÁNICOS DE CONSTRUCCIÓN

5.1 Cuestiones generales

Los materiales orgánicos de construcción están entre los materiales que desde tiempos remotos el hombre usó para construir sus viviendas y otras edificaciones de carácter social.

Son materiales orgánicos de construcción aquellos que proceden directamente de la naturaleza, de origen animal o vegetal, sobre los cuales se ejerce la acción de recolección, cultivo o crianza del hombre; por lo tanto, se excluyen aquellos materiales que teniendo una composición química semejante (materiales químico-orgánicos), son obtenidos por vía de la sintetización y se incluyen en los materiales químico-industriales. Los materiales orgánicos de construcción se dividen en tres subclases, a saber: materiales orgánicos comunes, materiales orgánicos aglomerantes y materiales orgánicos tabulares.

Entre los materiales orgánicos comunes se encuentran la madera, el corcho, las fibras vegetales, etc. Entre los materiales orgánicos aglomerantes están los asfaltos naturales, los betunes, etc., y por último, entre los materiales tabulares clasifican aquellos que son muy elaborados y sus productos tienen forma de tablas o láminas. Así tenemos: las maderas técnicas, las láminas de corcho, los prensados, las telas, el cartón, el papel, y otros.

5.2 Materiales orgánicos comunes. Definición. Agrupación

Los materiales orgánicos comunes son aquellos materiales de construcción que proceden directamente de la naturaleza y mantienen su aspecto natural, con muy pocas transformaciones introducidas por el hombre. Se dividen en dos grandes subgrupos: materiales toscos y materiales labrados.

Entre los primeros tenemos la madera en rollizos o bolos, las fibras vegetales, el corcho en capas naturales, etcétera. Entre los labrados, el material típico es la madera labrada, la cual tiene un gran uso como material de construcción como consecuencia de sus propiedades.

5.2.1 MATERIALES TOSCOS

Fibras vegetales. Entre las fibras vegetales tenemos aquellas que se utilizan directamente para la creación de diversas instalaciones temporales, en las cuales desempeñan el papel de materiales de cubiertas. Existen diversas variedades; en nuestro país el guano producido por el secado de las hojas de palma es el caso más característico. En otros países se utiliza el bambú y algunos otros materiales, productos de cañas y otras plantas.

El uso del guano en viviendas tiende a desaparecer en el país por la poca salubridad que ofrece; constituye un buen material para construcciones de gran luz, apartado y de poca dimensión relativa. Este material debe utilizarse allí donde abunde y permita una diáfana economía en la construcción de casetas, naves para comedores temporales, almacenes, etcétera. El guano proveniente de la especie conocida como palma cana es más utilizado que el de palma real. Su colocación en las cubiertas se hace sobre estructuras de madera rolliza, descortezada y las hojas secas se fijan, mediante fibras provenientes de los embriones jóvenes de las hojas de la propia palma o empleando puntillas.

La obtención de las hojas y su secado tienen una gran similitud con el proceso de obtención de la madera, pues probablemente el corte de las hojas en períodos en que están sobrecargadas de savia las hace vulnerables a la fermentación y a la pudrición. Se emplean otras fibras vegetales para la construcción (previa elaboración) que pueden ser, desde el simple hilado, como es el caso del algodón, hasta tratamientos más complejos, como lo es la obtención de fibras de henequén o el kenaf; estos elementos sirven como materia prima para la confección de tejidos o combinados, por ejemplo, unidos con yeso se emplean como material de construcción, en la creación de piezas ornamentales, piezas para cubrir cielorraso, tabiques, etcétera. También se usan como elementos flexibles, que dan a los elementos constructivos más resistencia a la tracción.

El corcho. Aunque el corcho obtenido directamente del descortezado y desenrollado del alcornoque (árbol que lo produce) se emplea principalmente en esta forma para la elaboración de tapones para botellas de licor, sus residuos se utilizan como materia prima, para la confección de productos tabulares.

El corcho se obtiene de la recolección de la parte exterior inmediata a la corteza del tronco de ciertas especies vegetales. El corcho es un tejido protector de los troncos, las ramas y las raíces gruesas. Sus células se encuentran impregnadas de suberina, materia grasa que le confiere su impermeabilidad.

El corcho más espeso se forma en el alcornoque, árbol que al ser descortezado tiene la propiedad de formar una nueva capa de corcho más fino y homogéneo. La cosecha se efectúa en dos fases: primero se realiza la pela del corcho borizo o virgen, de escaso valor comercial, después se realiza la cosecha del corcho segundero, cuando forma una capa mayor de 25 mm. Las cosechas sucesivas se efectúan en intervalos de 5 y 10 años. El corcho bruto se somete a las siguientes operaciones:

Apilamiento bajo presión para desalabearlo o aplanarlo.

Desecación con pérdida de 15-20 % de su peso.

Tratamiento en caliente, en agua hirviendo o vapor, con vistas a conferirle mayor elasticidad.

Raspado mecánico para suprimir la capa superficial, dura y rugosa.

Acabado de los bordes.

El corcho se utiliza como material de construcción para construir paneles de aislamiento térmico, insonorización de locales y amortiguación de las vibraciones.

El cuero. El cuero es un material proveniente del pellejo o piel de los animales, que una vez curtido y desprovisto de pelos se convierte en un material con determinadas características. Se emplea muy poco como material de construcción, fundamentalmente para el revestimiento decorativo interior de las paredes, por ello, desde nuestro punto de vista tiene poca importancia. No obstante, desde el punto de vista técnico, como material tecnológico, el cuero es usado para la confección de tirantes, correas para poleas, zapatas retenedoras, zapatas de freno, etc. Existe una gran variedad de animales cuyo cuero puede ser utilizado con estos fines.

Madera tosca (bolos o rollizos). La madera tosca es el material de construcción que se obtiene del talado y el secado de la materia constitutiva del tronco y ramas de algunas especies de árboles y consiste en una estructura vegetal endurecida que forma un medio vascular poroso, el cual mantiene señales remanentes de las características que le dieron nacimiento y desarrollo al árbol de origen y que determinan una cierta gama de variaciones en sus propiedades.

La madera presenta su estructura compuesta por la unión de los cuerpos celulares vegetales que lo conforman. Dichas células se encuentran endurecidas en el estado llamado lignoso (impregnado de lignina) producto de su composición formada aproximadamente por: celulosa, 50 %; lignina, 30 %; resina, almidón, tanino y azúcares, 20 %. Estas sustancias orgánicas están compuestas por elementos esenciales en el 90 % distribuidos en la forma siguiente: carbono, 46 %; oxígeno, 37,50 %; hidrógeno, 5,50 %; nitrógeno, 1 %; otros elementos, 10 %, entre ellos como elementos simples (fósforo y azufre) y como sustancias (potasa, sales de sodio, de litio, alúmina, cal, etcétera).

Estructura de la madera

Examinando la sección transversal de un tronco, desde adentro hacia afuera (fig. 5.1) se distinguen cinco partes:

Meollo o médula (conocido también como corazón).

Duramen o madera propiamente dicho, que está constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y dureza.

Albura o madera joven, que rodea la masa de madera ya formada; constituye madera en estado de formación.

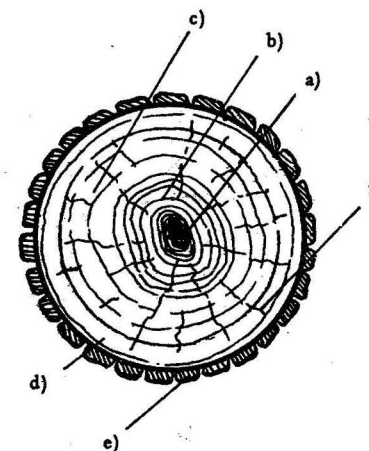


Fig. 5.1 Partes componentes de un tronco: a) meollo; b) duramen; c) albura; d) líber; e) corteza; f) rayos medulares

Líber, consta de un tejido muy delgado, que envuelve la albura y sirve para la conducción de la savia.

Corteza, es el tejido impermeable que recubre el líber y sirve de protección a la planta.

Estas partes o porciones se forman concéntricamente en forma de capas, por ello, según el número de anillos que posea un tronco, se puede determinar su edad.

Propiedades físicas

La madera, como material de construcción, posee propiedades que de conjunto la hacen un material importante, y en algunas ocasiones, insustituible. Por ello, es necesario conocerlas para poder apreciar bien sus características y utilizarlas racionalmente, pues cada tipo de madera presenta valores peculiares en sus propiedades.

Humedad. La madera contiene agua de constitución inherente a su naturaleza orgánica, agua de saturación que impregna las paredes de los elementos lignosos, y agua libre, absorbida por capilaridad a través de los vasos.

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad según el estado del medio en que vive. El agua libre desaparece totalmente cuando ha transcurrido cierto tiempo, quedando además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodea a la madera.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios, conteniendo la albura más agua que el duramen, y los árboles talados en invierno, más que los apeados en primavera.

La madera secada al aire contiene aproximadamente el 15 % de su peso en agua. Esta humedad se puede determinar por varios métodos, entre los cuales están: el método colorimétrico, el método de la conductibilidad eléctrica, el método de las pesadas y otros, que serán estudiados en el laboratorio.

Conductibilidad. La madera seca es mala conductora del calor y de la electricidad, lo que da la posibilidad de hacer las paredes de madera más finas que las de piedra. Como ejemplo diremos que, para el pino, el coeficiente de conductibilidad del calor a lo ancho de las fibras es de $0,15 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{g}$, a consecuencia de lo cual en países fríos una pared de madera de 15 a 20 cm de espesor, en cuanto a conductibilidad térmica, equivale a una pared de 51 a 68 cm de piedra.

La conductibilidad de la madera es mayor en el sentido longitudinal que en el transversal, y es mayor en las maderas pesadas que en las ligeras.

Dilatación térmica. El coeficiente de dilatación térmica de la madera es muy pequeño, pudiendo incluso ser despreciado; como ejemplo tenemos que la dilatación térmica del abeto es de $35 \cdot 10^{-7}$ y la del pino $7 \cdot 10^{-6}$.

Densidad o peso específico. Su densidad real es aproximadamente igual para todas las especies, de $1,56 \text{ g/cm}^3$. El peso volúmico o volumétrico no sólo varía de una especie a la otra, sino dentro de una misma especie, en dependencia del grado de humedad.

Según el peso volúmico en g/cm^3 las maderas se clasifican en:

Pesadas, con pesos mayores de 0,8.

Ligeras, comprendidas entre 0,5 y 0,7.

Muy ligeras, cuando es menor de 0,5.

Hendibilidad. Es la propiedad de separar la madera por cortes o acuífamiento, en el sentido de sus fibras paralelas al eje del tronco que le dio nacimiento. Se denomina vulgarmente "rajado".

El rajado es más fácil en el sentido radial, porque los radios lo facilitan; la madera es más hendible cuanto más dura sea y más seca esté, cuando carezca de nudos, si tiene fibras rectas, etcétera.

La hendibilidad es un inconveniente para el trabajo y se debe tener en cuenta cuando se utilice.

A veces la madera se hiende en el proceso de secado.

Dureza. La dureza depende casi siempre de la cohesión de las fibras y de su estructura, y consiste en la mayor o menor dificultad que la madera presenta ante la penetración de otros cuerpos (clavos, puntillas, tornillos, etc.), o al ser trabajada con herramientas.

Las maderas fibrosas son las más duras, mientras que las más ricas en vasos, son las más blandas.

La dureza de la madera varía de una especie a otra y aun de la proveniente de un mismo árbol, ya que el duramen es más duro que la albura.

Es conveniente decir que la dureza varía con el secado, siendo las maderas verdes más blandas que las secas. Como es conocido, las maderas duras son más apreciadas que las blandas.

Según su dureza, la madera se clasifica en: durísima, dura, semidura, blanda y muy blanda.

Porosidad. La porosidad se manifiesta en la madera por la existencia de conductos o vasos por donde transita la savia del árbol.

Higroscopicidad. La madera es altamente higroscópica, es decir, absorbe o desprende agua según el estado de humedad del medio donde está situada. La variación de esta cantidad de agua produce cambios sensibles en algunas de las propiedades de la madera, sobre todo en su volumen y peso.

Retractilidad o contracción. La madera conserva alrededor del 15 % de su peso en agua, producto de la evaporación; los intersticios celulares y vasos al perder el agua disminuyen de volumen y la madera experimenta una contracción. En cambio, cuando el grado de humedad es inferior al del medio, ella absorbe agua y se hincha.

La contracción es mayor en las fibras jóvenes que en las viejas, y en las maderas blandas que en las duras. La madera se contrae en tres direcciones, a saber:

En dirección del eje longitudinal de las antiguas células (largo).

En dirección de los anillos anuales (ancho).

En dirección de los radios medulares (grueso).

La contracción longitudinal se puede despreciar; según los radios medulares la contracción llega a 5 %, pero donde ocurre una mayor contracción es en dirección de los anillos anuales donde puede alcanzar hasta 10 %.

Hinchazón. Esto ocurre, como ya se explicó, cuando la madera absorbe agua del medio exterior. La madera aumenta de volumen hasta un punto llamado de saturación entre 20 y 25 %; a partir del punto de saturación aunque absorba agua no aumenta su volumen. Esta propiedad, opuesta a la contracción, se emplea en el antiguo sistema de explotación de las canteras, donde se obtienen bloques de piedra o de mármol.

Elasticidad. Es la propiedad que tienen algunas maderas para poder doblarse o ser curvadas en sentido de su longitud sin romperse, volviendo a su estado original cuando cesa el esfuerzo (aunque muchas maderas tienen esta propiedad y en el tiempo tienden a mantener la deformación elástico-plástica).

Plasticidad. Algunos tipos de maderas permiten que se les moldee. Estos cambios de forma en la madera se logran aprovechando el poder de la compresión de sus fibras.

Esta propiedad es de gran importancia en la fabricación de piezas curvadas y se aprecia mucho en la rama de la carpintería denominada *tonelería*.

Propiedades mecánicas

La madera tiene una buena proporción de valores; en cuanto a la resistencia mecánica podemos decir que resiste bien la compresión, la tracción, la flexión, y el corte, por ello, es un material tan importante y a veces insustituible.

La resistencia mecánica no se comporta igual en el sentido transversal de las fibras o a lo largo de ellas, sino tiene una cierta variación que es una de sus características.

Duración. La duración de la madera varía mucho, no sólo según la especie, la forma de corte, la forma de secado, etc., sino también según las condiciones atmosféricas y las condiciones de la puesta en obra.

La intemperie, con las alternativas de seca y humedad, es la causa principal de su destrucción. Cuando la madera se encuentra enterrada, su duración depende de la naturaleza del terreno. Por ejemplo, en los terrenos arcillosos y arenosos dura mucho más si están húmedos, mientras que en la arena seca y la caliza dura muy poco.

Cuando la madera se encuentra totalmente sumergida en agua o en terrenos pantanosos puede durar cientos de años.

Propiedades especiales

Inflamación y combustión. Las maderas arden y son consideradas como combustible, por ello es la propiedad más negativa que tienen como material de construcción.

Esta propiedad sí es buena para otras ramas, como la industria energética, en la esfera doméstica, etc.; en el arte, se aprovecha para el pirograbado de la madera. La grabación por medio del fuego se realiza con una punta metálica incandescente.

Para este objetivo se deben emplear maderas duras, de color claro, uniformes y desprovistas de nudos.

Entre las maderas más combustibles tenemos el pino, el abeto, el sauce, etc., y las menos inflamables son la encina y el ébano.

De estas propiedades hay una muy perjudicial para la conservación de los bosques y para la minería y es que la madera, en determinadas condiciones, se auto-inflama, es decir, inicia el fuego por sí misma, sin intervención de ningún otro medio.

Propiedades aisladoras. La madera es un buen aislante térmico, y estando seca es también un buen aislante eléctrico en virtud de las características y de la

discontinuidad de su materia. Las maderas ligeras, las blandas y las que tienen mucha porosidad son las más aislantes; las duras, densas y compactas son las menos aislantes.

Propiedades acústicas. Hay algunas especies de madera que por su constitución refuerzan y transmiten los sonidos; dichas maderas se emplean en la construcción de cajas de resonancia en los instrumentos musicales.

Las maderas más sonoras, empleadas en dichos instrumentos son: fresno, arce, cedro, ébano, abeto, etcétera.

También hay algunos tipos de madera que se emplean para el aislamiento acústico, es decir, para impedir el paso del sonido. La madera más usada en este caso es el pino.

Defectos

La madera puede presentar varios defectos. Pueden ser de origen natural o como consecuencia del labrado. Conocer los defectos y evitar los problemas que estos pueden ocasionar al ser utilizados, tiene gran importancia para nosotros.

Los defectos de la madera son de muy diversos tipos: defectos de la forma del tronco, defectos de la estructura de la madera, nudos, grietas, perforaciones de insectos, alteraciones, tumores y lagrimales, deposición anormal, defectos causados por las labores de explotación, transporte y labrado.

Los defectos de la forma del tronco se deben al crecimiento anormal del árbol: curvaturas, conicidad, etcétera.

Los defectos estructurales más importantes son la excentricidad, la desviación de las fibras (las fibras se alejan de la posición de la supuesta generatriz del cilindro que representa el tronco), tronco hueco (tumultos y de doble albura).

Los nudos son restos de las ramificaciones del árbol en el tronco principal; se inician cerca del corazón y por ellos salen las ramas. La piezas nudosas no se usan cuando puedan comprometer el esfuerzo mecánico.

Las grietas son de muchos tipos: de frío, resultado de bruscos cambios de temperatura, las "patas de gallo", las hendiduras o fondos. También tenemos, al igual que las grietas, separaciones de las capas concéntricas, llamadas colañas, acebolladuras o rodajes (figs. 5.2 y 5.3).

Las perforaciones producidas por insectos son de muy diversas formas, como consecuencia de la actividad biológica de una variada gama de insectos que va, desde abejorros hasta las termitas, los cuales viven en colonias.

Los lagrimales se forman cuando se seca, se pudre o se desgaja una rama. Por el hueco se filtra el agua de la lluvia que, con la savia, corrompe las partes leñosas inmediatas.

Los tumores son como úlceras producidas por efecto de algún golpe, de donde se desprende savia corrompida que produce nudos defectuosos.

La deposición anormal se produce como consecuencia de excesos de agua o resina contenidos en partes del tronco.

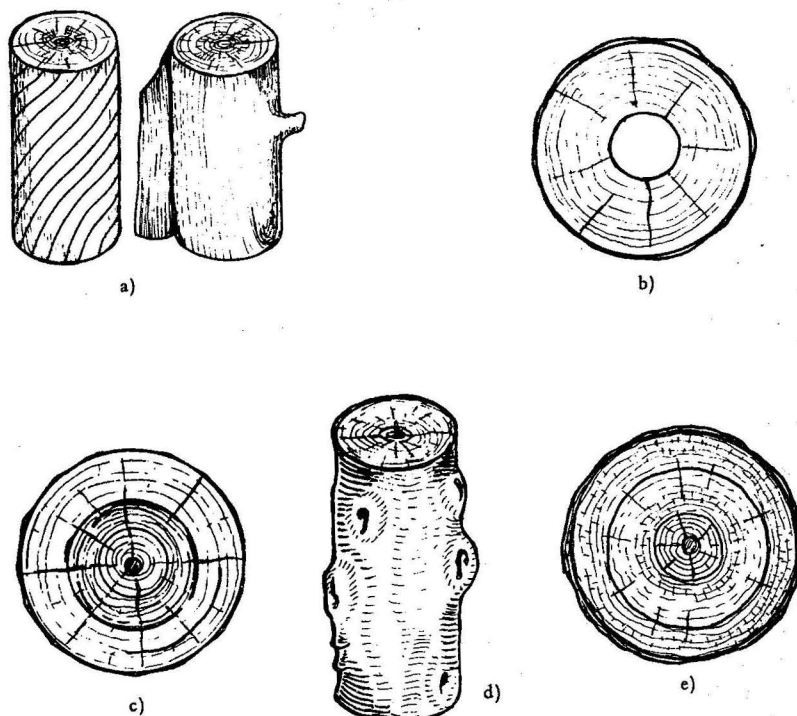


Fig. 5.2 Defectos de la madera: a) desviación de las fibras; b) troncos huecos; c) lumulado; d) nudo; e) doble albura

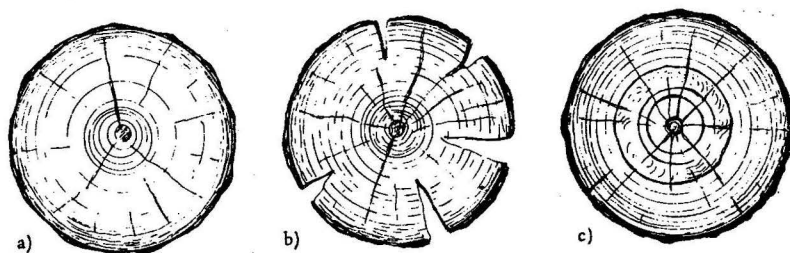


Fig. 5.3 Grietas de la madera: a) patas de gallo; b) fendas; c) anillos irregulares de crecimiento

Los defectos por explotación se deben a golpes, roturas, grietas, etc., como producto de una mala elaboración y manipulación.

Enfermedades

La madera, como materia orgánica que es, está expuesta a enfermedades y a los ataques de seres que viven a sus expensas, lo que le origina numerosos defectos o hace que con el tiempo vaya perdiendo cualidades y propiedades necesarias para mantener el trabajo que realiza en una construcción dada.

Enmohecimiento. Cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son adecuadas para la vida de los hongos, estos comienzan a desarrollarse a expensas de la madera, destruyéndola.

Los mohos, como los hongos, son seres heterótrofos, carentes de clorofila y para poder realizar sus funciones vitales necesitan de las sustancias que otros seres autótrofos le suministran, siendo por tanto, parásitos de ellos.

Los hongos se combaten aireando las maderas de construcción o las construcciones, con el objeto de desecar el ambiente y entonces tratar dichas obras con una solución de álcalis, ya que lo óptimo para los hongos es el ambiente ácido.

El desarrollo de los hongos se 'avorece', entre otros factores, con la humedad, la ausencia de luz y el empleo de madera no suficientemente seca.

El proceso de destrucción de la madera por los hongos transcurre muy rápido cuando la humedad esté entre 30-60 % y la temperatura oscile entre 18 y 20 °C.

Pudrición de la madera. La pudrición es una enfermedad producida por la descomposición de la savia, la cual da a la madera diversas coloraciones que permite que se las clasifique, aunque este fenómeno no nos indica la clase de hongo que la enfermedad provoca; así tenemos la "pudrición blanca", producida por hongos del género *Polyporus*, que tienen la forma de cascos de caballos y que convierten a la madera en una masa disgregable; la "pudrición roja" es producida por hongos himenomicetos cuya acción disuelve la celulosa, destruyendo las células y reduciendo la madera a polvo rojo oscuro; la "pudrición azul" es producida por los hongos *Peziza oreoginosa* y por el *Ceatosmella pilífera*, que comunican a la madera atacada un color azul. Esta madera puede ser usada, pues su resistencia no se debilita, y la "pudrición negra" que se produce en los árboles resinosos se debe a distintas bacterias. La pudrición tiene forma de surco.

Otras causas que destruyen la madera son el talado en épocas de mucha savia en el árbol, el secado incompleto o deficiente, la acción de insectos y moluscos, la acción del fuego y otras.

Tala de árboles

La tala de árboles se puede realizar de forma mecanizada o manual. En la primera forma se emplean sierras movidas por grupos electrógenos, de combustión interna o electricidad. Para el corte manual se utiliza el hacha.

Se realiza en las cercanías del suelo una entalladura hacia el lado que se desea hacer caer el árbol, la cual debe tener una profundidad mayor de 1/3 de la su-

perficie del tronco, después se comienza a hacer otra, en el lado opuesto, en un plano superior. El árbol cede bajo su propio peso, o se hace caer con el empleo de cuerdas o de cuñas.

Las maderas blandas que han de ser aserradas, incluso las resinosas, resultan beneficiadas si se les descortezan antes de realizar esa operación porque de ese modo se favorece la evaporación del agua que contienen.

En cambio, las maderas duras, en las que es probable que aparezcan fendas y que han de destinarse a la obtención de madera térmica, es mejor no descortezarlas, para impedir que se desarrollen grietas como consecuencia de una rápida evaporación.

La mejor época de la tala, de acuerdo con el país y con las zonas donde se efectúa, es hacia fines de invierno, antes del inicio de la primavera o la estación de las lluvias.

El árbol debe talarse en una época en que contenga la menor cantidad de savia en sus tejidos. Por estas razones en verano nunca deben talarse; la madera proveniente de árboles apeados en esta estación, reacciona con el almidón, dando una coloración azul intenso.

Procesos de desecación de la madera

Los procedimientos empleados para la desecación de la madera son muchos y se pueden agrupar en tres clases fundamentales: natural, natural acelerado y artificial.

Para la aplicación de los dos primeros métodos se necesitan superficies muy amplias, mientras que para la aplicación del tercer método se necesitan instalaciones muy costosas.

Las condiciones ideales para que el secado (natural o artificial) se realice en el menor tiempo posible son:

Temperatura elevada.

Estado higrométrico alto.

Velocidad del aire, de 1 a 1,5 m/s.

Secado natural. Es el procedimiento más antiguo, aunque se emplea en la actualidad porque es el método más sencillo y que da mejores resultados. Tiene el inconveniente de exigir mucho tiempo, inmoviliza inversiones importantes y para realizarlo hace falta mucho terreno.

Además, por este método no se consigue destruir las larvas de los insectos. Como ventaja se puede señalar que no cambia el color de la madera. lo que tiene gran importancia ornamental. Por este método la madera tarda en secarse de 3 a 6 años, como promedio.

Se realiza inmediatamente después del aserrado o labrado de la madera, en terrenos secos. El primer período de secado suele hacerse antes de que comiencen las lluvias.

Para efectuar el secado, la madera se coloca en pilas agrupadas según su calidad y dimensiones, en lugares limpios, sin hierbas y abiertos al efecto del viento.

Secado natural acelerado. Para facilitar la desecación de la savia y la eliminación de las sales, las maderas se sumergen en agua; el agua atraviesa los tejidos por ósmosis a través de los vasos y disuelve la savia, ocupando su lugar.

En algunos lugares se sumergen los troncos en charcas o estanques durante 3 o 4 semanas. Este tratamiento oscurece ligeramente la madera, pero reduce a un tercio el tiempo de secado. En los países con grandes ríos estos se usan para transportar los troncos con balsas llamadas armadías.

Este transporte desempeña la acción beneficiadora del secado natural acelerado; el agua disuelve la savia y esta se elimina más rápidamente, lo que acelera el secado.

Secado artificial. El secado artificial es un método rápido y racional para disponer, en poco tiempo, de madera seca. Por su rapidez no congela fondos, pero en cambio exige grandes inversiones iniciales e instalaciones.

Este método ofrece también la ventaja de eliminar las larvas de los insectos y los gusanos, pero puede endurecer las capas exteriores de los tejidos o echar a perder la madera durante el tratamiento.

Los secaderos se construyen en paredes dobles y suelen hacerse de ladrillos a causa de la porosidad y de sus propiedades caloríficas. Las puertas deben ser dobles y su cierre ha de ser hermético. La altura del secadero debe tener aproximadamente dos metros, lo que facilita la carga y descarga de la madera y una buena circulación del aire.

Desecación al vapor. Este método se caracteriza por ser rápido y completo; consiste en introducir la madera en el secadero, después se le inyecta vapor de agua al cual se le va aumentando gradualmente la temperatura.

El vapor ensancha los vasos, disuelve la savia y la arrastra hasta el fondo de la instalación, condensándola en forma de un líquido sucio y oscuro, compuesto por gelatina, resinas, goma, almidón, sales, ácidos, tanino, azúcares y agua.

En este proceso se deben evitar los cambios bruscos, pues si se seca rápidamente el exterior y la parte interior se mantiene igual, se producen grietas y reviros.

Durante el proceso de secado se controla diariamente el estado de la madera, observando el contenido y la distribución de la humedad.

La duración del proceso es de 18 a 20 horas por cada cm de espesor; el grueso de la madera no debe pasar de 15 cm. La operación se considera terminada cuando el líquido de evacuación sale incoloro y el agua completamente limpia; entonces, la temperatura se va disminuyendo hasta la normal.

Secado con aire caliente. Este método es muy similar al anterior; la diferencia está en que en vez de circular vapor de agua la operación se realiza con aire caliente, llevándose este la humedad. El aire se mueve impulsado por un ventilador

o por el tiro producido por diferencia de temperatura entre el aire caliente y el aire frío.

Secado por fuego directo. Se utiliza para maderas resinosas que soportan bien el calor seco. Este método consiste en que la madera colocada sobre los vagones se acerca lentamente a la fuente de calor, perdiendo humedad en la medida en que se acerca a ella.

Secado con ozono. El método se basa en hacer pasar una corriente de aire ionizado por un secadero de madera. Se obtiene un secado perfecto pues el ozono transforma al almidón contenido en las células, convirtiendo a la madera en un material inatacable por los gusanos. Este tratamiento sólo se usa en casos especiales, pues es muy costoso.

Secado por calentamiento eléctrico. Este método consiste en hacer el secado por medio de corrientes de alta frecuencia aplicadas a la madera. Además, es rápido, pero resulta altamente caro.

Conservación de la madera

Existen varias causas que provocan la destrucción de la madera, entre ellas las enfermedades, la pudrición, el fuego, etcétera.

Sus propiedades de resistir al medio pueden desarrollarse por varios métodos, como son: la carbonización, la pintura y la impregnación. La carbonización se realiza sometiendo al fuego la superficie de los troncos, con el fin de protegerlos (postes, pilotes, etc.). Fundamentalmente destruye los hongos y no es un método muy eficaz. Lo más usado en minería es el tratamiento de la madera con sustancias antisépticas.

Impregnación de la madera

La duración de la madera tiene gran importancia para la minería, y especialmente en nuestro país, donde por la tala indiscriminada de los bosques en la etapa capitalista, esta constituye un material deficitario y caro, por ello, los métodos o medidas que puedan tomarse con vistas a prolongar la vida de ella, en condiciones tan difíciles, tiene un especial interés para nosotros.

En la minería, y dadas las condiciones y propiedades de la madera, se puede asegurar su mantenimiento utilizando una ventilación efectiva, de manera que la madera se mantenga seca; para ello, además es necesario escogerla y evitar aquella que se encuentre enferma o infectada por insectos u otros organismos y deben ejecutarse correctamente las construcciones (fortificaciones) donde se emplee e impregnarla siempre que sea posible.

La impregnación consiste en aprovechar la construcción vascular de la madera, su porosidad e higroscopicidad para introducirle sustancias antisépticas capaces

de contrarrestar a los agentes dañinos que la atacan y la destruyen, prolongando con ello su duración, es decir su vida útil.

La impregnación de la madera y su duración indefinida se puede lograr perfectamente con sustancias como la creosota, sin embargo, no detallaremos su utilización porque la creosota y otras sustancias similares, si bien prolongan la vida de la madera, permiten el escape de gases y partículas dañinas para la respiración del hombre, por lo que pueden ser utilizadas en la superficie para impregnación de postes, traviesas ferroviarias y otros, pero no en la minería subterránea y a cielo abierto profunda, pues dañan la atmósfera y perjudican el proceso de ventilación. Por lo tanto, estudiaremos aquellas sustancias antisépticas las cuales pueden ser empleadas en las condiciones anteriormente explicadas.

Sustancias antisépticas usadas en minería

Las sustancias antisépticas o impregnantes se pueden dividir en tres tipos: solubles en agua, insolubles en agua y mezcladas. Al primer tipo pertenecen las sales inorgánicas siguientes:

Cloruro de cinc (ZnCl_2). Se utiliza en solución acuosa de 2-3 %. Su uso en mayores concentraciones reduce la resistencia mecánica de la madera; tiene un valor fungicida medio. Es muy soluble en agua, lo cual es una desventaja. En forma de sales es muy higroscópica, por lo que se recomienda que después de la impregnación con cloruro de cinc, se trate con una emulsión de cloruro de cinc y una sustancia oleaginosa.

Fluoruro de sodio (NaF). Es un poderoso antiséptico muy poco soluble en agua (4,6 % a 16 °C). No es volátil y no ofrece peligro en su manipulación. Se utiliza en concentraciones de 3 %.

Sulfato de cobre (CuSO_4). Se emplea en soluciones acuosas de 1 %, es muy antiséptico, venenoso, colorea la madera con un tenue color azul verdoso y tiene la desventaja de atacar a los metales.

Fluorosilicato de sodio (Na_2SiF_6). Tiene un poder antiséptico más reducido que el fluoruro de sodio. En cambio, es menos soluble (0,65 % en agua fría y 2,4 % en agua caliente), lo que hace que sea difícilmente lavado por las aguas de las minas.

Fluorosilicato de magnesio (MgSiF_6). Es tan fungicida como el fluoruro de sodio. Puede ser utilizado en concentraciones entre 2-4 % y hasta un 10 %. Presenta la desventaja de que ataca a los metales.

Cloruro de mercurio y bicromato de sodio. Siendo ambos muy tóxicos, se utilizan solamente en impregnaciones de postes para usos superficiales (es decir, sobremina).

Las sustancias de naturaleza orgánica utilizadas para preservar la madera empleada en construcciones en la superficie son volátiles e inflamables, motivos por

los cuales no se usan en construcciones subterráneas, como se expresó al inicio de este epígrafe; ellas pertenecen en su mayoría al segundo tipo.

Antisépticos mezclados. El uralito (85 % de fluoruro de sodio y 15 % de dinitrofenol) se utiliza bajo la forma de solución acuosa con una concentración de 3 %. La triolita (73 % de fluoruro de sodio, 18 % de dinitrofenol y 9 % de bicromato de sodio), no ataca a los metales y tiene propiedades similares al uralito.

Antisépticos gaseosos. Entre ellos tenemos: bióxido de azufre, gas sulfuroso, aldehído fórmico, cloropicrina, hidrógeno sulfurado, sulfato de hidrógeno, etc., pero no se utilizan en la minería.

Métodos para efectuar la impregnación de la madera

Se conocen dos tipos de métodos para la impregnación de la madera: por inmersión y por impregnación bajo presión.

Impregnación por inmersión. Se ejecuta introduciendo la madera en recipientes que contienen la solución antiséptica.

Para la obtención de una mejor impregnación, se puede realizar el método del doble baño, que consiste en realizar un primer baño a temperatura elevada, lo que crea un vacío parcial en los poros de la madera al eliminarse ciertas cantidades de aire y de agua (en el caso de esta última, cuando el baño se realiza en sustancias oleaginosas).

El segundo baño se realiza a una temperatura más baja, lo que permite que se reduzca la tensión interna del aire y de los vapores de agua contenidos en la madera, facilitándose la penetración de las soluciones antisépticas.

Las temperaturas de las soluciones y la duración de los baños dependen de la naturaleza de las sustancias antisépticas utilizadas y de las dimensiones de las piezas de madera que se impregnan.

En el caso de soluciones acuosas, la temperatura del primer baño puede oscilar entre 70-80 °C, y la del segundo entre 20-30 °C. Si el solvente es oleaginoso, la temperatura de los baños se puede elevar hasta 100 °C, siempre que el punto de inflamación del impregnante sea mucho más elevado.

El primer baño puede ser eliminado si se emplea corriente eléctrica de alta frecuencia para secar y calentar la madera. El empleo de este moderno procedimiento disminuye el tiempo de impregnación.

Impregnación bajo presión. Se realiza en autoclaves y se puede efectuar de tres maneras diferentes:

Con vacío inicial, cuando la finalidad es realizar una impregnación total.

Con vacío final, cuando se quiere obtener una impregnación semilimitada.

Con presión inicial de aire y vacío final, obteniéndose una impregnación limitada.

En el caso de una impregnación total, una vez introducida la madera en el autoclave se reduce la presión a 600 mm (columna de mercurio) con la ayuda de una bomba de vacío y se rellena el autoclave con la solución antiséptica; después se eleva la presión hasta 6 000-7 600 mm (columna de mercurio).

Esta presión se mantiene sobre la madera, hasta que absorbe las cantidades de solución antiséptica calculadas.

La impregnación semilimitada es mucho más económica; el vacío se realiza al final del proceso tecnológico, lo que permite conducir a una recuperación del antiséptico que se encuentra en exceso en las cavidades celulares de la madera.

El procedimiento con presión inicial y con vacío final (conocido como procedimiento Ruppert) conlleva un consumo específico mucho menor de impregnante. Este procedimiento consta de las siguientes operaciones: se introduce la madera en el autoclave, manteniéndola en aire comprimido entre 1 500-3 000 mm (columna de mercurio) durante cerca de 10 minutos; se agrega el impregnante sin reducir la presión; se eleva la presión en 6 000-9 000 mm (columna de mercurio) por un tiempo de 30-40 minutos; se regresa a la presión normal y se somete la madera a un vacío final de 600 mm (columna de mercurio).

Si se comprime inicialmente el aire en la forma indicada y se crea el vacío al final, una gran cantidad de soluciones antisépticas es expulsada de la madera y recogida en la autoclave.

Ignifugación de la madera para la minería

En algunos casos de la minería del carbón y de algunos sulfuros así como en minas secas, y con una elevada temperatura, se presentan las condiciones para una autoinflamación de la madera. En estos casos se hace necesario adoptar todas las medidas posibles para evitar un peligro de incendio.

La madera no se puede transformar en un material incombustible en forma práctica, pero por medio de tratamiento con ciertas sustancias se puede reducir su poder de inflamación en una señalada proporción.

Las sustancias ignífugas, es decir, que coadyuvan a rechazar o impedir la inflamación y el fuego, pueden actuar de diversos modos:

Las que se funden a una temperatura inferior a la del inicio de la combustión de la madera y la cubre con una película aislante.

Las que bajo la influencia del calor se descomponen y desprenden vapores y gases inertes.

Las que reducen la temperatura de la madera por consumir una gran cantidad de calor que necesitan para fundirse, evaporarse, etcétera.

Las que constituyen un estrato mal conductor del calor (cal, pinturas, asbesto, etcétera).

Entre las sustancias ignífugas conocidas las más utilizadas frecuentemente son:

Lechada de cal grasa.

Silicato de sodio o vidrio soluble (Na_2SiO_3) y silicato de potasio (K_2SiO_3) utilizados en soluciones acuosas con las cuales se pinta la madera. Las soluciones se aplican varias veces (180 g de cal sólida en 1 m^2 de madera) para obtener una buena protección.

Los silicatos se funden al fuego y producen un estrato aislante espumoso. Son baratos, pero su eficacia dura alrededor de un año porque se combinan con el CO_2 de la atmósfera y luego se desprenden de la madera.

Cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), se impregna en la madera y tiene cualidades ignífugas elevadas.

Fosfato diamónico $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ y fosfato monoamónico $[\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4]$. Ambos son solubles en agua, no son higroscópicos y tienen una acción ignífuga muy elevada.

Conservación de la madera en depósitos

En la minería se hace necesario mantener almacenada cierta cantidad de madera, por ello, hay que organizar y mantener concienzudamente los depósitos de madera, tanto para asegurar las mejores condiciones de conservación de la madera como para disminuir los gastos de manipulación.

La capacidad de los depósitos se determina en función de la cantidad de madera que se consume diariamente y función de la magnitud de depósito normado, que varía entre 1-3 meses y algunas veces más, según las condiciones de aprovisionamiento.

El depósito debe prepararse en las cercanías de la bocamina, en un terreno seco no inundable. La madera tosca se guarda en estibas que se colocan sobre trozos de madera labrada saludable. Está prohibida la colocación directa sobre el terreno.

Las estibas deben hacerse con los troncos que sean del mismo surtido, entendiendo por ello la misma especie, longitud y diámetro. Entre las estibas deben dejarse espacios (pasillos de 80 cm como mínimo cuando la manipulación es manual; cuando es mecanizada dependerá de la técnica a emplear). Los pasillos principales se equipan con vía férrea estrecha.

En las grandes minas se mecanizan las labores de descarga, estibado y carga en las vagonetas.

La madera labrada se coloca sobre la plataforma (paletizada o no), bajo techo, o se tapa con tela plástica. En las estibas de vigas estas se calzan cada cierto tramo, para impedir su alabeo.

Los depósitos de madera deben mantenerse permanentemente en estado de limpieza, pues las astillas y los residuos de leña pueden contaminar la madera con diferentes hongos e insectos.

Igualmente, los alrededores deben estar limpios de yerba y arbustos, así como de basuras o materiales inflamables y el depósito debe estar provisto con hidrantes y dispositivos para extinguir los incendios.

Denominación de los surtidos de madera tosca

La madera tosca en forma de bolos o rollizos tiene una gama muy amplia de diámetros y longitudes.

Bolo (rollo) grueso. Son piezas con un diámetro de 30 cm en el menor diámetro y con longitudes entre 10-15 m.

Bolo semigrueso. Su diámetro oscila entre 25-30 cm en el menor diámetro y entre 8-10 m de longitud.

Postes. Estas piezas miden de 12-25 cm de diámetro y de 7-12 m de longitud.

Vigas rollizas. Se emplean generalmente para techos, con un diámetro de 15-25 cm y una longitud de 3-6 m.

Maderos. Son troncos que miden de 15-25 cm de diámetro menor y entre 5-10 m de longitud.

Apeas. Son rollizos que tienen un diámetro menor de 10-15 cm. Cuando las apeas tienen longitudes entre 3-5 metros y se utilizan para fortificar el espacio minero se denominan *entibos*.

Ademes. Son piezas cortas de pocos metros y de diámetro entre 15-25 cm que sirven para hacer fortificaciones en lugares de una gran presión minera.

Pilotes. Son despojos de rollizas y puntales, provenientes de la parte superior de los árboles, cuyos diámetros oscilan entre 10-14 cm.

Semirrollizos. Son piezas que se obtienen al cortar un tronco en dos mitades mediante un aserrado longitudinal (fig. 5.4a).

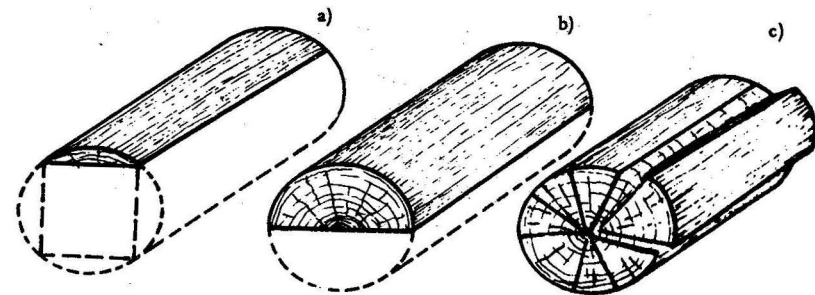


Fig. 5.4 Surtidos de madera tosca: a) costanera; b) semirrollizo; c) rachas

Costaneras. Son piezas con una sección de media luna, provenientes del aserrado de los rollizos, cuando se obtiene una pieza escuadrada central (fig. 5.4b). Se utiliza mucho en minería en los revestimientos de galerías y otras excavaciones.

Rachas. Son piezas toscas obtenidas al cortar el tronco longitudinalmente, por sus radios (fig. 5.4c); se utilizan igual que las costaneras (para el revestimiento), que en minería se llama *encamado*.

5.2.2 MATERIALES LABRADOS

Aspectos generales

Entre los materiales orgánicos labrados que se utilizan en la construcción, estudiados anteriormente hay dos que sobresalen: el cuero y la madera, y por su uso casi universal, la madera labrada es el único material representativo de este tipo de material de construcción. La madera labrada, por su grado de elaboración, puede ser simplemente: aserrada, aserrada y cepillada y conjugada.

La madera aserrada se obtiene cortando los rollos o bolos al hilo, siguiendo diversos métodos basados en varios aspectos, entre los que están: el máximo aprovechamiento del tronco, la obtención de piezas resistentes y menos propensas al agrietamiento, la eliminación del reviro en las piezas y otras. La madera aserrada se puede presentar bajo diversas denominaciones, según las formas y dimensiones de las piezas que se obtengan.

Formas de la madera aserrada

Vigas. Son piezas de sección rectangular y aristas vivas de 4-10 m de longitud y de dimensiones transversales (en cm) entre $5 \cdot 20$ y $25 \cdot 35$.

Viguetas. Son piezas de una menor sección y longitud que las vigas. Deben tener entre $8 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm}$ y $15 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm}$ de sección y una longitud máxima de 5 m.

Tablas. Son piezas semejantes a los tablones en la forma de su sección, pero de menores dimensiones que estos; pueden ser de 10-30 cm de ancho y 1-3 cm de espesor.

Tablones. Son piezas de sección rectangular, con ancho predominante, por lo que podemos hablar de su espesor. El ancho oscila entre 10-30 cm, el espesor entre 5 y 10 cm y el largo de 2-10 m.

Listones. Son piezas de sección rectangular con aristas vivas, de pocas dimensiones. Su sección oscila entre 2.4 cm y 5.8 cm , su largo es de varios metros.

Listoncillos. Poseen una sección similar a las anteriores, pero con dimensiones entre $1 \cdot 2$ y $2 \cdot 4 \text{ cm}$.

Madera aserrada y cepillada

Esta madera tiene las mismas denominaciones que las simplemente aserradas. La madera puede estar cepillada por una, por dos, por tres o por todas sus caras.

En la medida en que se adquiere con más caras cepilladas es más costosa. Las tablas cepilladas por una o tres caras se utilizan para la construcción de cofres para vaciados de hormigón simple o armado.

Madera conjugada

Le damos el nombre genérico de madera conjugada a aquella que está preparada para unirse con una similar a ella, por una de sus caras o extremos opuestos.

Podemos distinguir tres tipos: ensamblajes, empalmes y trabazones. En la construcción clásica, estas configuraciones se les daba a la madera a pie de obra y constitufan elementos u operaciones propias del oficio de carpintero en blanco, pero modernamente, la madera aparece previamente aserrada, cepillada y configurada, recortándose en obra solamente según la longitud deseada o utilizándose directamente, como en la minería, donde la preparación de la madera para su uso como material de fortificación y para otros fines se hace en los talleres ubicados en la superficie de la mina.

Entre las ensambladuras, que son uniones ejecutadas entre piezas de madera para obtener ángulos o diedros, existen muchas configuraciones, algunas de las cuales pueden verse en la figura 5.5, en tanto en la figura 5.6 podemos ver ensambladuras empleadas en fortificaciones mineras.

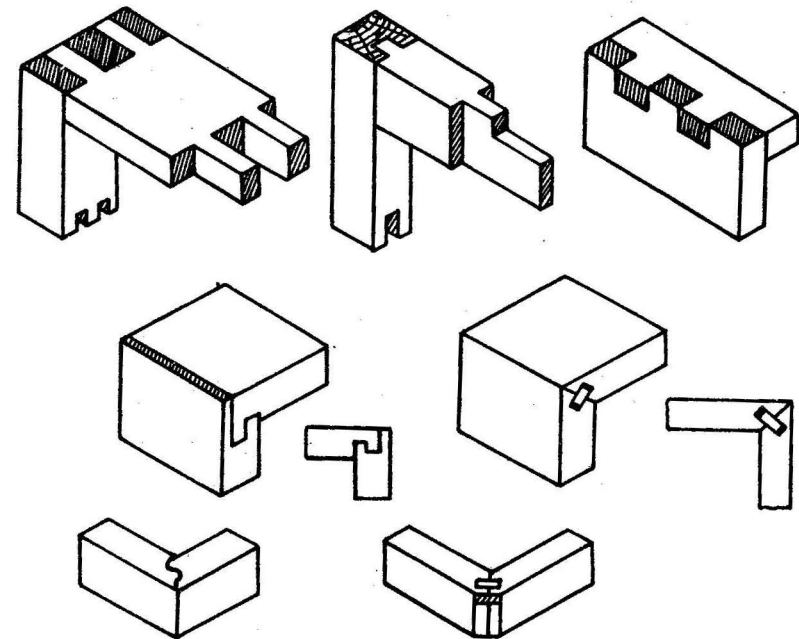


Fig. 5.5 Formas de ensamble de la madera

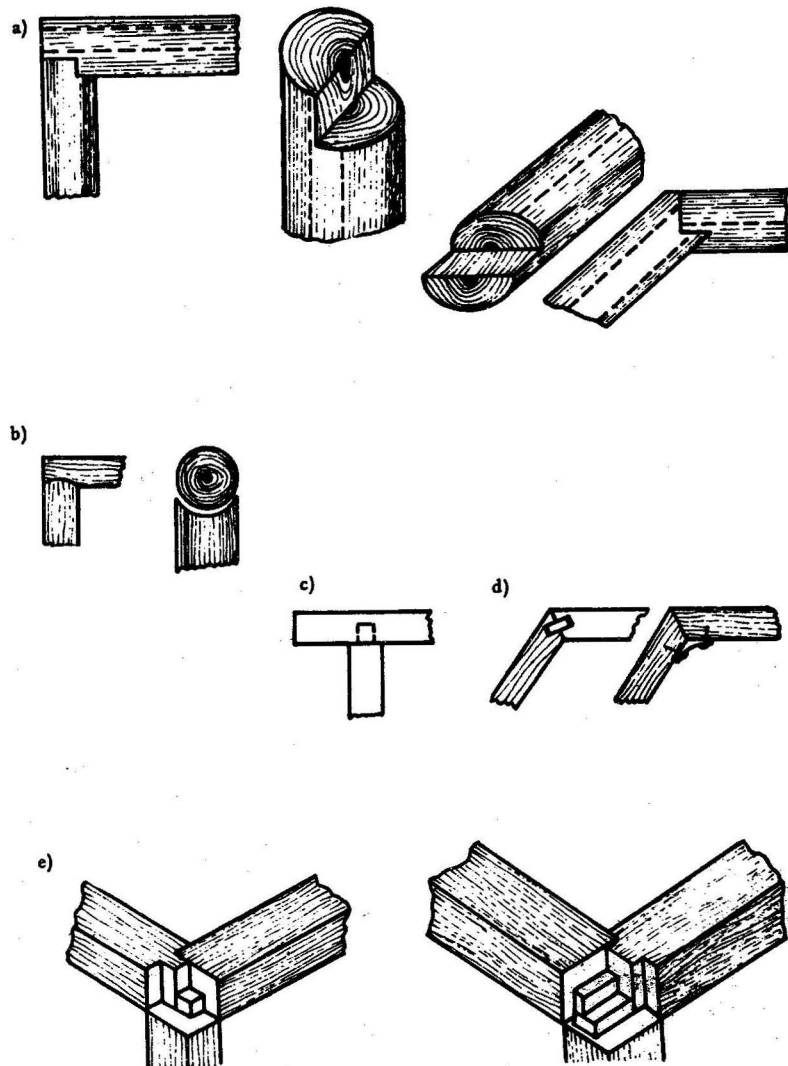


Fig. 5.6 Ensambladuras usadas en la fortificación de minas: a) dentada; b) de ranura; c) de espiga; d) de bisagra; e) mixtas

Para las empalmaduras que se emplean mucho en las guías de los pozos de las minas, se utilizan distintas configuraciones (fig. 5.7).

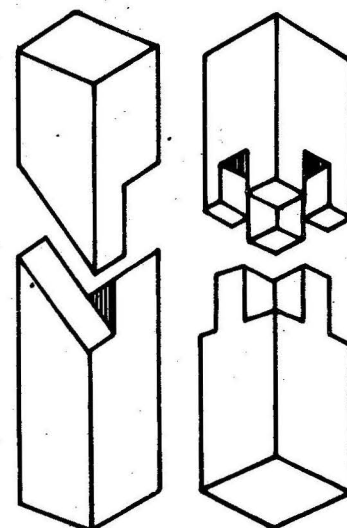


Fig. 5.7 Diversos empalmes de la madera

Denominamos trabazones a las diversas uniones que se ejecutan en los cantos de las tablas, tablones o listones, con la finalidad de unirlos bien o con otros fines.

Se distinguen en los machihembrados (fig. 5.8a), la media madera (fig. 5.8b), la cola de milano (fig. 5.8c), perfiles botaaguas (fig. 5.8d) y otros.

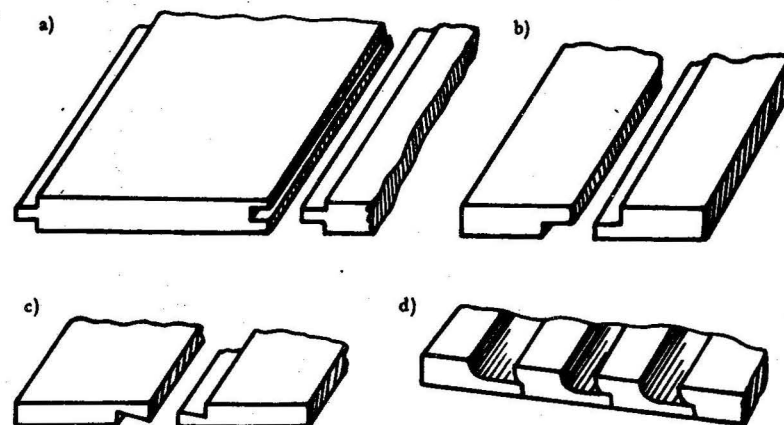


Fig. 5.8 Trabazones de la madera

5.3 Materiales orgánicos aglomerantes

5.3.1 ASPECTOS GENERALES

Son los materiales de construcción que proceden de la naturaleza y tienen un carácter orgánico; pueden ser utilizados como tales o recibir preparación previa.

Entre ellos tenemos los engrudos, las colas calientes o de carpintero, los betunes, los asfaltos y los hormigones asfálticos (*macadam* bituminoso).

Engrudos. Se utilizan para el empapelado de paredes y tabiques interiores, se confeccionan de almidones, harina, féculas, etc., a los cuales se les añaden sustancias fenólicas u otros tipos de antisépticos, para proteger al papel contra los insectos.

Colas calientes o de carpintero. Constituyen los pegamentos más usados en la construcción aunque el desarrollo científico-técnico las ha sustituido por las sustancias pertenecientes a la subclase de materiales químico-aglomerantes. A diferencia de los engrudos, las colas se preparan con agua y se calientan, pues en estas condiciones es que ofrecen mejor calidad. Se utilizan preferentemente en la unión de piezas de madera, para el reforzamiento de madera conjugada, en puertas, ventanas y otros elementos utilizados en la construcción; también pueden usarse para empapelar paredes.

Las colas son sustancias que provienen de las colas de animales (como las de pescado), de pieles y de huesos; tienen la desventaja de que no resisten la humedad, pero en cambio, son baratas y fáciles de utilizar.

5.3.2 BETUNES Y ASFALTOS

Según el Congreso Internacional de Carreteras (Milán, 1926) citado por Orus Asso, se entiende por:

Betún. Mezclas de hidrocarburos naturales (o de petróleo) sólidos, viscosos o líquidos, que contienen una pequeña porción de productos volátiles; tienen propiedades aglomerantes y son completamente solubles en el sulfuro de carbono.

Asfalto. Es un producto natural o compuesto, en el que el betún asfáltico sirve como aglomerante de materias minerales inertes.

Propiedades de los betunes

Los betunes son de color negro o marrón oscuro, se presentan en estado sólido, viscoso o blando, y líquidos a la temperatura ordinaria. Su densidad oscila entre 1,1 y 1,4.

Los betunes sólidos se reblandecen a los 50 °C y se funden entre 100-130 °C. Arden, sin dejar residuos, con una llama amarillo-verdosa. Los betunes, a diferencia de los alquitranes, son muy estables hasta 250 °C. Con el tiempo envejecen a causa de la oxidación y como efecto de los rayos ultravioleta; los afecta el agua estancada y la saturada en cal.

Tipos de betunes

Entre los prototipos de betunes naturales más conocidos están los de Judea (Siria), la grahamita, la gilsonita (de procedencia americana), muy rica y empleada para fabricar barnices.

El asfalto natural (asfaltita). Se puede presentar como mezclas de rocas calizas, arcillosas, margosas, impregnadas de betún, con una proporción entre 2-14%. Las calizas son las más abundantes en estas mezclas; estos minerales se trituran, y en este estado, debidamente tamizados, se calientan a pie de obra en forma artesanal o mecanizada y se emplean para pavimentar.

Mastique asfáltico. Es una mezcla de asfalto en polvo con betún en caliente, con 15-20% de betún y un punto de fusión de aproximadamente 70 °C. La mezcla se funde a 150 °C y se vierte en moldes para obtener bloques o empaques que posteriormente serán recalentados y usados a pie de obra, para impermeabilizar o pavimentar, según el caso.

Aplicaciones. Los betunes se utilizan para impermeabilizar cubiertas, impregnación de cartón y otros materiales, con vistas a protegerlos contra la acción del agua, de la corrosión o hacerlos impermeables. Se emplean como materia prima junto a los asfaltos y al preparar morteros y hormigones bituminosos para la pavimentación.

Los hormigones bituminosos. Son hormigones que se preparan mezclando áridos de diversas granulidades con betún y asfalto, obteniéndose los hormigones asfálticos para constituir el acabado de los firmes de carreteras, explanaciones, pisos, vías industriales y otros.

El *macadam* bituminoso (como también se le conoce) se emplea mucho en las condiciones de nuestro país, constituyendo la mayor parte de nuestras vías de comunicación.

5.4 Materiales orgánicos tabulares

5.4.1 ASPECTOS GENERALES

Son materiales de un alto grado de elaboración, sometidos a la industrialización; tienen como base la industrialización de los productos orgánicos comunes, los

ales utiliza como materia prima para transformarlos o para unirlos a materiales aglomerantes orgánicos, o de otra naturaleza, creando aglomerados.

Son materiales cuyo uso tiene amplias perspectivas, pues permiten el aprovechamiento racional de los residuos de la madera, el corcho y las fibras vegetales. Entre ellos se incluyen los productos de la industrialización de los elementos de madera, empleados en las obras; marcos, ventanas, puertas, etc.; por esa razón los agrupamos en:

Laminares.

Prensado-aglomerados y prensado-aglomerados-enchapados.

5.4.2 MATERIALES LAMINARES

Aspectos generales

En la subclase de materiales orgánicos tabulares, al igual que en los comunes, la madera constituye el material principal, aunque en este caso se presenta bajo una nueva forma, más industrializada: la *madera técnica*.

La madera técnica genéricamente incluye los materiales de forma tabular, cuyos tamaños son el producto de la elaboración industrial, destinados a una utilización distinta a la que tiene la madera común.

Tipos de materiales laminares

Entre los materiales laminares tenemos las chapas, las contrachapas, el papel, el cartón y otros.

Chapas. Obtención y uso. La técnica del enchapado resuelve en la actualidad el consumo de madera y las exigencias cualitativas de la decoración interior en la construcción moderna, así como la construcción de elementos de carpintería, facilitando y abaratando estas labores.

Se da el nombre de chapas a unas láminas delgadas de madera cuyo grueso oscila entre 0,2 y 5 mm; cuando estas chapas tienen un espesor de 4-10 mm se llaman regresos.

Se distinguen dos tipos de chapas: las de revestimiento y las de contrachapas, que sirven para preparar la madera técnica ionizada. Según la disposición de las vetas, las chapas pueden ser lisas o de vetas regulares, onduladas, de aguas, mosqueadas, de oruga y nudosas. Existen tres sistemas de fabricación de las chapas: las chapas de sierra, las chapas de cepillo y las chapas desenrolladas. Estas últimas son las de mayor perspectiva y nos ocuparemos de describir su fabricación. Las anteriores se utilizan con la finalidad de obtener chapas decorativas para muebles y otros elementos artísticos y decorativos.

Las chapas desenrolladas se obtienen en máquinas semejantes a un torno, el cual hace girar el tronco previamente reblandecido y preparado para evitar el agrietamiento y la rigidez de la chapa que se va a obtener.

La máquina está provista de una cuchilla longitudinal que va desenrollando del tronco una chapa uniforme en su espesor (fig. 5.9).

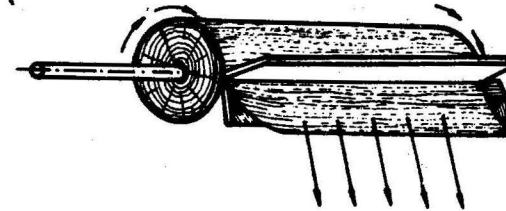


Fig. 5.9 Esquema del principio de trabajo de la máquina chapadora

Con este procedimiento se logra obtener chapas de menos de 0,1 mm, que después van encoladas sobre una delgadísima base de papel y hacen un grueso total de 0,1-0,2 mm. Estas chapas se fabrican desde 70 hasta 130 cm de ancho; se empaquetan en grupos y sirven para el enchapaje de elementos confeccionados con madera ordinaria, las cuales se recubren para que parezcan una pieza continua.

Madera ionizada. Es ya conocido que las cualidades físico-mecánicas de la madera son muy diferentes a las de otros materiales. En efecto, por su estructura fibrosa la madera ofrece muy diversos grados de resistencia, de acuerdo con que la presión que se ejerza sea paralela o perpendicular a las fibras.

Según lo expresado, se deduce que la madera natural no es un material homogéneo y que su resistencia varía en función de la disposición de sus fibras. Por otra parte, los nudos, la médula, los anillos de crecimiento, los radios medulares, las irregularidades y los defectos de su estructura hacen que la madera sea un producto de propiedades variables.

Si añadimos a esto la tendencia al alabeo, los efectos del secado, la propensión a la fenda en determinada dirección y el curvado hacia la médula, tendremos una clara idea de su poca estabilidad.

Con la fabricación del material compensado se ha eliminado la mayor parte de estos inconvenientes, creando al efecto un material nuevo que es inalterable, igualmente resistente en todos los sentidos y no sujeto a las deformaciones causadas por el calor y la humedad.

La madera terciada y contrachapada. La madera contrachapada es la unión de las chapas mediante encolado, situando las fibras de una en relación con la otra, en ángulo recto. Las maderas contrachapadas se distinguen por el número de chapas que tienen unidas; es muy común la unión de dos chapas finas de aproximadamente 1 mm de espesor, contra una chapa intermedia de igual espesor o mayor. Este tipo específico de contrachapado se denomina comúnmente *madera terciada* (fig. 5.10).

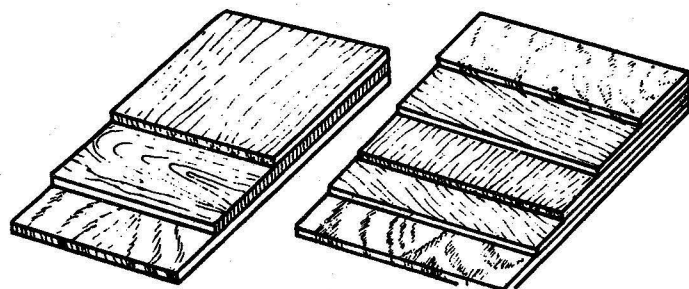


Fig. 5.10 Madera contrachapada

Las contrachapas de espesor superior a 5 mm se hacen encolando chapas a contrahilado alternativamente. Así, las hay de 5, 7, 9 y más hojas. Las contrachapas muy gruesas se fortalecen introduciéndoles listones o listoncillos, o simplemente regruesos.

Hay chapas formadas por alma de tablillas (fig. 5.11 a) las hay por alma de listones (fig. 5.11 b), las hay de núcleos de regruesos contrahilados y con alma de listones estriados (fig. 5.11 c).

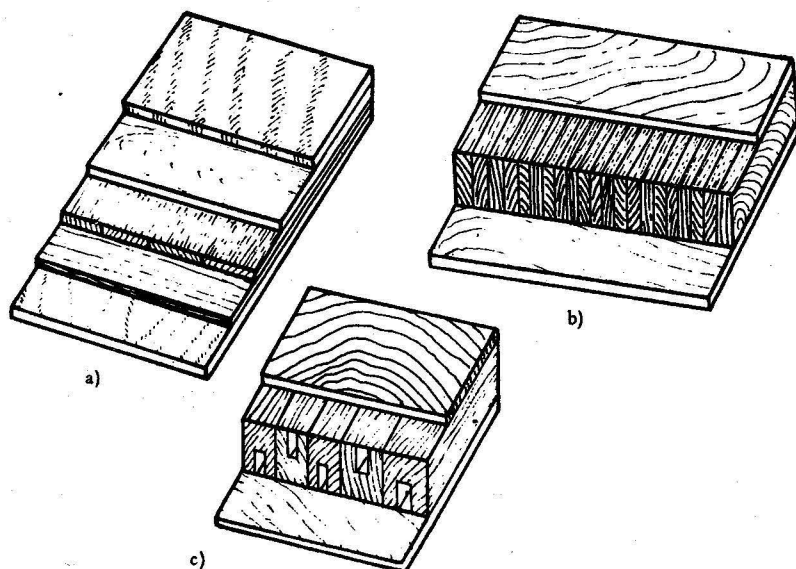


Fig. 5.11 Maderas contrachapadas con diversas almas: a) con alma de tablillas; b) con alma de listones; c) con alma de listones estriados

Fabricación del contrachapado. La madera que más se emplea es la de opumé desenrollada, que ofrece grandes superficies lisas y estables, muy aptas para chapas de maderas finas. Las demás especies deben ser escogidas tronco a tronco, con minuciosidad; deben ser homogéneos, carentes de resina y de nudos y con las fibras rectas.

Las maderas muy nudosas o muy resinosas, con fibras hendibles y reviradas, no son adecuadas para fabricar buenos tableros o planchas. El encolado puede realizarse húmedo, en frío, en caliente o en seco, según el tipo de cola que se emplee como aglomerante orgánico o aglomerante químico-industrial.

Una vez preparada la cola y las chapas correspondientes según el grueso del contrachapado, se procede a aplicar la cola, lo cual puede hacerse con brochas (manual) o a máquina; a continuación se someten a la compresión de los platos de la prensa. Las presiones suelen variar según se trate de encolados en frío o en caliente: para los primeros serán de 6-12 kg/cm² y para los segundos suelen ser de 12-20 kg/cm², con temperaturas superiores a los 60°C.

El último proceso de fabricación de las planchas consiste en el cepillado y el lijado a máquina, con lo cual se obtiene el acabado requerido, con el espesor previsto.

Los contrachapados se clasifican según la posición de la veta externa, en el sentido más largo o más corto del panel o plancha. Así, por ejemplo, un panel de 2 m · 1 m significa que es un panel longitudinal, pues la veta corre en el sentido mayor, el de 2 m. Si fuese transversal, se presentaría de 1 · 2 m.

Los paneles o placas se fabrican, comúnmente, de 3, 4, 5, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22 y 24 mm de grueso y con dimensiones estándares de 2 · 1 m y 2,40 · 1,40 m. En general, los paneles están formados por 3 chapas, hasta los 6 mm; por 5 chapas hasta los 12 mm; por 5-7 chapas hasta los 20-24 mm. Mientras más chapas formen parte de la composición del entrechapado, más fuerte será el panel.

El papel y el cartón. El papel y el cartón son materiales laminares con aspecto de hoja, que se obtienen de la celulosa.

La celulosa es una sustancia orgánica que se encuentra en las células vegetales. Industrialmente se puede obtener de la madera y de otros materiales como paja, fibras, y recientemente se ha obtenido ventajosamente a partir del bagazo de la caña de azúcar.

Las fibras vegetales deben ser trituradas primero y puestas a hervir en recipientes con diversas sustancias, hasta lograr la separación de la lignina y otros componentes de la celulosa. Esto se puede obtener por varios procedimientos químicos basados en ácidos, álcalis, cloro o con monosulfito.

Una vez separada, la celulosa es mezclada con sustancias de relleno (talco, caolín o yeso) para endurecerla, y con sustancias encoladoras (como la colofonia), formándose una pasta que es prensada entre cilindros de acero, calientes, obteniéndose papel o cartón, en dependencia del espesor.

El papel se utiliza en la construcción como impermeable cuando se une y se impregna con aglomerantes orgánicos, al igual que el cartón (tejas infinitas o papelón

de techo), o se utiliza como material decorativo para empapelar el interior de viviendas, oficinas, etcétera.

El cartón, según su gran variedad de calidades sirve para construir tabiques, cielos rasos, cubiertas y otros.

Otro tipo de papel especializado que se utiliza en las construcciones como material gastable es el papel de lija; es grueso, fuerte y sobre él, previamente embadurnado con cola u otro material adhesivo, se esparce polvo o granos de esmeril, o de vidrio común molido; sirve como abrasivo para alisar y pulir metales, maderas y otros materiales.

5.4.3 MATERIALES PRENSADO-AGLOMERADOS Y PRENSADO-AGLOMERADO-ENCHAPADOS

Aspectos generales

La industria de tableros de madera prensada-aglomerada comenzó su desarrollo hace apenas varios lustros, ofreciendo grandes perspectivas, en primer lugar por el uso máximo de un elemento tan deficitario mundialmente como la madera, y en segundo lugar, por el empleo de sustitutos para ella, como lo son las sustancias celulósicas no maderables, cuyo ejemplo más cercano para nosotros lo constituye el bagazo de caña de azúcar, y en tercer lugar, porque una pieza de madera común es mucho más fácil de trabajar en el sentido longitudinal de la fibra que en el sentido transversal.

A esta gran diferencia en el trabajo de la madera, según el sentido de la fibra, se le añade la diferente dureza de las distintas especies de madera, como también el trazado más costoso en maderas cuyas fibras se cruzan más o menos en ángulos de 90°, como sucede en una pieza que tenga varios nudos.

Todas estas dificultades se obvian en los tableros prensado-aglomerados. Las fibras de madera en las virutas planas y delgadas, o en los simples haces de fibras, se cruzan en todos los sentidos, tanto en la superficie como en el interior. Estos tipos de tableros se presentan como un material bastante homogéneo.

Cualidades de los prensado-aglomerados

Entre las ventajas que ofrecen, tenemos:

Estabilidad, aún mayor que el panel contrachapado, por la disposición de las fibras.

Resistencia a la humedad por la mayor impermeabilidad de sus fibras.

Resistencia a los agentes atmosféricos y a los desequilibrios de temperatura (depende mucho del aglomerante utilizado), porque sus fibras son impermeables, amorfas y no se pudren.

Ausencia de encolados y de capas de sustancias químicas que por su higroscopicidad puedan alterar las propiedades de la masa leñosa.

Posibilidad de fabricar grandes tableros (hasta de 5 • 1,22 m) que facilitan la colocación y reducen al mínimo los desperdicios.

Dureza media.

Tipos de prensado-aglomerados

Continuamente aparecen en el mercado nuevos tipos de tableros confeccionados a base de resinas. Los inconvenientes iniciales que los paneles han tenido hasta el presente han ido desapareciendo con las mejoras que la ciencia y la técnica introducen en su fabricación.

Los prensado-aglomerados reciben diversas denominaciones, las cuales son de carácter comercial. Se fabrican prensado-aglomerados con los residuos de carpintería (virutas, aserrín y fibras). Se emplean como materiales vegetales fibrosos, ciertas hojas y ramas de árboles previamente preparadas y cañas de deltas de los ríos.

En nuestro país se desarrolla exitosamente el uso de un derivado de la caña de azúcar, el bagazo, no sólo para cartón y papel, sino para construir un nuevo tipo de material muy utilizado en interiores, en mueblería y decoración. Estos tableros se fabrican de varios espesores y tamaños.

Aunque muchos prototipos de prensado-aglomerados se colorean o se tiñen y cuando se les pule alcanzan una bella coloración y aspecto suntuoso; los materiales de poca calidad en su terminación se pueden revestir con chapas exteriores por ambas caras, utilizando cartón y chapas de madera. Así surgieron los tableros prensado-aglomerado-enchapados, que externamente parecen madera contrachapada, aligeran su peso específico y permiten la fabricación de paneles de varios centímetros de espesor, los cuales tienen excelentes propiedades antiacústicas y sirven para la ejecución de tabiques o revestimientos de cámaras o salas industriales donde se requiere hermeticidad sonora, como son las salas-despachos donde laboran operadores de pizarras industriales o se utilizan señales sonoras.

Entre los prensado-aglomerados se encuentra uno que recibe un uso parecido en la construcción, pero no sólo como aislante sonoro, sino térmico; nos referimos a las planchas de corcho aglomeradas. Estas se fabrican con los residuos de la industria del corcho tosco o común, en láminas delgadas de unos pocos milímetros, las cuales se utilizan en las cámaras frigoríficas para su revestimiento interior. Para este tipo de revestimiento las láminas se clavan a listones previamente fijados en las paredes con clavos plásticos (para evitar los escapes de calor y la oxidación) y posteriormente se recubren con mallas de alambres y repello de mortero fino. Otros materiales prensado-aglomerados son las baldosas de madera-viruta, que se fabrican de la viruta especialmente preparada o de residuos y aserrines aglomerados por medio de resinas sintéticas. En dependencia del grado de condensación de la baldosa, su peso volumétrico varía en límites amplios de 300-800 kg/m³.

Las baldosas de madera-viruta pueden tener de 5 a 70 mm de espesor y se usan para el recubrimiento de los pisos, para la fabricación de puertas, tabiques, y para el aislamiento térmico; las baldosas de madera-fibra se obtienen de los resi-

duos de la industria forestal y de la madera, mediante el baño de las fibras de madera con polímeros y su posterior prensado en caliente. Las baldosas ligeras de este tipo pueden tener un peso volúmico de $300-600 \text{ kg/m}^3$, pudiendo llegar, cuando estén bien prensadas, hasta $1\,100 \text{ kg/m}^3$. Las baldosas tienen un espesor de 3,5-8 mm y se usan para revestir paredes y techos, son impermeables y resisten el agua caliente.

CAPÍTULO 6

MATERIALES METÁLICOS DE CONSTRUCCIÓN

6.1 Cuestiones generales

Esta clase de materiales es una de las más importantes y agrupa una parte considerable de los materiales de construcción modernos: el hierro, principalmente en forma de acero, el aluminio, el plomo, el cinc, el cobre y el estaño.

Los metales casi nunca se usan puros, sino mezclados con otras sustancias formando aleaciones. Los metales se obtienen de los minerales que se encuentran en la corteza terrestre mediante tecnologías mineras y metalúrgicas. Para ser empleados en la construcción, ellos deben reunir una serie de propiedades que a continuación enumeramos brevemente.

6.2 Propiedades de los metales

Fusibilidad. Es la propiedad de los metales antes mencionados que con la elevación de la temperatura hasta un valor acorde con cada uno de ellos, les permite pasar del estado sólido al líquido. Este valor disminuye con el empleo de sustancias llamadas fundentes. Dicha propiedad permite emplear los metales para formar piezas por medio de la fundición, rellenando moldes cuando ellos se encuentran en estado líquido.

Forjabilidad. Es la deformación plástica producto de su tratamiento bajo presión estática o dinámica; esta propiedad nos permite moldearlo empleando la fuerza suministrada por yunques, martillos o prensas. Dicha operación se realiza calentándolo por debajo del punto de fusión.

Maleabilidad. Los metales pueden cambiar de forma a temperatura ambiente por acciones mecánicas externas que lo laminan y lo estiran. A esa propiedad se le llama maleabilidad.

Tenacidad. Es la resistencia que opone el metal al ser sometido a la tracción.

Ductilidad. Es la cualidad de poder ser reducido a alambre, es decir, poder ser hilado.

Facilidad de maquinado. La mayor o menor resistencia que opone a ser trabajado en el taller mecánico por distintas operaciones, como: dejarse cortar, rebajarse en virutas, barrenarse, etcétera, es la facilidad de maquinado.

Soldabilidad. La propiedad de unirse entre sí o a otro metal por medio de la soldadura, la cual se realiza de varias formas, es lo que llamamos soldabilidad.

Oxidabilidad. Cualidad en general negativa, que consiste en reaccionar con el oxígeno, creándose óxidos por combinaciones químicas. En el caso de los aceros para hormigones, disminuye la calidad de estos.

Estas propiedades, necesarias para los metales que se emplean en la construcción y la forma de obtenerlos en la metalurgia y de trabajarlos, será estudiada en un material complementario que está en proceso de edición.

Por separado o de conjunto, estas características determinan operaciones industriales de la metalurgia conformativa y del taller mecánico, como la fundición, el laminado, el estampado y las operaciones de taller (metalomecánicas), y definen la naturaleza o la forma del producto obtenido. Por ello, nos proponemos utilizarlas para determinar las subclases de los materiales metálicos de construcción.

6.3 Clasificación de los materiales metálicos

Podemos clasificar estos materiales en: materiales metálicos simples, materiales metálicos conjuntivos (de unión) y materiales metálicos complejos.

6.3.1 MATERIALES METÁLICOS SIMPLES DE CONSTRUCCIÓN

Son aquellos materiales de construcción de naturaleza metálica que han sido obtenidos empleando una de las operaciones industriales antes reseñadas; así tenemos, los materiales laminados, fundidos, pulverizados, granulados estampados y trefilados.

Materiales metálicos laminados. Entre los materiales laminados los más utilizados en construcción son las barras empleadas para construir armaduras metálicas que se emplean en los elementos de hormigón armado. Las barras son de muy diversos tipos; según su sección pueden ser redondas o cuadradas. En nuestro país se conocen bajo la denominación de "cabillas".

En la construcción de armaduras, cuando estas se unen por amarre y no por soldadura, se emplea alambre de hierro dulce. Para la constitución de las partes de la armadura, llamada de unión o de temperatura, se emplean el alambrón y las cabillas de poco diámetro; para las armaduras de carga o portantes se emplean cabillas de mayor diámetro y casi en la actualidad, se utilizan sólo las de sección circular, el alambre y el alambrón, que se fabrican con la superficie lisa y vienen en rollos; en

cambio, las cabillas gruesas se sirven en tramos y en su generalidad tienen la superficie estampada con una serie de protuberancias uniformes, como si fueran arrugas; a este tipo de barras se les denomina "cabillas corrugadas" (fig. 6.1).

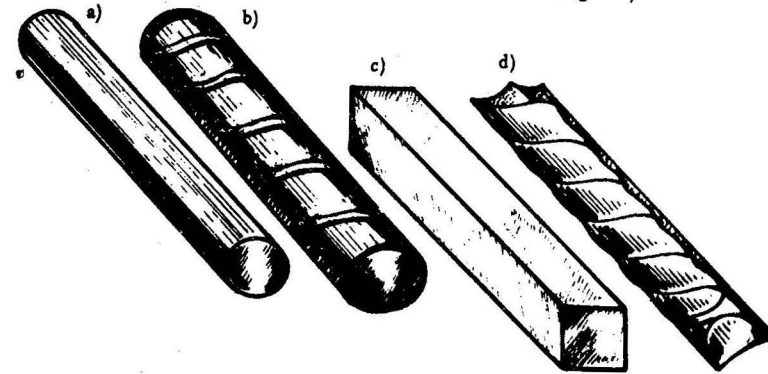


Fig. 6.1 Distintos tipos de barras de acero: a) cabilla redonda lisa; b) cabilla redonda corrugada; c) cabilla cuadrada lisa; d) cabilla cuadrada torcida

Otro de los laminados de gran uso, sobre todo en la construcción industrial, son los perfiles de acero. Los perfiles son barras gruesas obtenidas por laminación en frío o en caliente, es decir, por deformación plástica del metal. Generalmente son de acero, aunque para la construcción moderna se fabrican muchos perfiles de aluminio de algunas decenas de milímetros de sección para la construcción de verjas, antepechos, barandas, ventanas, puertas, etc. Entre los perfiles industriales de acero (fig. 6.2) tenemos el angular, la viga I, la viga H, la viga cuadrada hueca o viga C, perfiles de los raíles de vía férrea y perfiles especiales.

Entre los perfiles laminados se encuentran también los llamados tubos sin costura; estos se fabrican siguiendo métodos muy complejos, y por tanto, caros desde el punto de vista económico.

En general la fabricación consiste en calentar un lingote o cilindro de acero u otro metal, introducirle a presión una aguja o vástago que creará, por expansión, un hueco central longitudinal o canal que se irá ampliando con la introducción sucesiva de agujas o vástagos de mayor diámetro.

La cubierta o pared exterior del tubo se formará integralmente sin empates o uniones que produzcan líneas de debilitamiento; estos tipos de tubos se utilizan en los oleoductos y en instalaciones donde se necesitan tubos que resistan altísimas presiones.

Los más abundantes, entre los tubos que se emplean en diversas labores de construcción y en la industria moderna son los tubos con costura, que se fabrican por fundición o por laminado y soldado; estos últimos pueden ser fabricados con la junta recta o con la junta en línea helicoidal.

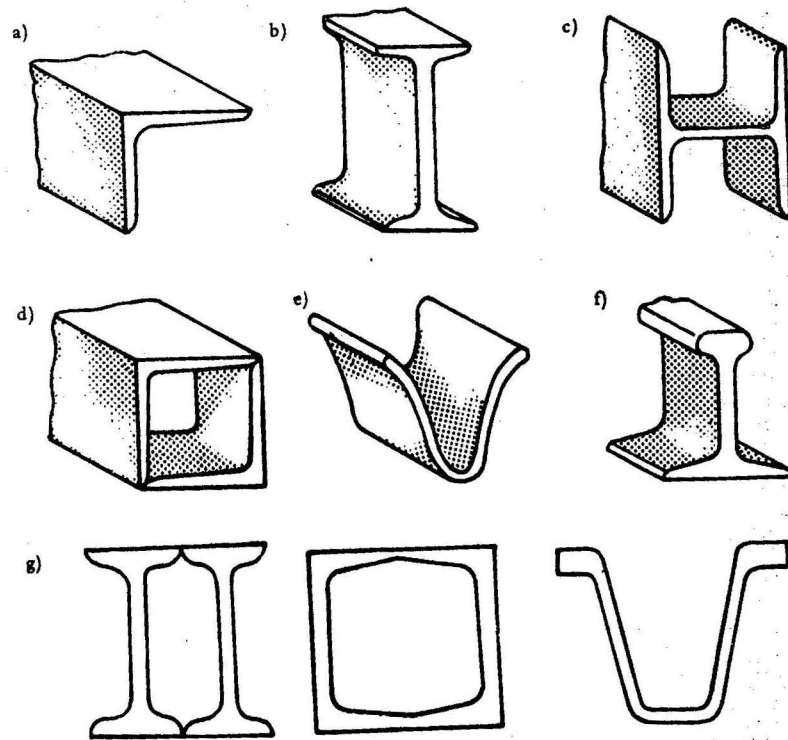


Fig. 6.2 Perfiles de acero: a) angular; b) viga I; c) viga H; d) viga cuadrada hueca; e) viga U; f) raíles; g) secciones especiales

Entre los laminados, están las planchas, de las cuales se destacan las antitresbalantes, que constan de una tabla de poco espesor que tiene por una de sus caras, al relieve, una filigrana o dibujo el cual permite su empleo para peldaños de escaleras industriales y entresijos de plantas industriales.

Materiales metálicos fundidos. Estos materiales se usan muy poco en la construcción; entre los más utilizados se encuentran los tubos, anteriormente mencionados. Se fabrican en dimensiones que van desde algunos milímetros hasta varios centímetros, en cuanto a su diámetro. Se emplean en instalaciones hidráulicas y de aire comprimido, en lo que a la minería se refiere. También se fabrican piezas de enlace o uniones y tuberías de varios centímetros de diámetros (10, 15, 20) (fig. 6.3).

Materiales metálicos pulverizados o granulados. Estos materiales se fabrican en la actualidad principalmente de aluminio y cemento con vistas a la producción del material de construcción compuesto llamado hormigón metálico u hormi-

gón de aluminio, en el cual se sustituyen los áridos por polvos metálicos o granulados, pero manteniendo las propiedades del hormigón sin disminuir su peso volumétrico.

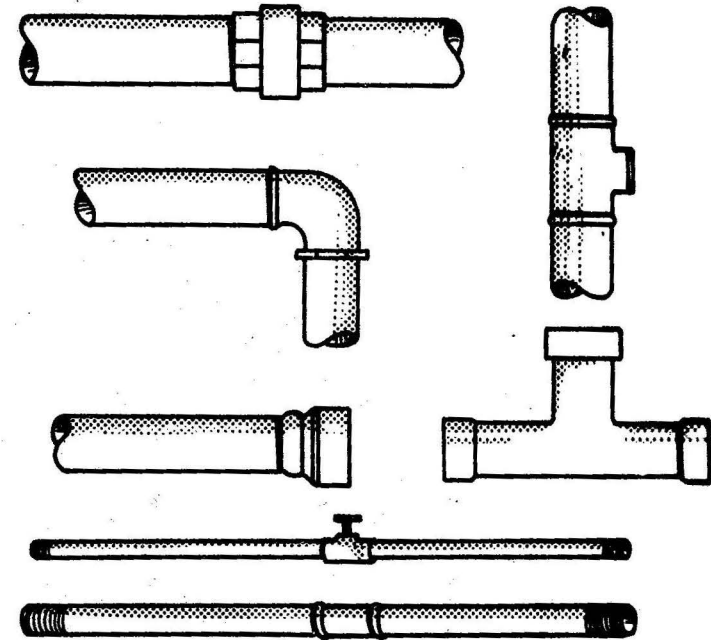


Fig. 6.3 Tubos sanitarios de hierro

Materiales metálicos estampados. Son materiales que se producen a partir de la conformación de planchas metálicas en frío o en caliente, bajo la presión de prensas hidráulicas y accionando sobre matrices (moldes machihembrados) los cuales dan forma al producto. De esta manera se construyen muchas piezas de aluminio para grifos o llaves hidráulicas ornamentales, rejillas de baño, etcétera.

Materiales metálicos trefilados. Son materiales contruidos con el empleo de alambres que se trenzan por medios mecánicos y su producto son los cables. Los cables, como material de construcción, se emplean poco en minería. Su uso principal y más abundante es como material tecnológico. En la construcción civil ocurre igual; se emplean como material tecnológico en las máquinas de izaje, pues solamente en la construcción de puentes colgantes en la ingeniería vial se usan como elemento importante constitutivo de la construcción. En nuestro país se está empleando en los sistemas de edificios prefabricados IMS, como enlace de las columnas.

Todos estos elementos son muy utilizados en las edificaciones civiles e industriales y en minería, particularmente en las edificaciones en la superficie.

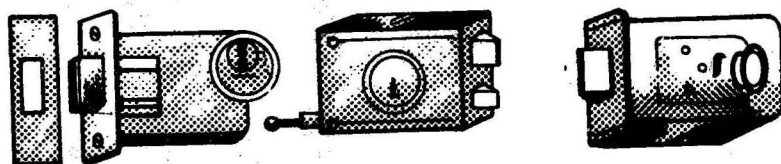


Fig. 6.7 Cerraduras

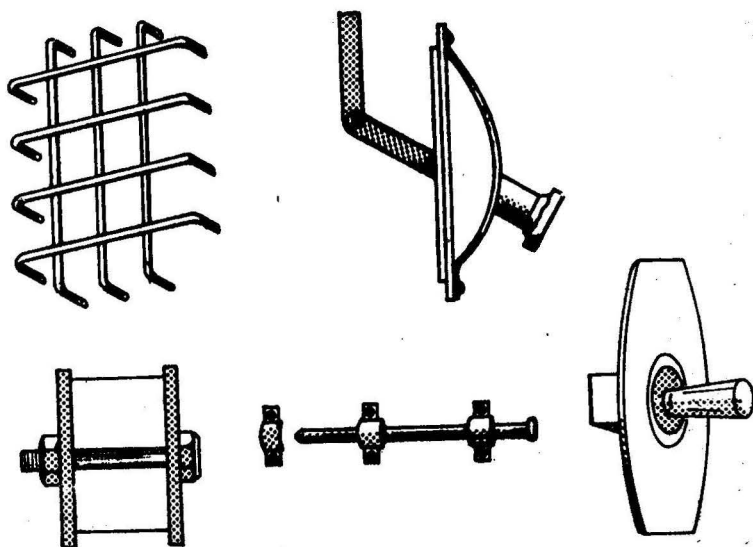


Fig. 6.8 Otros herrajes

CAPÍTULO 7

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN QUÍMICO-INDUSTRIALES

7.1 Cuestiones generales

Se denomina material químico-industrial aquel que tiene naturaleza inorgánica (u orgánica) y se produce mediante un conjunto de transformaciones de carácter químico, sobre las bases de la industria moderna. Entre dichos materiales existen algunos muy perspectivas, varios de los cuales han sido descubiertos recientemente.

Los materiales químico-industriales están en pleno auge y desarrollo, por ello su subclasificación no es definitiva, aunque los agrupemos en cuatro subclases:

- Materiales químico-protectores.
- Materiales químico-aglomerantes.
- Materiales químico-aglomerados.
- Materiales químico- auxiliares.

7.2 Materiales químico-protectores

Se denominan materiales químico-protectores aquellos materiales químicos industriales que sirven para cubrir y proteger a los elementos y hechas constructivas, contra la intemperie, las atmósferas interiores, los gases, líquidos y polvos nocivos con los cuales puedan estar en contacto las construcciones. Como material principal de esta subclase están las pinturas.

7.2.1 PINTURAS

En general, las pinturas son soluciones líquidas, generalmente coloreadas, que aplicadas por extensión (con brocha), pulverización (con pistolas o aparatos pulverizadores) o inmersión, forman una capa o película opaca en la superficie de los materiales de construcción (a diferencia de los barnices, que pueden ser incoloros) a los cuales protege y decora.

Las pinturas están constituidas por un pigmento sólido y un solvente líquido.

Desde el punto de vista de la protección, las pinturas se utilizan para proteger a los materiales contra la corrosión, las radiaciones solares y ultravioletas, y otros agentes químicos; también sirven para aumentarles la resistencia ante los cambios de temperatura.

Los pigmentos y sus tipos

Son los componentes que le dan color a las pinturas, aumentan su resistencia ante la acción de agentes atmosféricos y retardan el proceso de envejecimiento y destrucción. Los pigmentos pueden ser:

Pigmentos inorgánicos

Blancos. Albayalde, blanco de plomo (cerusa) que es un carbonato básico de plomo, $2\text{PbCO}_3(\text{OH})_2$; blanco de cinc, ZnO , óxido de cinc (polvo blanco ligero obtenido por combustión del cinc o por precipitación); blanco de plata, PbCO_3 carbonato de plomo (parecido al albayalde, pero más resistente al sulfhídrico): litopón, $\text{ZnS} \cdot \text{BaSO}_4$, blanco de Griffith.

Amarillos. Amarillo de cromo, PbCrO_4 , cromato de plomo (se ennegrece con el sulfhídrico); amarillo de cinc, ZnCrO_4 , cromato de cinc; amarillo de cadmio, SCd , sulfuro de cadmio (es resistente a la luz); litargirio, protoóxido de plomo cristalino; ocre amarillo, hidróxido férrico hidratado.

Rojos. Rojo de cromo, $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, cromato básico de plomo; rojo de hierro, Fe_2O_3 , óxido de hierro (III), recibe diversos nombres según el tono: minio de hierro, color rojo intenso; rojo inglés, un color rojo más o menos intenso, finamente pulverizado; rojo turco, color escarlata; rojo índico, color púrpura; rojo venecia, color ladrillo; minio aluminio-férrico-titanio, mezcla de óxidos proveniente de las bauxitas (se usa para pinturas anticorrosivas); ocre rojo o almagre, se obtiene calcinando los ocre amarillos.

Verdes. Verde de cromo, Cr_2O_3 (se emplea en pinturas al agua); verde de Scheele, de Brunswick.

Azules. Azul ultramarino, complejo compuesto de silicato aluminico sódico y sulfuro sódico; azul prusia, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, ferrocianuro de hierro (III); azul de cobalto, $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, óxido cobaltoso con alúmina, y como impurezas, el cinc.

Negros. Grafito, negro de humo. Se obtiene al quemar materias orgánicas; igualmente tenemos el negro marfil y el negro carbón.

Pigmentos inertes. Se llaman también cargas o relleno de pintura. Barita o baritina BaSO_4 ; sílice SiO_2 ; creta CaCO_3 .

Pigmentos orgánicos. De origen animal: carmín (rojo de cochinilla), se extrae del insecto de este nombre, es ácido carmínico y se usa para las lacas; sepia,

materia colorante negra que se extrae de la jibia (molusco parecido al calamar); de origen vegetal: índigo (añil).

Pigmentos metálicos. Polvo de aluminio, de bronce y de plata.

Solventes

Los solventes pueden ser de tres clases: según la sustancia que se tome como base:

Aceites vegetales (pinturas al óleo).

Resinas (esmaltes).

Sustancias orgánicas naturales o sintéticas.

Entre ellas tenemos los aceites de: linaza, linaza sulfurado, madera de China, adormideras, girasol, ricino, pescado, alquitrán, esencia de trementina o aguarrás y éter de petróleo.

Clases de pinturas

Existen pinturas que tienen diversos usos; así tenemos:

Pinturas al óleo. Que son aquellas que se preparan con aceites vegetales.

Pinturas bituminosas o asfálticas. Se obtienen por disolución de betún natural o petróleo, brea de hulla o madera con aceites grasos, benzol, etcétera. Protege al hierro contra la oxidación y a las maderas enterradas en lugares húmedos.

Pinturas a la cera. Se preparan mezclando cera con aguarrás y barniz; se emplean principalmente para pisos de madera (en climas fríos) y para el acabado a los pisos de granito pulido, en cuyo caso puede sustituirse por la parafina.

Pinturas ignífugas. Son pinturas que se preparan para poder resistir temperaturas hasta de 500°C . Se usa polvo de aluminio o grafito y solventes de caucho clorado y resinas de urea.

Pinturas resistentes a los ácidos. Se fabrican con aceite de madera y 30-40 % de resinas sintéticas, como la baquelita.

Pinturas antioxidantes. Se preparan con minio de plomo entre 60-80 %, aceite de linaza cocido o aceite de madera.

Pinturas plásticas. Estas pinturas están constituidas por materias plásticas que secan por polimerización y por pigmentos inalterables a la luz, dispersos en ella. Los aglomerantes más usados son las materias plásticas de acetato y cloruro de polivinilo, y el poliestireno.

En este tipo se incluyen las pinturas de caseína, buenas para interiores, y especialmente las pinturas de vinil, para exteriores.

Barnices. Son líquidos más o menos fluidos que, extendidos en capas delgadas sobre los cuerpos se solidifican y dan una superficie lisa, continua, incolora, brillante; realza los colores y los protege contra los agentes atmosféricos. Pueden ser transparentes u opacos.

Los barnices están constituidos por resinas y gomas o ceras, disueltas en aceites secantes o con disolventes volátiles y materias colorantes.

Se clasifican según el disolvente que forma parte de ellos en: barnices al óleo, lacas o barnices volátiles, barnices-lacas y barnices celulósicos, aunque también se les conoce por la resina que contienen.

Esmaltes. Son barnices grasos o celulósicos, teñidos de colores, generalmente de origen mineral; para su preparación deben ser mezclados homogéneamente, obteniéndose pinturas de secado rápido, superficie brillante adherente, elástica, compacta, cuyo brillo aviva los colores.

Lacas. Se obtienen por una disolución de resinas u otros productos químicos en un líquido; se aplican a los materiales para darles brillo y preservarlos de la acción destructora del medio. Las lacas son pinturas hechas con barniz que al ser aplicadas forman superficies lisas. Hay lacas de alcohol, grasas y celulósicas. Estas últimas son las más empleadas.

7.3 Materiales químico-aglomerantes

Como su nombre lo indica, estos son materiales adhesivos, utilizados para unir otros elementos o materiales entre sí; su naturaleza es diversa y son productos de la industria química. Entre ellos tenemos las colas frías, los betunes, los alquitranes, la trementina, los asfaltos de petróleo, las masillas para vidrio, el caucho y los adhesivos sintéticos.

Colas frías. Bajo esta denominación genérica y para su uso en la madera común y técnica, se agrupan un sinnúmero de sustancias adhesivas, de propiedades similares a la cola para carpintería, o con otras más ventajosas que estas. Las colas frías tienen similitud con los adhesivos sintéticos.

Masillas o pastas. Entre ellas tenemos la más común, la pasta o masilla para vidrio, que se obtiene mezclando yeso de pintor, tierra ocre y aceite de linaza cocido (aceite quemado). Además de ella se pueden preparar pastas o masillas de barniz, empleando blanco de España o talco.

Las pastas o masillas se emplean para disimular los defectos en las superficies de diversas obras; paredes, repellos, etc., (masilla de vinil), en la madera (masilla para vidrio, masilla de goma laca), y en el metal (masilla de chapistería).

Adhesivos sintéticos. Los adhesivos sintéticos pueden ser orgánicos o inorgánicos. Los adhesivos hechos con resinas orgánicas sintéticas se dividen en varias categorías:

Fenoplásticos y aminoplásticos. Se obtienen por la descondensación de los fenoles (por ejemplo, urea con formaldehído) y se presentan en forma líquida, en polvo frío o en películas; son utilizados en la industria de la madera técnica y de los prensado-aglomerados. La adhesión se realiza por prensado en caliente o en frío.

Silicones. Sirven para las encoladuras que resisten temperaturas desde 0 hasta 300 °C.

Resinas vinílicas y resinas acrílicas. Se utilizan en la unión de placas plásticas para soldar vidrio, metal y otros materiales.

Silicato de sodio. Es un adhesivo inorgánico utilizado para pegar cartón y papel.

También se utilizan como adhesivos diferentes derivados del caucho natural y de la celulosa.

Entre los adhesivos sintéticos tienen un lugar especial las resinas epóxicas; estas resinas están basadas en la propiedad que tienen algunos compuestos constituidos por el enlace de dos átomos de carbono pertenecientes a su cadena, los cuales mediante la reacción se unen firmemente con un átomo de oxígeno ajeno a la misma. Tal propiedad le confiere a los productos epóxidos una adhesividad extraordinaria, pudiendo unir materiales de la misma naturaleza o de diferentes, de una manera tal que sometidos a tensiones en alguno de estos productos, la sección de rotura no ocurre por la zona soldada. El empleo de estas resinas adhesivas en la técnica prolifera en los últimos tiempos, convirtiéndose estos materiales en grandes auxiliares de la ingeniería.

Materiales petroquímicos. Son todos los materiales provenientes de la destilación y transformación del petróleo, como es el caso de los betunes y asfaltos; en este grupo también se clasifican los productos de destilación de otras sustancias como el carbón de piedra, etcétera. No nos detendremos a estudiarlos, pero algunos de ellos tienen propiedades similares e igual uso que los materiales estudiados en los orgánicos aglomerantes.

7.4 Materiales químicos aglomerados

Son aquellos obtenidos del empleo de los anteriores o de sus reacciones (de los materiales aglomerantes de carácter plástico); son materiales que intervienen cada vez más en la vida moderna, y la construcción no es una excepción.

7.4.1 MATERIALES PLÁSTICOS. DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN

Los materiales plásticos son sustancias de origen generalmente orgánico, producidas por medios químicos y capaces de adquirir diversas formas mediante el calor y la presión, conservándola después y pudiendo llegar a alcanzar gran resistencia mecánica.

En la composición de los plásticos, además de los polímeros,⁸ que son sustancias orgánicas de peso molecular alto, forman parte los plastificadores, los aglomerantes, los estabilizadores y algunos otros componentes.

Los polímeros constituyen la parte esencial de los plásticos y les dan la propiedad de tomar distintas formas y conservarlas después que se elimina la carga.

Los elementos plastificadores transmiten a los materiales plásticos elevadas propiedades plásticas, sin embargo, reducen la resistencia del material a la compresión.

Como plastificadores se usan los ácidos grasos (la tricresilfosfata) los hidrocarburos terpénicos, los éteres, tierra de infusorios, nitroglicerina y otros.

Los aglomerantes aumentan la resistencia mecánica y le dan al plástico las características técnicas requeridas, además, disminuyen su costo porque su valor es menor que el de los polímeros. En calidad de aglomerantes se pueden usar: la harina de madera (aserrín de formón), aserrín, cuarzo molido y otros materiales finos. También se pueden usar como aglomerantes la celulosa, las fibras de vidrio y el asbesto, los cuales aumentan considerablemente la resistencia de las obras de plástico a la tracción y a los golpes.

La cantidad de aglomerante que debe usarse en los plásticos varía en grandes límites, pudiendo llegar hasta 90 % en algunos casos, como es el caso de las baldosas de madera-aserrín.

Estabilizadores. Le dan una mayor estabilidad a los plásticos y aumentan su vida de servicio, o sea, tienen el objetivo de luchar contra el envejecimiento de ellos.

Está comprobado que los polímeros se envejecen por efecto del oxígeno, del aire, de la luz, del calor y por la acción de los microorganismos. El proceso de envejecimiento de los plásticos trae como consecuencia que se empeoren gradualmente sus propiedades, es decir, se reduce la dureza superficial, se cambia el color, se pierde la elasticidad, se forman grietas en la superficie, etcétera.

Como otros componentes de las sustancias plásticas tenemos los catalizadores, los cuales tienen la función de acelerar el proceso químico de endurecimiento de los plásticos y los pigmentos, los cuales le dan a los plásticos el color deseado.

De tal manera los plásticos no son más que una masa compuesta por distintas sustancias, siendo la principal los polímeros y se obtienen fundamentalmente por los métodos de polimerización⁹ y policondensación, y también, aunque muy raramente, por la modificación de polímeros naturales.

⁸ El polímero es el compuesto cuya molécula se halla constituida por la unión de varias moléculas idénticas, llamándose dímero si son dos; trímero si son tres; etcétera.

⁹ Se llama *polimerización* al proceso mediante el cual las moléculas de monómeros se unen entre sí, creando un producto nuevo, o sea, el polímero, correspondiendo la composición química a la del monómero de partida, en tanto que la condensación es el proceso químico mediante el cual se obtienen polímeros a partir de sustancias monomoleculares. En este proceso ocurren desdoblamientos de productos derivados, como el agua, el alcohol, etc. En este caso la composición química del polímero es diferente a la de los productos de partida.

Las sustancias plásticas artificiales son conocidas desde mediados del pasado siglo, cuando Parker inventó la primera: el celuloide, en el año 1855, pero no adquieren desarrollo industrial hasta finales del siglo con la obtención de la ebonita, y más tarde de la bakelita, en el año 1909.

7.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Las sustancias plásticas pueden clasificarse de varias formas: por su origen químico o por su empleo, pero la que generalmente se adopta es la que divide a las sustancias plásticas en los tres grupos siguientes: termoeestables, termoplásticas y plásticas.

Cada grupo comprende un cierto número de sustancias distintas con propiedades y usos particulares, pudiendo obtenerse por variados métodos, pero teniendo todas ellas una propiedad común que es la característica del grupo. Por ejemplo, en el grupo termoeestable, la propiedad común de los plásticos es que una vez elaborados por calor y presión, permanecen rígidos e inalterables, y sólo se pueden cambiar de forma por efectos de taller mecánico, el quemado, el corte, etc., en tanto que los del grupo termoplástico tienen la propiedad común de poder cambiar su forma por la acción del calor y la presión después de fabricados, sin que esto varíe su composición química.

Grupo termoeestable

Es el más conocido; todos sus componentes están formados por polímeros constituidos por la asociación de moléculas más simples que forman cadenas y su fabricación se efectúa por condensación o polimerización.

A continuación pasamos a estudiar algunos de los plásticos principales de este grupo.

Aldehídos fenólicos

Son obtenidos como el resultado de la reacción de policondensación de fenoles y aldehídos. Son plásticos de costo reducido, duros, resistentes y de buenas propiedades químicas, térmicas y eléctricas. Se emplean en la fabricación de cajas de instrumentos, elementos de máquinas, etcétera.

En este grupo tenemos la bakelita, el fenol colado, la tetolita y otros.

Bakelita. Se obtiene al reaccionar en grandes calderas metálicas el fenol y el formaldehído en presencia de un ácido como catalizador y producirse una resina líquida de color amarillo ámbar que se solidifica, formando los llamados resinoideos que se utilizan para la fabricación de barnices, madera contrachapada y polvos de moldes.

Sus propiedades son: solidez, ligereza, densidad de 1,26; es resistente al agua, al calor, a los ácidos, a los álcalis diluidos y a los disolventes orgánicos.

La bakelita se emplea en forma líquida en barnices y pinturas, y en forma sólida para la fabricación de distintos aparatos electrónicos, interruptores, conmutadores, etcétera.

Fenol colado. Se fabrica análogamente a la bakelita, empleándose sosa cáustica como catalizador y añadiduras de pigmentos para darle color.

Los productos que se obtienen pueden ser transparentes, traslúcidos u opacos, con coloraciones muy bellas. Son muy duraderos y pueden trabajarse mecánicamente, como las maderas duras.

Se emplean en decoración, fabricación de piezas de máquinas, para encolar, y para otras labores.

Aldehídos de la urea.

Son notables por su gran variedad de colores y excelente aspecto; son más caros que los aldehídos fenólicos, pero en general sus propiedades mecánicas y físicas son superiores.

Urea formaldehído. Se prepara con urea sintética obtenida del amoníaco (NH_3) y del dióxido de carbono (CO_2), formaldehído y un álcali como catalizador. Las resinas obtenidas se mezclan con rellenos vegetales o minerales y colorantes.

Este plástico es poco denso, no es atacado por disoluciones diluidas de ácido, por bases ni por aceites; la luz solar no altera sus colores, es menos resistente al calor y al agua que las resinas fenólicas.

Se aplica como adhesivo para maderas contrachapadas, para impregnar fibras textiles y en decoraciones.

Melanina. Se obtiene con cianamida y formaldehído; se parece a las resinas de urea, pero es más resistente a la humedad, al calor y al frotamiento, por lo que se utiliza como impermeabilizante de fibras textiles, y además, como pintura y barniz.

Siliconas

Son polímeros de silicio y oxígeno y constituyen la transición entre las sustancias plásticas orgánicas y las inorgánicas.

Sus propiedades (dureza, gran resistencia al calor y aislante eléctrico) se explican por su estructura, al estar formadas por átomos de silicio unidos entre sí por átomos de oxígeno.

Se obtienen por síntesis y la materia prima del silicio es la arena que se calienta con coque y cloro para obtener el tetracloruro de silicio. Tiene la propiedad de no atacar a los metales, son insolubles en agua, alcohol y acetona y resisten disoluciones diluidas de ácidos y gases.

Grupo termoplástico

Como ya señalamos, comprende las sustancias plásticas o resinas sintéticas que se reblandecen por el calor; pueden volverse a moldear cuantas veces se desee. En este grupo se encuentran los plásticos celulósicos, las resinas acrílicas, las vinílicas y otros.

Plásticos celulósicos

Este grupo comprende algunos de los materiales más antiguos dentro de la familia de los plásticos.

Celuloide. El nitrato de celulosa se obtiene a partir de la celulosa de la madera y se prepara amasando nitrocelulosa, alcanfor, alcohol y pigmentos orgánicos. Posteriormente se le da calor y la forma se determina por medio de laminadoras o prensas.

Es un cuerpo poco denso (1,3), ligeramente amarillo y transparente, en láminas de pequeño espesor; es insoluble en agua y soluble en acetona, ácido acético, éter sulfúrico, etc., también es resistente, en frío, a los agentes químicos.

El celuloide tiene la gran desventaja de ser inflamable y de cambiar el color, por lo que actualmente se sustituye por un producto obtenido con acetato de celulosa y fosfato de tricresilo, el cual ofrece un material más blando y menos elástico y combustible.

El nitrato de celulosa (celuloide) se emplea en la fabricación de peines y mangos de cepillos.

Acetato de celulosa. Se prepara de forma análoga al celuloide al ser tratada la celulosa con ácido y con anhídrido acético, obteniéndose un producto transparente, pero que puede colorearse mediante la adición de pigmentos.

Este plástico no es inflamable, es blando, se moldea fácilmente, es resistente a ácidos, sales y aceites diluidos, tiene baja consistencia a temperaturas bajo cero y baja resistencia al agua.

Resinas acrílicas

Se obtienen de los ácidos acrílicos logrados a partir del acetileno, mediante tratamiento con ácido cianhídrico, dando cianhidrina, y por saponificación, los ácidos acrílicos metaacrílicos.

Por su transparencia, ligereza y resistencia se emplean en lugar del vidrio de silicato en las vidrieras; son permeables a los rayos ultravioletas y por sus propiedades ópticas se emplean en la fabricación de lentes y en toda clase de aparatos. Otra aplicación que tienen, cuando son coloreadas, es que pueden utilizarse en los servicios sanitarios.

En este grupo podemos mencionar el poliacrilato, que se caracteriza por su excelente transparencia y se emplea para lentes, gafas, ventanas de aviones, etc., y

el polimetilmetacrilato, que se obtiene por polimerización del metilmetacrilato y se caracteriza por su nitidez y excelentes propiedades ópticas, su resistencia al agua y sus propiedades dieléctricas.

Resinas vinílicas

Se obtienen por la acción de los ácidos clorhídrico o acético sobre el acetileno y por polimerización se obtienen los cloruros o acetatos de polivinilo, productos de gran elasticidad, resistentes a los productos químicos.

Polivinilo. Se obtiene por copolimerización del cloruro o acetato de vinilo. Se emplea en tubos, fundas aislantes de cables, etcétera.

Polivinilideno. Es el resultado de la polimerización del dicloretileno y se caracteriza por su resistencia al calor y su impermeabilidad al vapor de agua.

Grupo de las proteínas plásticas

Las proteínas son sustancias orgánicas compuestas de aminoácidos de origen animal o vegetal, de las que se parte para la obtención de sustancias plásticas.

La caseína es la que tiene más importancia entre las proteínas, pues además de su empleo como plástico se usa en construcción como adhesivo y es llamada vulgarmente cola fría.

Con las proteínas plásticas se preparan principalmente fibras textiles muy utilizadas en la fabricación de tejidos.

Fibras plásticas. Se ha obtenido un conjunto de productos empleados en la confección de tejidos, ya sea de la celulosa o sintético como el nailon, el saran y otros productos de gran uso en la confección de prendas de vestir.

Saran. Es el cloruro de polivinilideno obtenido del etileno como subproducto del petróleo y del cloro de la sal común. La resina se estira para obtener fibras de una gran resistencia a la tracción ($4\,220\text{ kg/cm}^2$). No le atacan la humedad, los ácidos disolventes orgánicos, las bacterias, los hongos ni la luz.

Se puede teñir de bonitos colores, con los que se fabrican tejidos que son resistentes al desgaste, como tapicería, etc., y para cordelería también se obtienen cuerdas muy fuertes y resistentes.

Nailon. Con esta palabra se designan los materiales plásticos o resinas sintéticas constituidas por amidas polimerizadas que forman fibras análogas a las del saran.

El nailon funde a 237°C , estirándose por presión para formar filamentos o hilos muy empleados en la industria textil. La resistencia de un hilo a la tracción es de $5\,000\text{ kg/cm}^2$. Es resistente al calor, no le atacan el agua, la luz, ni las polillas.

Con los filamentos de nailon se fabrican cerdas muy usadas en la confección de brochas, por tener mayor duración que las cerdas de animales. También se usan en la confección de cepillos de todas clases.

7.4.3 FABRICACIÓN DE SUSTANCIAS PLÁSTICAS

Una notable ventaja del empleo de los plásticos con fines industriales radica, además de la variedad de sus características, en las numerosas maneras de poderlos moldear.

Las sustancias plásticas se elaboran por los procedimientos siguientes: moldeo por compresión, moldeo por inyección, moldeo por transferencia y moldeo por extrusión o estirado.

Moldeo por compresión. El moldeo por compresión se aplica preferentemente en resinas termoestables como las fenólicas y las de urea, las cuales en forma de polvo o de bolas, se introducen en moldes de acero previamente calentados y se colocan entre los platillos de una potente prensa hidráulica.

El calor es suministrado al molde mediante una fuente apropiada, que puede ser una resistencia eléctrica, vapor recalentado o corriente de inducción de alta frecuencia; esta última variante se emplea con éxito para la producción en grandes proporciones. El molde se construye de acero tratado y cromado, para protegerlo contra la erosión, finalmente queda liso. La temperatura necesaria en el molde es de 177°C aproximadamente y la presión debe estar entre 140 y 700 kg/cm^2 . El período de preparación dentro del molde dependerá del grosor de la pieza.

En general, cualquier tipo de prensa de suficiente potencia puede ser empleada para el moldeo por presión en caliente, aunque el moldeo en serie se efectúa por procedimientos semiautomáticos o completamente automáticos y por consiguiente, requiere prensas especialmente diseñadas para este fin.

Moldeo por inyección. Este método se aplica tanto en los plásticos termoestables, como en los termoplásticos.

En este procedimiento el material caliente se coloca en un cilindro de compresión a través de una tolva y un émbolo lo impulsa, en estado plástico, a través de una boquilla hacia la cavidad del molde.

El moldeo por inyección para plásticos termoestables requiere el empleo de moldes calientes, mientras que para los termoplásticos el molde debe estar frío.

La velocidad de producción de las máquinas de moldeo automático, con moldes fríos (paraplásticos termoplásticos) es alta por la eliminación del ciclo de calentamiento y enfriamiento.

Moldeo por transferencia. Es una modificación del procedimiento anterior y consiste en colocar la resina en forma de pastillas en una cámara caliente para que se funda y una vez alcanzada la temperatura precisa, se aplique la presión y se traslade la sustancia plástica a la cámara de moldeo.

Las ventajas de este método sobre el anterior, son:

Ausencia de elevadas presiones en el molde.

Facilidad para añadir los materiales de relleno.

Transmisión del calor al material plástico, más uniforme y rápida.

Moldeo por extrusión o estirado. Es el procedimiento más indicado para la fabricación continua de tubos, barras, hilos y perfiles especiales, para lo cual la sustancia plástica, después de estar bien homogeneizada se lamina y es obligada a salir mediante presión o por medio de máquinas de tornillo sin fin a través de una boquilla o matriz, obteniéndose una lámina o tubo el cual se enfría al contacto con el aire y es conducido por un transportador de banda hasta la máquina de cortar o enrollar.

7.4.4 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS PLÁSTICOS

A continuación veremos las propiedades físico-mecánicas más importantes de los plásticos, desde el punto de vista del uso de este material en la construcción.

Tienen poco peso volumétrico ($1\ 000 - 1\ 800\ \text{kg/m}^3$), es decir, son más ligeros que los otros materiales de construcción. Por ejemplo, diremos que son dos veces más ligeros que el aluminio y de cinco a ocho veces más ligeros que el acero.

Las propiedades mecánicas, en dependencia de las sustancias aglomerantes son muy variables. Así, por ejemplo, los plásticos pueden ser elásticos y flexibles, o al contrario, muy duros.

Los plásticos tienen poca conductibilidad de calor y si se hacen con una estructura celular o porosa, disminuye aún más. Por ejemplo, diremos que la espuma plástica y el plástico poroso, que tienen un bajo peso volumétrico de $10 - 200\ \text{kg/m}^3$, tienen un bajo coeficiente de conductibilidad del calor, usándose como materiales aislantes.

Muchos tipos de plásticos no se destruyen por la acción del agua, ácidos, álcalis, distintas sales, gases, etc., como consecuencia de lo cual estos plásticos se utilizan para techos o como material aislante.

La mayoría de los plásticos tienen un aspecto agradable y son higiénicos; si se les agregan ciertos colorantes, se les puede dar cualquier color. Tales plásticos se usan corrientemente como adornos.

Todos los plásticos son dieléctricos, es decir, no conducen la corriente eléctrica. Por esa causa, todas las armaduras de equipos eléctricos en viviendas y en edificios industriales se hacen de plástico.

Muchos plásticos se destacan por su alta resistencia al desgaste, por lo cual en ocasiones se usan para cubrir pisos.

Los tipos de plásticos llamados vidrios orgánicos poseen propiedades ópticas y mecánicas, siendo en la mayoría de los casos estos plásticos de mayor calidad que los vidrios corrientes de silicato.

Otra de las valiosas propiedades de los plásticos consiste en la simpleza de su proceso tecnológico y en su bajo costo.

Desventajas de los plásticos

Sufren de envejecimiento, o sea de pérdida gradual de sus propiedades a medida que transcurre el tiempo.

No son lo suficientemente resistentes al calor y al fuego, lo cual limita su campo de aplicación.

Tienden a deformarse cuando llevan cierto tiempo sometidos a la acción de una carga estática.

En la actualidad se están llevando a cabo innumerables investigaciones que tienen como objetivo disminuir, y hasta eliminar, estas propiedades negativas de los plásticos.

7.4.5 APLICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

En general, los plásticos se emplean en la fabricación de materiales de construcción:

Como elementos decorativos en distintas instalaciones.

En la fabricación de revestimientos de pisos y paredes de aislamiento acústico y térmico.

Para el aislamiento hidráulico y el revestimiento de techos.

Para instalaciones sanitarias y tubos de comunicación.

Como añadiduras para hormigones y morteros.

Para encolar diferentes elementos de madera, vidrio, plástico y metal.

7.4.6 OBRAS DE PLÁSTICO USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN

Plásticos laminares. Se obtienen por el prensado caliente de hojas de papel impregnadas en polímero. Para las láminas exteriores se usa el papel con dibujos que imita habitualmente a una madera preciosa. Los plásticos laminares se usan con fines decorativos y como recubrimiento para muebles.

Plástico con gas (plásticos espumosos alveolares). Son materiales muy efectivos para el aislamiento térmico y acústico. Tienen un peso volumétrico no considerable y su resistencia mecánica relativamente alta. Resisten bien la acción del agua y de muchos otros líquidos y gases. Su coeficiente de conductibilidad térmica es de $0,02 - 0,4\ \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{g}$.

Los plásticos llenos de gas se fabrican a partir de una serie de polímeros que se someten a la inflación por medio de aire o de gases. A causa de las particularidades tecnológicas del proceso de inflación, obtenemos los plásticos espumosos o alveolares. Los plásticos espumosos se parecen mucho a la espuma cuajada, donde las celdas no están relacionadas entre sí, en tanto que en los alveolares tienen ciertos contactos entre ellas.

Cuando el polímero utilizado y el peso volumétrico sean el mismo, los plásticos espumosos, en comparación con los alveolares, tienen un menor coeficiente de conductibilidad térmica, pero a la vez un mayor coeficiente de conductibilidad acústica.

Baldosas de lana artificial. Son fabricadas a base de polímeros de fenolformaldehído y betunes, son aislantes térmicos de uso común en la construcción. Su coeficiente de conductibilidad no excede de 0,040-0,045 y su peso volumétrico se halla entre 150-200 kg/m³.

Plásticos de vidrio. Son fabricados con polímeros y fibras de vidrio. Es un material de construcción muy bueno, sobre todo para las construcciones portadoras, paneles, etcétera. Los plásticos de vidrio tienen muchas ventajas, entre las cuales están: alta resistencia a la rotura, estabilidad química, y no son combustibles.

Lozas plásticas. Para el recubrimiento de las paredes y los pisos de los edificios se usan lozas de poliestirol con dimensiones de 10 cm • 10 cm y 2 cm • 15 cm, y un espesor de 1-1,5 mm.

Estas lozas son 5-6 veces más ligeras que las de cerámica y pueden ser de color blanco, azul, rosado, etc., con su superficie muy lisa. Se usan para el revestimiento de servicios sanitarios, de laboratorios, de tiendas, etcétera. Las lozas se fijan a la superficie de hormigón, ladrillo, madera u otras, con la ayuda de un masique especial.

Instalaciones sanitarias

Estas instalaciones, hechas con sustancias plásticas, traen como resultado que se reduzca considerablemente el consumo de metal. Además, estas obras tienen una alta resistencia contra la corrosión, son ligeras y tienen aspecto agradable.

Tubos plásticos. Son varias veces más ligeros que los de metal y son fáciles de colocar, además de poseer una superficie interior completamente lisa, lo que tiene la ventaja de no reducir la presión a causa de la fricción, pudiéndose aumentar en el 10 % la cantidad de líquido que puede pasar, a partir de la misma fuerza motriz en comparación con otros tipos de tubos.

Para la fabricación de estos tubos, se emplea como polímero el polietileno, y también, para fines especiales, los plásticos de vidrio o el metacrilato de metilo (vidrio orgánico).

El método de fabricación de los tubos depende del polímero que se emplee y del diámetro que se requiera para los tubos. Por ejemplo, los tubos de polietileno son, en su mayoría, de hasta 150 mm de diámetro y se elaboran por el método

de extrusión, es decir, mediante el exprimido continuo de la masa plástica, en tanto que los tubos de polietileno de un mayor diámetro se obtienen por el enrollamiento en espiral de la masa, o sea, análogamente a la fabricación de los tubos de acero. Estos tubos se emplean para agua, conductos eléctricos y para conductos de aire comprimido.

Materiales de polímero-cemento y polímero-yeso

Se fabrican mediante la mezcla de cemento o yeso con un polímero, utilizándose dicha mezcla en calidad de aglomerante en hormigones y morteros.

En los hormigones fabricados a base de esta mezcla se obtiene una elevación de la resistencia a la flexión hasta de 3 veces; a la compresión, de 1-5 veces, y al golpe, hasta de 5 veces. En cuanto a sus otras propiedades también son mejores porque son más impermeables, más estables químicamente y aumenta su resistencia en temperaturas frías.

Los materiales de polímero-cemento se emplean actualmente para la fabricación de pisos de edificios industriales y públicos, para la construcción de depósitos que sean resistentes a la acción de los agentes químicos y como cola para reparar construcciones de hormigón.

Los yesos-polímeros se fabrican a partir de yeso y de resina de fenolformaldehído, lo cual proporciona al material obtenido un incremento de resistencia y una mayor impermeabilidad, sin embargo, hasta la fecha, no se ha aplicado industrialmente.

7.4.7 EMPLEO DE LOS PLÁSTICOS EN MINERÍA

Los plásticos también se emplean en la industria minera y en virtud de sus altas cualidades se considera que pueden alcanzar una gran difusión.

Como ejemplo del empleo de los materiales plásticos para la fortificación de las excavaciones mineras tenemos, entre otros:

Anclas de acero-polímero. Estas anclas constan de una barra de acero redondo que tienen en un extremo el cierre y en el otro la rosca para la tuerca, y del polímero-hormigón que es la sustancia que se utiliza para fijar el ancla.

La composición del polímero se elige a partir del criterio de que su período de endurecimiento no sobrepase los 15-20 minutos, para una temperatura dada del macizo rocoso. El polímero-hormigón se lleva al barrenado en ámpulas de polietileno.

Tales anclas poseen una alta capacidad portadora, y en caso de una correcta composición de polímero-hormigón, puede recibir la carga rápidamente. Otra propiedad útil de estas anclas es la ausencia de los desplazamientos durante el aumento de la carga, lo que la diferencia de las metálicas.

Plástico-hormigón. Se diferencia en que como aglomerante se utiliza una sustancia plástica y adiduras especiales (polietileno, poliamidas y otros).

Este hormigón se caracteriza por su alta resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión ($400\text{--}700\text{ kg/cm}^2$; $50\text{--}60\text{ kg/cm}^2$ y $100\text{--}120\text{ kg/cm}^2$) respectivamente, y por tener alta estabilidad frente a las aguas agresivas y alta impermeabilidad.

Plástico-carbón. Es un nuevo material de piedra que se obtiene como resultado del prensado en caliente del carbón fino (hasta $0,6\text{ mm}$) y su mezclado con sustancias plásticas calientes y hormigón especial.

El prensado se realiza a $300\text{--}500$ atmósferas y temperaturas de 150 a 180°C . Este material posee una resistencia a la compresión de $400\text{--}600\text{ kg/cm}^2$.

7.5 Materiales químicos auxiliares

Forman parte de esta subclase un sinnúmero de materiales, los cuales en el orden cuantitativo tienen un volumen casi insignificante para la construcción, pero en el orden cualitativo tienen mucha importancia.

Son de la más variada índole y su composición química puede ser tanto orgánica como inorgánica. En la medida en que se han descrito las diversas clases de materiales hemos mencionado muchos de ellos.

Las funciones de estos materiales son muy diversas: colorantes, retardadores y aceleradores de fraguado, estabilizadores, ignífugadores, sustancias impregnantes, añadiduras, etcétera. Por ello es que ubicamos a esta gran gama de materiales procedentes de la industria química y que desempeñan un importante papel en los procesos de construcción, entre los materiales químico-industriales que realizan una función auxiliar en la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- ARREDONDO, FERNANDO y otros: *Aridos en la construcción*. Ed. Científico Técnica, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1975.
- BOKI, B. V. y otros: *Tecnología y mecanización compleja en el laboreo de las excavaciones mineras*. 2ª edición (en idioma ruso). Editorial Niedra, Moscú, 1972.
- DE GALIANA MINGOT, TOMAS: *Pequeño Larousse de Ciencias y Técnicas*. Edición Revolucionaria, La Habana, 1968.
- KOMAR, A. G.: *Materiales de construcción y sus productos*. 2ª edición (en idioma ruso). Editorial Escuela Superior, Moscú, 1971.
- MORRIS JOEL, LAWRENCE: *Procesos modernos de fabricación*. Traductor José Bathhe Gayán. Editorial Labor, S. A., Barcelona, 1961.
- NASONOV, L. N.: *Mecánica de rocas y fortificación de las excavaciones mineras*. Editorial Niedra (en idioma ruso), Moscú, 1969.
- ORUS ASSO, FÉLIX: *Materiales de construcción*. 7ª edición. Edición Revolucionaria, La Habana, 1966.
- SEDOV, B. Y. y otros: *Manual del ingeniero constructor de minas*. Tomos I y II (en idioma ruso). Editorial Niedra, Moscú, 1972.
- SEQUEIRA, JOSÉ: *Temas sobre materiales de construcción*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1976.
- SMIRNIAKOV, V. V.: *Materiales de construcción*. Publicaciones internas de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1966.
- INFORME CENTRAL AL PRIMER CONGRESO DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. Editado por el Departamento de Orientación Revolucionaria, del Comité Central del PCC, La Habana, 1975.
- PLATAFORMA PROGRAMÁTICA DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. Editado por el Departamento de Orientación Revolucionaria del Comité Central del PCC, La Habana, 1975.