

MANUALES TÉCNICOS LABOR

Prof. M. FOERSTER

MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN

SEGUNDA EDICIÓN



EDITORIAL LABOR, S. A.
BARCELONA - BUENOS AIRES

0-2
064



Manuales Técnicos Labor



Objeto inmediato de estos Manuales es divulgar los elementos esenciales de la Técnica en forma clara y concisa, a la vez que con rigor científico absoluto. Son, por tal razón, los libros más indicados para los estudiantes y profesionales que deseen informarse con rapidez y seguridad en los múltiples casos que la Técnica depara.

El método seguido en la exposición de los MANUALES TÉCNICOS LABOR tiende a obtener siempre el máximo rendimiento educativo, a cuyo objeto contribuyen igualmente las ilustraciones y diagramas que en abundante número se emplean en ellos, lo que les convierte en libros de inestimable valor e inmediata utilidad.

MANUALES TÉCNICOS LABOR

1. Tecnología mecánica, por D. J. SERRAT Y BONASTRE, Ingenier. industrial. Con 400 páginas y 295 grabados. (4.ª edición).
2. Aritmética y Álgebra, por el Prof. P. CRANTZ, de Berlín. Con 276 páginas y 30 grabados. (3.ª edición).
3. Trigonometría plana y esférica, por el Prof. G. HESSENBERG, de Tübingen. Con 168 páginas y 59 grabados. (3.ª edición).
4. Teoría de funciones, por el Dr. K. KNOPP. 290 págs. y 15 figs.
5. Física teórica, I, por el Prof. J. JÄGER. 338 págs. y 71 figs.
6. Problemas de Física, por el Prof. G. MAHLER. Con 180 págs. (2.ª ed.)
7. Hormigón armado, por H. KAYSER, Prof. de la Escuela Técnica Superior de Darmstadt. Con 212 págs. y 209 figs. (2.ª ed.)
8. Introducción a la Química inorgánica, por el Dr. B. BAVINK. Con 219 páginas y 31 grabados. (2.ª edición).
9. Introducción a la Química general, por el Dr. B. BAVINK. Con 185 páginas y 24 grabados. (2.ª edición.)
10. Hidráulica, por el Prof. PH. FORCHHEIMER. 177 págs. y 114 figs.
11. Turbinas de vapor y turbocompresores, por el Ing. H. BAER. Con 224 páginas y 130 grabados.
12. Construcciones en ladrillo y piedra, por el Prof. H. WALBE, de Darmstadt. Con 179 páginas y 302 grabados. (2.ª edición).
13. Estática gráfica, por el Ing. O. HENKEL, Prof. de la Escuela Técnica de Magdeburgo. Con 402 págs. y 218 figs. (2.ª edición).
14. Fotogrametría, por el Dr. Ing. H. LÜSCHER, del Konsortium Stereographik de Munich. Con 167 págs., 82 grabados y 2 lám.
15. Introducción a la Química analítica, por F. RÜSBERG. Con 272 páginas y 19 grabados.
16. Geometría analítica, por R. FRICKE. Con 200 págs. y 96 figs.
17. Introducción a la Química orgánica, por el Dr. B. BAVINK. Con 188 páginas y 9 grabados. (2.ª edición).
18. Física experimental (tomo I), por R. LANG, Rector del Instituto Real de Stuttgart. Con 351 páginas y 249 grabados.
19. Técnica de iluminación eléctrica, por D. B. ALOY Y FLÓ. Con 324 páginas, 160 grabados y 17 láminas.
20. Montaje de instalaciones eléctricas de luz y fuerza, por H. POHL. Con 327 páginas y 375 grabados.
21. Cálculo de probabilidades, por el Dr. OTTO KNOPP, Prof. de Astronomía en la Universidad de Jena. Con 240 págs. y 10 figs.
22. Electricidad por el Dr. Ing. H. POHLER. Con 170 págs. y 76 figs.
23. Electricidad aplicadas, Con 106 grabados.
24. Electricidad, por el Dr. Inge- 98 figuras.
25. Electricidad, 50 figuras.
26. Electricidad, págs., 82 figs. y 2 láms.
27. Electricidad, páginas y 143 figuras.

B.P. de Soria



61093109

D-2 14964

electricidad aplicadas,
lnas y 106 grabados.
nas, por el Dr. Inge-
98 figuras.
páginas y 50 figuras.
págs., 82 figs. y 2 láms.
páginas y 143 figuras.

0-2
4964



28. Topografía, I, por el Prof. WERKMEISTER. Con 337 págs. y 233 figs.
29. Topografía, II. Con 330 páginas, 61 figuras y 6 láminas.
30. Ensayos de materiales, por K. MEMMLER. Con 313 págs. y 88 figs.
31. Navegación aérea, por J. M. AYMAT. Con 449 páginas, 182 figuras, 3 láminas y numerosos gráficos. (2.^a edición aumentada).
32. Trazado y construcción de carreteras, por W. EUTING. Con 171 páginas, 54 figuras y 4 láminas. (2.^a edición).
33. Economía industrial y Organización de talleres, por el Prof. L. LEPRÉVOST, Ing. Ind. Con 268 págs., 37 cuadros y 5 figs. (2.^a ed.).
34. Materiales de construcción, por el Prof. M. FOERSTER. Con 351 páginas y 57 figuras.
35. Electroquímica y sus fundamentos fisico-químicos, I, por el Prof. H. DANNEEL, de Rostock. Con 342 págs. y 63 figuras.
36. Electroquímica y sus fundamentos fisico-químicos, II, por el Profesor H. DANNEEL. Con 340 páginas y 72 figuras.
37. Prácticas de Química inorgánica, por el Dr. E. H. RIESENFELD, Prof. de la Universidad de Berlín. Con 453 págs. y 127 figuras.
38. Turbinas hidráulicas, por P. HOLL y E. TREIBER, Ings. Dipl. Con 286 páginas y 161 figuras.
39. Introducción al Análisis vectorial, por el Prof. Dr. R. GANS. Con 184 páginas y 40 figuras.
40. Electrotecnia, por el Ing. K. LAUDIEN. Con 636 páginas, 809 figuras y numerosos ejemplos.
41. Elementos de Geometría, I, por el Prof. F. SEVERI, de la Universidad de Roma. Con 269 páginas y 220 figuras.
42. Elementos de Geometría, II, por el Prof. F. SEVERI, de la Universidad de Roma. Con 373 páginas y 144 figuras.
43. Dibujo de máquinas, por el Ing. R. SCHIFFNER. Con 298 páginas y 486 figuras, algunas de ellas en color.
44. Motores de gas y de aceite, por el Ing. A. KIRSCHKE. Con 275 páginas, 118 figuras y 4 láminas.
45. Metalografía, por los Ingenieros E. HEYN y O. BAUER. Con 266 páginas, 118 figuras y 20 láminas con 40 microfotografías.
46. Calefacción y ventilación, por el Ingeniero JOHANNES KÖRTING. Con 278 páginas y 118 figuras.
47. La Industria textil, por el Prof. MAX GÜRTLER y el Dr. W. KIND. Con 400 páginas y 112 figuras.
48. Matemáticas para químicos, por el Prof. JOSÉ M.^a INÍGUEZ ALMECH. Con 506 páginas y 96 grabados.
49. Movimientos de tierras, galerías y túneles, por ALFRED BIRK. Con 219 páginas y 108 figuras.
50. Baterías de pilas y acumuladores, por el Ing. DAVID B. ALOY FLÓ. Con 180 páginas y 70 figuras.
51. Física experimental, II, por los Profs. ROBERT LANG-B. CABRERA. Con 360 páginas y 228 figuras.
52. Explotación técnica de ferrocarriles, por FRANCISCO WAIS, Ingeniero. Con 515 páginas y 284 ilustraciones.

$\frac{6}{91}$

Nº 2415

MANUALES TÉCNICOS LABOR

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

POR EL

Dr. Ing. M. FOERSTER

Profesor numerario de Construcción en la Escuela Superior
de Ingenieros de Dresde

Con 57 figuras

TRADUCIDO DIRECTAMENTE DEL ALEMÁN

POR

R. CAMPALANS

Ingeniero Industrial

Antiguo Director de la «Escola del Treball»
de Barcelona

SEGUNDA EDICIÓN



EDITORIAL LABOR, S. A.
BARCELONA - MADRID - BUENOS AIRES

1935



15
L-5

ES PROPIEDAD

Primera edición : 1928

Segunda edición : 1935

TALLERES GRÁFICOS IBERO-AMERICANOS, S. A. : Provenza, 86, BARCELONA

IMPRESIÓN MANUL - TALLERES OFFSET - SAN SEBASTIÁN

PRÓLOGO

El presente manual «Materiales de construcción» se adapta a las necesidades del Arquitecto y del Ingeniero. Apoyándose en los fundamentos de la Química, sirve de introducción al extenso campo de la enseñanza de materiales y, además, constituye para el ya iniciado en esta especialidad, un resumen o recapitulación.

En este sentido tiende a cooperar en la realización de estudios más profundos en esta rama de la técnica y, por otra parte, a que los estudiantes de las Escuelas Superiores no consideren el conocimiento de materiales de construcción como una asignatura de secundaria importancia. Muy al contrario, la ciencia que nos ocupa constituye para Ingenieros y Arquitectos un instrumento indispensable del cual han de hacer uso constante; y muy especialmente el conocimiento de la composición de materiales, los cambios que experimentan bajo las acciones exteriores, su influencia sobre otros materiales, etc., evitarán al director de obras cometer errores que, en ciertas circunstancias, pueden ser de gravedad, y por otra parte, le permitirán elegir el material más conveniente en cada caso y realizar finalmente una construcción económica. Sólo así podrán asumir los Ingenieros y Arquitectos toda la responsabilidad en la construcción de una obra.

El deseo del autor al escribir esta obra no ha sido otro que el de verla extendida entre los Ingenieros y Arquitectos, así como en todas las escuelas técnicas.

Dr. M. Foerster



ÍNDICE

I. Materiales principales

	Págs
1. Piedras naturales	7
\ A. Minerales que integran las rocas.	7
\ B. Clasificación de las rocas. Propiedades generales más importantes.	11
C. Composición, propiedades, empleo y yacimientos de las piedras empleadas en la construcción. ...	18
\ 1. Rocas eruptivas	18
\ 2. Rocas sedimentarias y tierras sueltas.	30
\ 3. Rocas cristalinas.	48
D. Extracción, labra, ensayo y aplicaciones de las piedras naturales	49
2. Piedras artificiales	72
A. Clasificación, obtención y ensayo	72
B. Piedras artificiales cuyo fraguado obedece principalmente a procesos químicos.....	78
\ 1. Hidroareniscas e hidrocalizas.	78
\ 2. Ladrillos de cal y arena.	79
\ 3. Piedra artificial de cemento. Bloques de hormigón	84
\ 4. Piedras artificiales de yeso	92
\ 5. Ladrillos flotantes	97
\ 6. Ladrillos de toba artificial.	98
\ 7. Ladrillos de escorias	99
\ 8. Piedra artificial magnésiana.....	100
\ 9. Aglomerados de corcho.	104
\ 10. Piedras artificiales de calidad especial.....	106
\ C. Piedras artificiales endurecidas por cocción o fusión (productos cerámicos)	109
\ 1. Ladrillos ordinarios y productos similares	109
\ 2. Ladrillos de escorias fundidas y materiales cerámicos de pavimentación	148

	<u>Págs.</u>
3. Madera.	151
A. Estructura, desarrollo, forma y componentes.	151
B. Principales propiedades técnicas de la madera ...	158
C. Destrucción de la madera y medios de prevenirla.	165
D. Breve reseña de las maderas más importantes en la construcción	175
1. Maderas resinosas.	175
2. Maderas no resinosas.	177
E. Labra de la madera de construcción y formas co- merciales.	182
F. Ensayo técnico de la madera de construcción. ..	188
4. Metales empleados en la construcción.	192
A. Hierro.	192
1. Minerales y fundentes.	192
2. Las distintas clases de hierro y su obtención. ..	195
3. Elaboración del hierro.	212
4. Principales propiedades de los hierros empleados en la construcción	239
5. Protección del hierro contra la herrumbre y el fuego	242
6. Procedimientos especiales para la soldadura del hierro.	248
7. Ensayo del hierro.	251
B. Plomo, zinc y cobre.	256
1. Plomo	256
2. Zinc.	259
3. Cobre.	261
4. Aleaciones.	262

II. Materiales aglomerantes y de unión

1. Morteros.	264
A. Morteros aéreos	266
B. Morteros hidráulicos	279
1. Cal hidráulica	279
2. Cementos	280
C. Materiales hidráulicos adicionales	303
Morteros puzolánicos.	303
D. Hormigón	305
2. Mástiques.	322



III. Materiales auxiliares

	<u>Págs.</u>
\ 1. Asfalto	324
2. Cartón alquitranado y materiales análogos	328
3. Fieitros embetunados especiales : Ruberoid, Coritect, etc.	330
4. Holzzement	332
\ 5. Amianto	333
\ 6. Tejidos impermeables, Fieitros, Placas, Caña y Paja ..	335
\ 7. Vidrio de construcción	337
\ 8. Vidrio soluble	345
\ 9. Pinturas	345
10. Papeles pintados y otros materiales de revestir	348
Índice alfabético	353

Clasificación

Los materiales empleados en la construcción pueden clasificarse en tres grandes grupos:

I. *Materiales principales*, que integran los elementos resistentes de las estructuras constructivas. Pertenecen a este grupo: 1, las piedras naturales; 2, los ladrillos y piedras artificiales; 3, la madera, y 4, los metales, de modo especial el hierro.

II. *Materiales aglomerantes y de unión*, particularmente, morteros, asfaltos y mástiques.

III. *Materiales auxiliares*, empleados sobre todo en el vestido interior de las obras: vidrios, barnices, aislantes, materiales de revestimiento, etc.

I. Materiales principales

1. Piedras naturales

A. Minerales que integran las rocas

Todas las rocas están constituidas por la reunión de un número mayor o menor de *minerales*. Los minerales que caracterizan la naturaleza de una clase de rocas se llaman *esenciales*, siendo *accesorios* todos los demás. Según que contengan uno o varios minerales

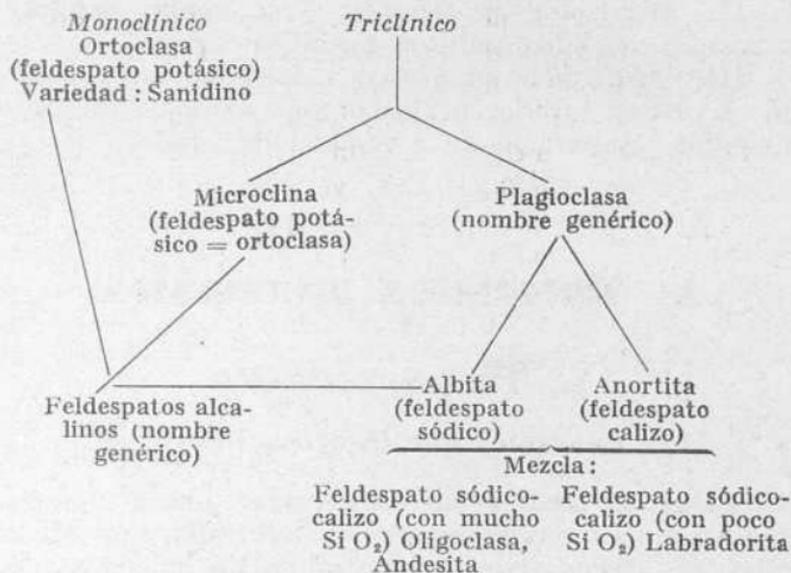


esenciales, se designan respectivamente las rocas con los nombres de *simples* y *compuestas*.

Entre el número incontable de minerales, los que desempeñan un papel importante en las piedras empleadas en el arte del constructor, y cuyo conocimiento es por lo tanto necesario, son muy limitados. Los principales se enumeran a continuación :

a) **Cuarzo.** Es la sílice anhidra, *p. e.* = 2,0 a 2,8 (1), casi siempre incolora, pero a veces gris clara, amarillenta o rojiza. Es inalterable por los agentes atmosféricos y resiste la acción de los ácidos, con excepción del fluorhídrico. Fractura conchiforme; brillo vítreo o mantecoso.

b) **Feldespato.** Cristaliza en los sistemas monoclinico (clinorrómbico) y triclinico. Comprende las especies mineralógicas indicadas en el esquema que sigue :



(1) En lo sucesivo *p. e.* indicará el peso específico de los materiales, deducidos los poros físicos, y *d* la densidad relativa

Los minerales feldespáticos — silicatos de alúmina — presentan una fractura con brillo nacarado; son de ordinario grises o blancos, a menudo también de color rojo de carne o amarillo y algunas veces verdes, pero casi siempre caracterizados por su estructura hojosa o laminar. Muchas veces los grandes cristales de labradorita aprisionados en las rocas primarias de Noruega (*diabasa, pórfido, gneis, etc.*) muestran magníficas coloraciones tornasoladas. *p. e.* = 2,56.

Por la acción del tiempo los feldespatos se transforman en arcillas o en caolines. En general, no son bastante estables para dar buenas piedras de construcción.

c) **Minerales feldespatoideos.** Como más importantes, conviene citar la *leucita* y la *nefelina*, de cristales blanco agrisados, hendibles con dificultad y de fractura conquirforme.

d) **Hornablenda (*anfíbol*) y augita (*piroxeno*).** Silicatos neutros, de *p. e.* = 2,9 a 3,5. Color verde claro hasta verde negruzco y pardo; químicamente semejantes. En ambas clases existen minerales claros, sin alúmina, y oscuros, con alúmina. Son variedades de la augita: la *onfacita*, de color verde de césped; la *hiperstenita*, negruzca, de brillo metálico, a menudo con reflejos rojo cereza; la *diálagita*, verde sucio o pardusca. Como modificaciones, hay que citar las formaciones fibrosas en serpentinas y asbestos. La augita es menos resistente a los agentes atmosféricos que la hornablenda.

de los cuerpos sin deducir tales poros. Si se designa por c la compacidad = $\frac{d}{p. e.}$, resulta $c < 1$, pues sólo en un material absolutamente exento de poros se alcanzaría el valor 1. La porosidad p viene expresada por $p = c - 1$, e indica directamente el volumen de huecos. Si, por ejemplo, *p. e.* = 2,521 y $d = 1,893$, resulta $c = \frac{1,893}{2,521} = 0,751$; $p = 1 - 0,751 = 0,249$, es decir, que la roca tiene próximamente 25 % de poros.



e) **Mica.** Silicato aluminico, potásico o sódico, con magnesio, hierro, etc. Minerales blandos, foliáceos, fácilmente hendibles en placas, con brillo nacarado o metálico. *p. e.* = 2,7 a 3,2. Variedades principales:

a) la *magnesiána*, oscura — *biotita*, parda o verde;

β) la *potásica*, incolora o clara — *moscovita*, con frecuencia, blanquecina, amarillenta, verdosa o rosada.

Poco estimada en la construcción, por ser oxidable y exfoliable y a causa de la dificultad que su blandura origina al pulimentar las piedras.

f) **Olivino.** *p. e.* = 3,3. Fractura conquiforme, brillo vítreo, color variable del verde al pardo. Se transforma en serpentina.

g) **Clorita y talco.** Silicatos hidratados, conteniendo magnesia, arcilla, hierro, etc. Minerales blandos y ligeros (*p. e.* = 2,7 a 3,0), con textura escamosa. La *lardita* es una variedad compacta del talco. Pertenece a esta familia, la *glauconita*, con granos de color claro verdoso, especialmente en las areniscas verdes.

h) **Espato calizo (calca).** Carbonato cálcico bastante puro (CO_3Ca). Se disuelve en los ácidos diluidos, con desprendimiento de burbujas (CO_2). Atacable por los agentes atmosféricos. *p. e.* = 2,6 a 2,8. Mineral incoloro o de color claro. Brillo entre vítreo y nacarado.

i) **Dolomita.** Carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CO}_3\text{Ca} + \text{CO}_3\text{Mg}$). Parecido a la calcita, pero más resistente al tiempo. *p. e.* = 2,9. Cristales blanquecinos, claros, generalmente opacos y algunas veces manchados.

k) **Yeso.** Sulfato cálcico hidratado ($\text{SO}_4\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O}$), con apariencias muy variadas: cristalino, foliáceo, fibroso. Es transparente, claro o incoloro, fácilmente exfoliable, y tan blando que puede rayarse con la uña. Presenta cierta flexibilidad. *p. e.* = 2,3. Variedades: *Espejuelo* o *yeso espático*, cristalino y sin impor-

tancia técnica. *Alabastro*, cristalino y pulimentable. *Yeso amorfo*.

l) **Pirita**. Sulfuro de hierro (S_2Fe), pesado ($p. e. = 4,9$ a $5,2$). Intenso brillo metálico, dorado; pardusco cuando empieza a descomponerse. Alterable por los agentes atmosféricos. Componente perjudicial de las rocas naturales a causa de su transformación en *hematites parda*, *vitriolo verde*, etc. Los demás minerales ferríferos se describen brevemente al tratar de la metalurgia del hierro (véase pág. 192).

B. Clasificación de las rocas. Propiedades generales más importantes

En los párrafos que siguen se describen las rocas naturales, clasificadas en esta forma: a) *rocas eruptivas*, b) *rocas sedimentarias*, y c) *rocas estratificadas*.

a) **Rocas eruptivas**. No presentan nunca estratificaciones francas. Son macizas y atraviesan otras rocas. Pueden subdividirse en a) *plutónicas* y β) *volcánicas*.

a) Entre las rocas *plutónicas* o *profundas* se comprenden las que se han formado en lo interior de la corteza terrestre y que no han llegado a la superficie hasta después de ulteriores transformaciones metamórficas. Se admite que en estado de magma pasaron a rellenar cavidades o fisuras existentes o que se fundieron ya en ellas. Las rocas profundas, rodeadas primitivamente por otras rocas más antiguas, son de ordinario oolíticas o granulares, por razón del lento enfriamiento que experimentaron.

β) Las rocas *volcánicas* o superficiales, al dislocarse la superficie de la tierra o después de su dislocación, se esparcieron sobre ella en estado de lava, formando filones, capas y bolsadas.



b) **Rocas sedimentarias.** Sus elementos componentes proceden de las rocas eruptivas, que disgregadas, transformadas, disueltas, etc. (mecánicamente o como resultado de influencias químicas), se aglomeraron de nuevo en su propio lecho o fueron acarreados a otras partes, donde quedaron en forma suelta o coherente. Su aglomeración puede ser debida a la acción de grandes presiones o a la presencia de cementos especiales (*rocas clásticas*). Según su modo de formación se distinguen: 1. *Sedimentos mecánicos*, debidos al acarreo y nueva aglomeración de los materiales. 2. *Sedimentos precipitados*, cuyas masas, disueltas primero en el agua, se depositaron por circunstancias diversas (sobresaturación de las soluciones, reducciones de presión, eliminación de componentes, mezcla con precipitantes, etc.). 3. *Sedimentos organogénicos*, de naturaleza totalmente orgánica (hulla) o concrecionados por la influencia considerable de determinados organismos (calizas).

c) **Rocas estratificadas.** Se caracterizan por su estructura esquistosa, a pesar de lo cual, como algunos gneis, pueden pertenecer por su origen a las rocas eruptivas propiamente dichas, o ser debidas a formaciones sedimentarias, transformadas especialmente por la compresión de rocas primitivas o por la carga de capas geológicas posteriores.

Entre las rocas más importantes de cada uno de estos tres grupos, nos ocuparemos de las siguientes:

Grupo a. Granito, sienita, pórfido, porfirita, diabasa, diorita, gabro, meláfido, olivino, piroxeno, basalto, fonolita, granulita, traquita, serpentina, eclogita, lava.

Grupo b. Pudingas y brechas, arenisca, grauvaca, pizarra arcillosa, yeso, caliza, dolomía, rocas cuarzosas, minerales ferrosos, tobas, margas, tierras sueltas.

Grupo c. Gneis, pizarra micácea, filita y clorita y talco esquistoso.

* * *

Las propiedades generales que caracterizan las rocas son las que a continuación se detallan :

a) **Densidad.** La densidad relativa de la generalidad de las piedras empleadas en la construcción se encuentra comprendida entre 2 y 3. Sólo en contadas rocas porosas se halla debajo de estos límites, y muy pocas son más pesadas, especialmente las que contienen olivino, hornablenda y augita. En términos generales, son más ligeras las rocas cuarzosas y más pesadas las que contienen álcalis, tierras alcalinas y compuestos metálicos.

b) **Estructura.** En este aspecto, es fundamental la distinción entre rocas *crystalinas* y rocas *clásticas*, es decir, aglomeradas con un cemento. Las de la primera clase pueden ser *macrocrystalinas*, *microcrystalinas* y *criptocrystalinas*, según que sus cristales posean diámetros de más de una milímetro, sean apenas visibles o sólo puedan reconocerse con el auxilio del microscopio. He aquí algunas estructuras crystalinas características :

a) *granular* — desigual o uniforme, según que los granos crystalinos tengan tamaños distintos o iguales ;

β) *compacta* — cuando la roca forma una masa homogénea ;

γ) *isótropa* — sin direcciones características ;

δ) *listada*, por disposición de los minerales en capas paralelas ; también se habla en este caso de estructura *flúida* o de corriente, significando con ello que los materiales líquidos fluyeron antes de solidificarse. Como en los bordes de esta clase de masas rocosas a menudo se han manifestado presiones, se encuentran a veces plegados o arrugados, es decir, contorneados por vetas en zigzag, de efecto muy decorativo. Variedad : *escamoso-listada*.



ε) *vítrea*. Porciones mayores o menores de la roca se han acumulado localmente, comunicándole un aspecto irregular, de contornos generalmente indefinidos;

ζ) *porfídica*, cuando en la masa fundamental compacta se destacan gruesos cristales dispersos o salpicaduras;

η) *oolítica*. Consiste en la reunión de gránulos esféricos, mayores o menores, semejantes a huevos de pez. Casi limitada a las calizas y a los minerales de hierro;

θ) *amigdaloides*. Presenta cavidades o *gradas* de formas ovoideas o esféricas, rellenas total o parcialmente con minerales extraños (*almendras*).

Entre las rocas clásticas o fragmentarias se distinguen las estructuras:

α) *brechiforme*. Cuando los fragmentos, de tamaños variables, algunos bastante gruesos, son angulosos;

β) *conglomerada*. Los gránulos aglomerados por el cemento son redondeados. Es característica de las rocas miocénicas;

γ) *arenisca*;

δ) *limosa*.

Las rocas pueden ser, además, *compactas* o *porosas*. Entre las últimas, se distinguen las *cavernosas* (con cavidades grandes y angulosas), las *celulares* (con huecos redondeados, como la lava), las *esponjosas* (con delgadas paredes entre los poros, como la piedra pómez). Las piedras porosas que poseen suficiente resistencia mecánica y a la acción de los agentes atmosféricos, constituyen un excelente material constructivo, tanto por su mala conductibilidad térmica como por su reducido peso.

c) **Conductibilidad térmica.** Depende esencialmente de la porosidad de las rocas, disminuyendo cuando ésta aumenta. En las rocas cristalinas y en las

aglomeradas compactas, la conductibilidad varía poco, pero discrepa en las rocas esquistosas y más todavía en las tierras incoherentes. Por lo general, los cambios de temperatura normales no influyen sensiblemente en la resistencia de las piedras. No obstante, las piedras colocadas en las fachadas orientadas al norte pueden conservarse mejor que las de las fachadas expuestas al sur, sometidas a grandes cambios de temperatura, especialmente en invierno.

d) **Porosidad.** Es interesante, desde el punto de vista higiénico, en las piedras empleadas en la construcción de edificios, toda vez que, siendo permeables a los gases, favorecen la renovación de aire necesaria para la salud. Las piedras muy permeables son asimismo mal conductoras del calor, por lo que las paredes de las habitaciones caldeadas en invierno se mantienen secas y calientes; en las piedras compactas ocurre lo contrario. No obstante, las piedras muy porosas, en determinadas circunstancias, chupan el agua, que asciende desde el subsuelo por capilaridad, y en este caso es indispensable aislar debidamente los cimientos.

e) **Humedad natural (o de cantera).** Las piedras que se empleen en la construcción deben hallarse secas, es decir, habiendo eliminado de ellas toda humedad de cantera o de depósito. Para la *labra* de las piedras es ventajosa la humedad de cantera, pues en muchos casos son susceptibles de ser trabajadas con mayor facilidad en estado húmedo que cuando están secas. Tal ocurre, en proporción notable, con las calizas, las serpentinas y las areniscas, así como con muchos granitos, sienitas, dioritas, basaltos, etc. También las piedras húmedas pueden henderse con mayor facilidad en forma de placas, según planos cuya situación no es exteriormente determinable, pero que por lo regular son paralelos al lecho de cantera.



f) **Alterabilidad.** Las principales acciones que alteran las piedras o modifican su duración, son los *agentes meteóricos* (agua, viento, lluvia, nieve, calor, escarcha, anhídrido carbónico) y los *organismos vegetales*. Los agentes meteóricos pueden obrar físicamente (calor, frío, humedad, acción disgregante del hielo) o en forma química (por la acción de las aguas llovedizas, que, junto con pequeñas cantidades de oxígeno y gas carbónico, contienen trazas de ácidos que arrastran de la atmósfera, sobre todo en las grandes ciudades y regiones industriales cuyo aire contiene gas sulfuroso). El oxígeno, particularmente en las rocas que contienen compuestos metálicos, determina oxidaciones que tienen por consecuencia su disgregación inmediata, por exfoliación, quebrantamiento o eflorescencias. Estos fenómenos de alteración íntima van acompañados por lo común con la modificación del color superficial, como ocurre con muchos granitos que por la acción del tiempo se tiñen de una *pátina* amarillenta o pardusca. Igualmente perjudicial puede ser la influencia del agua y del anhídrido carbónico sobre las calizas, dolomías, yesos y areniscas de aglomerante calizo: se produce una disolución de la cal. Una meteorización análoga experimentan las rocas muy ricas en feldespatos, en especial cuando éstos son calizos. Los organismos vegetales pueden obrar mecánicamente, en forma directa, por introducirse sus raíces en las grietas de las rocas, o en forma indirecta, por la acción del agua y del hielo en las fisuras provocadas, y también por la acción química del ácido húmico, agente de corrosión.

g) **Condiciones geológicas del yacimiento.** Influyen en las propiedades principales de las rocas por ser causa determinante de flexiones, plegaduras, corrimientos y derrubios de las capas, formación de prominencias, cavernas, foliaciones, superficies de separación y de ruptura, petrificación de las fisuras formadas, etc.,

obrando también, finalmente, por acciones de contacto. Hay que citar aquí la formación de *tobas* en las zonas que separan rocas cristalinas y clásticas y el metamorfismo de rocas compactas en formas cristalinas: así, por ejemplo, la creta, en contacto con el basalto, puede transformarse en mármol. Con frecuencia no es posible establecer una línea de separación franca entre las distintas clases de rocas, pues tanto las grandes masas como las rocas clásticas muestran las más variadas y múltiples transformaciones: pueden aparecer nuevos componentes, desaparecer los esenciales, manifestarse cambios de granulación o de estructura, etc. De ahí se infiere la necesidad que se presenta en muchos casos de tener que recurrir al auxilio de un técnico especialista para poder determinar la naturaleza de una roca y conocer sus propiedades.

h) **Color.** La coloración de las rocas viene determinada por el color original de sus minerales o de sus componentes accesorios. Entre los últimos hay que citar en primera línea el *hierro* (que tiñe de rojo, pardo, amarillo o negro), el *manganeso* (cuyas tonalidades varían del violado al rojo), el *chromo* (que da pigmentos amarillos, verdes y rojos), el *níquel*, el *cobalto*, el *cobre*, el *grafito*, la *hulla*, etc. No es raro que el color de las rocas se altere por la acción de la atmósfera: los colores orgánicos se desvanecen; muchas coloraciones (sobre todo las debidas al hierro) se intensifican y oscurecen por la acción del tiempo (arenisca de los Vosgos, mármol que contiene hierro, como, por ejemplo, el del Pentélico). En cuanto al estado de las piedras, tales pátinas no significan de modo alguno que empiecen a descomponerse o que hayan experimentado modificaciones perjudiciales. La *pulimentación* realza los colores de las piedras e influye favorablemente en su resistencia a la acción del tiempo. Las rocas más fáciles de pulimentar son las compuestas de minerales duros y uni-



formemente desgastables. Susceptibles de adquirir bello pulimento son el cuarzo, el feldespato, los espatos calizo y dolomítico, y las densas hornablenda y augita. Los grandes cristales micáceos, a causa de su blandura, dificultan la pulimentación de las piedras. No son pulimentables, o a lo sumo lo son con dificultad, las piedras ásperas, como areniscas, traquitas, lavas y tobas.

La coloración de las piedras se altera a menudo, superficialmente, por la aparición de eflorescencias, de naturaleza pulverulenta o vítrea. Tales eflorescencias, constituidas por sal de Glauber, sulfato magnésico, nitro, salitre, yeso, etc., deben su origen a la penetración por capilaridad de aguas aciduladas y a la precipitación en los poros de las sales disueltas en el interior. En la misma forma obra la humedad del terreno en los muros de cimentación y en los basamentos. Como el proceso se prosigue continuamente, llega a atacar por lo menos las capas superficiales de las piedras.

C. Composición, propiedades, empleo y yacimientos de las piedras empleadas en la construcción

1. Rocas eruptivas

a) **Granito.** Roca cristalina, de grano fino o grueso, compuesta de feldespato, cuarzo y mica. Según la naturaleza del último de los citados componentes, se distinguen los granitos:

a) *biotítico*, β) *moscovítico*, γ) *doblemicáceo*, δ) *hornabléndico*, por sustitución de la mica por la hornablenda (anfibólico, sienítico). Variedades: *hornabléndico-micáceo* (por aparición de mica); *semigranito*, *aplita*, *granitela* (casi exclusivamente cuarzo y feldespato); *greisen* (sin feldespato); *granito de los Alpes*

(caracterizado por la presencia de una clorita verde y por la disposición paralela de las escamas de mica)

El mejor granito es de grano regular y pobre en mica. $d = 2,5$ a $3,0$. Color blanco y negro, gris, rojo, amarillo (raras veces), pardo y verde, determinado principalmente por el feldespató. Resistencias: $K_c = 1600$ kg./cm.²; $K = 30$ kg./cm.²; $K_f = 140$ kg./cm.²; $K_{ct} = 80$ kg./cm.² (1).

Se designan a veces con el nombre de granitos, rocas que no lo son, como ocurre, por ejemplo, con el llamado *granito negro, sueco*, que es en realidad una diabasa o diorita del sur de Suecia; con el *granito de Bélgica*, un mármol negro con manchas blancas; con el *granito verde, sueco*, un piroxeno-gneis.

Clases raras, que dan piedras decorativas, muy apreciadas, son: el *granito de turmalina*, caracterizado por la presencia de negros cristales de turmalina dura, a menudo en forma radiada, y por el bruñido particular que es susceptible de adquirir; el *granito de pegmatita*, de granos gruesos, a menudo con grandes cristales.

Aplicaciones: Es adecuado, en general, para toda clase de construcciones, mientras su precio o la dificultad de su labra no desaconsejen su empleo. Deberá evitarse en las piedras de perfiles complicados. Pulimento fácil y duradero. Da buen resultado en la pavimentación de calles, y es excelente por su reducido desgaste, si se adoptan, como es costumbre, granitos con poca mica. A pesar de cuartearse a temperaturas de varios centenares de grados, puede considerarse como perfectamente refractario, cuando menos por lo que respecta al mantenimiento de su forma, pues las partes quemadas no se desmoronan. Los granitos de Suecia y de Noruega, son reputados por sus bellos colores, aunque no superan a los alemanes en cuanto a su

(1) K = coeficiente de ruptura a la tracción. K_c = id. a la compresión. K_f = id. a la flexión. K_{ct} = id. a la cortadura.



resistencia. Los que existen en San Ginés de Vilasar y Cabrera de Mataró (Barcelona), son susceptibles de adquirir un hermoso pulimento.

Yacimientos: El granito constituye la roca eruptiva predominante en España (98 % de las manchas). Presenta las composiciones más variadas recibiendo diversos nombres según las regiones, así en Castilla y Extremadura se llama *pedra berroqueña* y *pedra de grano* (cuando éste es grueso), *pedra de cantería* en Galicia, *pajarilla* en León, *sal y pez* en Andalucía, y en Cataluña *ull de serp*. El que más abunda es de grano grueso o mediano, como el del litoral catalán, aunque generalmente descompuesto en las capas superficiales. En Cataluña son dignos de mención, además, los granitos de Alforja, Riudecañas, Falset, Osor, Caldas de Montbuy, Caldas de Malavella, Pirineos, etc. El *granito porfídico* abunda sobre todo en Galicia (Puente Neira, Chozas, valle de Salnes, Caldas de Rey, Peña Corneira, Raindo, Cubelas, Castro Verde, etc.). Han de citarse también los granitos de grano fino de Asturias (Irrondo, Pola de Allande, etc.), el *microgranito* de Colmenar Viejo y el *granito gnéisico* de Segovia. Es notable el *granito rojo* de Andalucía (Sevilla). Entre los granitos extranjeros, igualmente abundantísimos, convendrá mencionar el de Suiza (*protogranito*, como el del San Gotardo) y el del alto Egipto (Siena, reputado primero, impropriamente, como sienita).

b) *Sienita*. Se halla constituida por feldespato y hornablenda. Cuando esta última viene substituida por biotita o augita, resultan las *sienitas biotíticas* o *augíticas*, respectivamente. Si las grandes masas uniformes de sienita aparecen manchadas con grandes cristales de feldespato, se dicen *porfido-sienitas*.

Las coloraciones normales de la sienita son: verde oscuro, gris negruzco y rojo agrisado. La piedra es relativamente blanda, pero más tenaz que el granito;

resiste bien los agentes atmosféricos. $d = 2,5$ a $3,0$; $K_c = 1300$ a 1400 kg./cm.², como promedio.

Se conocen como sienitas muchas rocas que no lo son: tal ocurre con las llamadas *sienitas de Suecia* (diabasa), *de Odenwald* (diorita), *de Lausitz* (diabasa). La roca de Siena (Egipto), de donde tomó el nombre la familia petrográfica, es propiamente, según la terminología moderna, un *granito-hornabléndico* con biotita.

Aplicaciones: Limitadas solamente por no hallarse esta roca muy extendida en canteras explotables; pulimentable.

Yacimientos: Todas las rocas de esta familia abundan en la Península: citaremos tan sólo las de la costa catalana, Sierra del Guadarrama, Avila, Sevilla, Huelva, etc. Las sienitas del norte de Oslo (Noruega), de color rosado, dan excelentes piedras decorativas.

c) **Pórfido.** Los pórfidos son rocas compuestas, cristalinas, en las que, sobre una masa fundamental compacta y uniforme, se destacan grandes granos o cristales independientes (*fenocristales*). Las variedades más importantes son:

α) **Felsita.** Pórfido cuarcífero, con masa fundamental granítica y separaciones de cuarzo y ortoclasa. Color rojizo, con degradaciones blanquecinas o parduscas de ordinario, y, raramente, grises o verdosas. Variedades: *pórfidos rojos* (sin cristales de cuarzo separados); *pórfidos cuarcíferos* o *felsita* propiamente dicha (con tales cristales). Entre estos últimos se distinguen nuevas especies según las inclusiones que presentan de otros minerales, como piroxeno, mica, etc. $d = 2,4$ a $2,8$. $K_c = 1800$ kg./cm.² (promedio). El llamado *pórfido negro* es, en realidad, un meláfido.

Aplicaciones: Como la roca se divide fácilmente en cubos (por lo que en algunas localidades de España se conoce con el nombre de *piedra cuadrada*), es muy



apreciada para la pavimentación de calles. Es de empleo general como piedra de talla.

Yacimientos: Son frecuentes en la Península Ibérica, especialmente en Portugal, Sierra Morena y Pirineos; el pórfido de Córdoba, es un pórfido rojo con manchas angulosas. Se encuentran en Francia (Vosgos), Bélgica (Quenast), Alemania, Suecia, Noruega, Valle del Nilo, etc.

β) *Pórfido granitoide*. Magma compacto como el granito, de grano más grueso que en la felsita, formado de cuarzo y feldespato; junto a los otros componentes del granito, predominan las separaciones de feldespato. El color y las propiedades de esta roca, no muy extendida, corresponden a las del granito integrante. Tiene las mismas aplicaciones que el granito.

γ) *Pórfido sienítico*. Masa fundamental con predominio de feldespato. Incrustaciones de feldespato en unión de hornablenda, augita y biotita, que caracterizan los tres subgrupos principales. Su color y propiedades son análogos a los de la sienita. Como piedra de construcción su importancia es puramente local.

Las *porfirilas* son muy semejantes a los pórfidos, de los que sólo se diferencian por la naturaleza del feldespato. Magma: feldespato y hornablenda. Incrustaciones: hornablenda, augita o mica oscura.

El color de la roca viene determinado por el color del fino magma, pardo, rojizo o gris. Se halla muy difundida y es de empleo general, especialmente para adoquinados. Pertenecen a este grupo varias piedras de construcción importantes en la historia del arte, tales como el *porfido verde antico* (porfirita augítica de Esparta, de color oliváceo) y el *porfido rosso antico* (porfirita hornabléndica de color rojizo, procedente de la costa occidental del Mar Rojo). En España se encuentran curiosas *porfirilas anfibólicas* (Pedroso,

Navalostrillo, Ronquillo, Cañada del Gramo, Brozas, Cuesta de Araya, etc.).

d) **Diorita.** Constituida por agujas o gránulos de hornablenda verde sobre feldespato claro. Coloración oscura, por predominio de la hornablenda; no es raro que contenga S_2Fe . $d = 2,8$ a $3,0$. $K_c = 2000$ kg./cm.² (promedio). $K = 50$ kg./cm.². $K_{ct} = 90$ kg./cm.²

Aplicaciones: Se utiliza en primer lugar para balasto y piedra de pavimentación (sobre todo las clases de grano grueso o porfidicas), pero es usada asimismo como piedra de talla y de decoración (por su excelente pulimentabilidad).

Yacimientos: En España, se encuentran principalmente en las provincias de Avila, Palencia, Huesca, Asturias, Galicia, Sevilla y Cáceres.

e) **Diabasa.** Se parece a la diorita, aunque de color más claro y algo más pesada. Se descompone fácilmente por los ácidos, a causa del feldespato calizo que contiene. Sus componentes esenciales son la augita y el feldespato. Es una roca dura, de estructura compacta, granular y aun porfidica. $d = 3,0$. $K_c = 1900$ kg./cm.². $K = 50$ kg./cm.². $K_{ct} = 90$ kg./cm.²

Como la diorita, es pulimentable y resistente a los agentes atmosféricos. La que se encuentra en filones estrechos se halla a menudo cuarteada y sólo sirve para mampuesto y grava; en otro caso se adapta a todas las aplicaciones. Existen variedades verdes con manchas blancas, de muy decorativo efecto.

Yacimientos: Abundan en Cataluña, en la zona bético-extremeña, en la provincia de Avila, en el norte de Andalucía, en las cercanías de Almadén, en Asturias, etc., pero se hallan esparcidas por toda la península. Son reputadas las del sur de Noruega.

f) **Gabro.** Feldespato y diálaga (o su variedad, la *esmaragdita*), con gran cantidad de minerales accesorios. Es generalmente dura, de grano grueso, con



manchas blancas y verdes. Toma buen pulimento y, si no contiene mucho feldespato, resiste bien las acciones meteóricas. $d = 2,7$ a $3,0$. $K_c = 2000$ kg./cm.², aunque descendiendo a veces hasta 700 kg./cm.².

Aplicaciones: En estado pulimentado, como piedra de decoración (en especial los gabros italianos: *granitone*, *verde di Corsica*, etc.). Se emplea también en la construcción de edificios y como material de pavimentación, aunque en este último aspecto es inferior a la diorita y a la diabasa. Su empleo general viene dificultado porque la tenacidad de esta roca encarece la labra.

Yacimientos: Escasean en España, citándose los afloramientos de Cazalla, Serranía de Ronda, Sierra de Jubrique, Cerro del Porrejón, etc. En los Pirineos se encuentran tipos con olivino. Los gabros micáceos de Alemania (Valle de Radau, Selva Negra, Odenwald, Silesia y Sajonia) son los más famosos. Abundan en los Alpes. El gabro de Córcega constituye la llamada *diorita orbicular* o *napoleonita*. Se halla también en Francia (Cantal, Loira Inferior), Italia (Florencia, Génova, Val di Scala), Noruega y Rusia (Urales). En Norteamérica cubre inmensas extensiones del Lago Superior y de Minnesota.

g) Meláfido. Consiste en una pasta vítrea de feldespato sódico-cálcico, augita y olivino, con incrustaciones de los mismos minerales. Como componentes accesorios se encuentra cuarzo, mica, hornablenda y también piritita. Análoga al basalto, se distingue de éste por su menor densidad aparente y por la efervescencia que produce al ser rociada con un ácido. Es una roca de grano fino o compacta. Su color es variable: gris oscuro, negro, verde y raramente azul. Su resistencia a la acción del tiempo es moderada. La cubierta de cantera acostumbra a variar del amarillo al pardo.

$K_c = 1200 \text{ kg./cm.}^2$, valor promedio entre límites muy extensos.

Da buena grava pero no es recomendable para adoquines. También se emplea para sillares.

Yacimientos: Son raros en la Península, citándose pequeños isleos en la provincia de Ciudad Real y en algunas localidades de Andalucía. Los meláfidos de Mallorca son análogos a los de Oberstein y de los Vosgos.

h) Olivinita. Está constituida de modo preponderante por olivino, contiene a veces pequeñas cantidades de feldespato y, de ordinario, hornablenda, augita y biotita. Da piedras apreciadas. La *picrita*, verde negruzca, muy resistente, se emplea mucho en Alemania, en las localidades de origen, para pavimentación y mampostería. En España carece de importancia, siendo más frecuentes otras rocas de la familia de las peridotitas, como la *dunita*, la *harzburgita* y la *lerzolitita*, abundantes en la Serranía de Ronda.

i) Traquita y andesita. La traquita es una roca sin cuarzo, compuesta de feldespato potásico y hornablenda, mica, o augita, distinguiéndose, en correspondencia, las *traquitas de hornablenda, de mica y de augita*. Cuando el feldespato potásico se encuentra substituído por el feldespato sódico, la roca se designa con el nombre de andesita, sin que sus propiedades ni aplicaciones presenten discrepancias notables. Magma poroso, áspero y de color claro, atravesado por gránulos cristalinos de los minerales citados. $K_c = 700 \text{ kg./cm.}^2$ (promedio). $K_f = 100 \text{ kg./cm.}^2$. $K_{ct} = 20 \text{ a } 30 \text{ kg./cm.}^2$. $d = 2,2 \text{ a } 2,7$.

Las variedades con mucho feldespato se descomponen; las de grano fino son las más resistentes.

Aplicaciones: Como se adhieren bien a los morteros, las piedras resistentes se prestan a casi todos los usos de la construcción y, conservando su aspereza indefinidamente, convienen para pavimentar calles de

fuerte pendiente, con tal que el tráfico no sea demasiado intenso.

Yacimientos: Escasean en la Península Ibérica. La provincia de Almería es la que ofrece más variedades.

La *retinita* o piedra pez, viene a ser una traquita con cuarzo, muy vitrificada, cuya coloración pasa del verde al pardo oscuro. Su variedad, la *retinita felsítica*, de color oliváceo oscuro o pardo rojizo, es una roca compacta y raramente porfídica que tiene alguna importancia en Sajonia.

Pertenece también aquí la extraordinariamente ligera *piedra pómez* o *pumita* de los petrógrafos, roca volcánica de brillo sedoso, muy porosa, de estructura celular, a menudo con cavernas alargadas separadas por delgadas paredes. Es, generalmente, de color gris claro o blanquecino. Por su mala conductibilidad calorífica da higiénica piedra de construcción, muy ligera (cúpula de Agia Sophia en Constantinopla). La generalidad de las pumitas flotan en el agua. La mayor parte de la que se emplea en España procede de las islas volcánicas del sur de Italia: sirve para esmerilar y como aislante térmico, sin aplicaciones constructivas. En Alemania se encuentran grandes yacimientos, muy someros, en las cercanías de Coblenza. La abundancia de pumita en este país ha dado origen a los múltiples usos que allí tiene en la construcción, ya para confeccionar ladrillos y placas ligeros, ya para preparar hormigón de pómez (*bimsbeton*), etc. $d = 0,4$ a $0,9$.

k) *Fonolita*. Roca compacta, semejante al basalto. Liga bien con el mortero, es muy resistente a los agentes meteóricos y, por ser a veces fácilmente hendible en placas, se emplea en algún caso como pizarra. Aplicaciones análogas a las del basalto, aunque no se hace tan lisa como éste. Es en realidad una sienita nefelínica, siendo sus condiciones de resistencia semejantes a las de las traquitas. Se encuentra en España (provin-

cia de Gerona), Francia (Velay, Mont Doré), Alemania (Hochwald, Lausitz, Vogelsberg), Estados Unidos (Colorado), etc. Por el sonido que hace al golpearla, en algunas regiones de la América meridional se conoce con los nombres de *piedra sonora* y *piedra de campana*.

l) **Basalto.** Roca compuesta, muy compacta, integrada principalmente por feldespato (plagioclasa), augita, olivino y minerales de hierro. Los basaltos de estructura granosa se dicen *doleritas*. Color gris negruzco hasta azulado. $d = 2,8$ a $3,3$. Elevada dureza. Su fragilidad impide su empleo para tallas delicadas. Es muy diatermana y no resiste el fuego. Admite sólo moderada cantidad de agua y liga mal con los morteros de cal ordinarios. $K_c = 2000$ kg./cm.². $K_f = 200$ kg./cm.².

Cuando la plagioclasa que aparece en los basaltos normales se halla reemplazada por nefelina o por leucita, se llaman aquéllos *nefelínicos* o *leucíticos*. Cuando es el olivino el componente substituído por dichos minerales, las rocas se designan científicamente con los nombres de *tefritas*, *nefelínicas* o *leucíticas*, según corresponda. Si el olivino subsiste, se llaman *basanitas*, distinguiéndose entre éstas los dos mismos grupos. En la práctica de la construcción se ha generalizado designar todas estas rocas con el nombre genérico de basalto. Los basaltos muy ricos en feldespato pueden descomponerse tomando apariencia de conglomerados — *basallovaca* — y dando origen, en determinadas circunstancias, a la arcilla basáltica.

En algunas rocas, sobre todo las que se emplean para pavimentación, es de temer que se manifieste el fenómeno de « quemarse por el sol », que así se designa vulgarmente la rápida descomposición que experimentan bajo las influencias meteóricas, disgregándose en granos o masas amigdaloides. La causa se atribuye al ataque que experimenta el vidrio nefelínico de la pasta.

El fenómeno no ha sido observado en los basaltos ácidos, es raro en las doleritas de la serie básica, y se presenta con mayor frecuencia en los basaltos básicos y compactos. Aunque no existe ningún método seguro para predecir por la simple observación superficial tan molesta manifestación, se tendrá un indicio de su probabilidad cuando la fractura, en lugar de tener el aspecto conchiforme normal, se presente áspera, desigual, con superficies ganchudas, y cuando aparezcan manchas típicas, grises o amarillas, desordenadamente repartidas. Estas manchas, indicadoras de la calidad de la piedra, pueden también provocarse artificialmente haciendo hervir delgadas plaquitas en ácido clorhídrico o lejía de sosa, y aun manteniéndolas largo tiempo en un baño de agua destilada en ebullición. Puede adquirirse igualmente otro indicio de dicho carácter si al calentar enérgicamente delgadas láminas de basalto y enfriarlas de modo súbito se manifiestan finas grietas capilares, de ordinario en forma radiada.

Aplicaciones: Como piedra de cimientos y para toda clase de construcciones de ingeniería, sobre todo para balasto y adoquín. Conviene reducir el ancho de los adoquines en el sentido del tráfico, para evitar que en tiempo húmedo el piso no sea demasiado resbaladizo. Las columnas basálticas exagonales se emplean como marmolejos, mojones y guardacantones, para defensa de taludes, construcción de diques y murallas ciclópeas. En la edificación sirve el basalto para peldaños y muros de fundación, aunque sólo con buen aislamiento y mortero hidráulico).

La *dolerita* tiene las mismas aplicaciones del basalto, pero, por razón de su estructura granosa, se adhiere bien a los morteros de cal ordinarios. $K_c = 800$ kg./cm.³.

Yacimientos: Abunda en todos los continentes. Exceptuando la región extrema meridional de España,

los basaltos son frecuentes en casi todas las provincias, presentándose en forma de masas cupulares, diques, acantilados, etc. Son notables los de Ciudad Real y los de la región volcánica de Gerona, donde algunas corrientes basálticas se extienden hasta 27 km. Las doleritas son más raras.

m) **Lava.** Rocas eruptivas de formación moderna debida a la actividad de los volcanes.

a) **Lava basáltica.** Es de color gris azulado, resistente a los agentes atmosféricos y de fácil labrabilidad. En las buenas rocas $K_c = 600$ a 700 kg./cm.². Se emplea en construcciones de ingeniería, especialmente para piedra de cimientos, de tejar, etc. y en la edificación en general, aun para sillares de labra complicada. La superficie es de aspecto granitoideo.

β) **Lava traquítica.** Excelente piedra de talla, empleada aún para construcciones monumentales, pero su importancia es principalmente local (provincias renanas)

n) **Granulita.** Consta de feldespato, cuarzo, pequeños granos de granate rojo pardo y mica oscura. Es pizarrosa, hendible en placas delgadas, de grano fino o mediano, color claro y dureza moderada. $d = 2,6$.

Aplicaciones: Se emplea para losas, engravados y balasto en las localidades de origen.

o) **Serpentina.** Es un silicato de magnesia hidratado, ordinariamente verdoso, mas a veces rojizo, con vetas serpenteadas. La piedra arrancada de cantera es blanda y fácilmente trabajable; luego se endurece. $d = 2,7$, por término medio. $K_c = 750$ kg./cm.². Es resistente a la acción del fuego pero no a la de los agentes meteóricos. Estas propiedades indican su empleo como piedra de interior. Su bella coloración y pulimentabilidad, hacen que la serpentina sea muy apreciada como piedra decorativa y desempeñe un importante papel en el revestimiento interno de edificios de carác-

ter monumental si bien no es adecuada para la erección de monumentos. Ciertas variedades se conocen con el nombre de *pedra ollar*.

Yacimientos: Los más importantes de Europa se encuentran en la Italia septentrional (Verde di Prato, Pegli, Susa, etc.), Córcega, Suiza (San Gotardo) y Alemania (Sajonia, Selva Negra, etc.). La serpentina combinada con el mármol ha dado una de las más bellas piedras de decoración, famosa en la historia del arte: el *verde antico*, de los italianos.

p) Roca de hornablenda. Junto al componente esencial y predominante, contiene feldespato, clorita, biotita y cuarzo. $d = 3,0$. $K_c = 750 \text{ kg./cm.}^2$. Resiste bien la acción del tiempo pero se disgrega por la del fuego. Su empleo, principalmente local, está indicado para adoquines, afirmados, losas de acera, peldaños y mampuestos. Cuando se encuentra con formaciones de espato calizo, da excelente material para decoración. La variedad que se encuentra entre las rocas volcánicas del Cabo de Gata, es conocida vulgarmente por *pedra de carbonilla*.

q) Eclogita. Esta roca, a menudo de hermosas tintas, se compone de onfacita (variedad verde clara de la augita) y de granate. Puede ser de grano fino o grueso, aunque siempre tenaz. Su labra es difícil, pero una vez pulimentada toma soberbios colores. Es piedra de escultor para delicadas obras de arte. La eclogita bávara, a causa de su dureza, se emplea para muelas y sustitutos del esmeril. Es roca poco difundida.

2. Rocas sedimentarias y tierras sueltas

a) Conglomerados y brechas. Según se ha visto en la página 14 al tratar de la estructura de esta clase de rocas, los conglomerados se caracterizan por las formas redondeadas de los fragmentos reunidos por el

aglutinante, mientras que los que constituyen las brechas muestran cantos más o menos vivos. Algunos autores llaman pudingas a los conglomerados y aplican esta designación, con carácter genérico, a pudingas y brechas. El cemento o aglutinante varía de unas rocas a otras: arcilla, hierro, sílice, cal, etc., pudiendo estar constituido por varias materias a un tiempo. Se clasifican estas rocas por la naturaleza de la especie predominante; así se llaman *brechas graníticas*, *conglomerados basálticos*, etc. El *nagelflue* es una pudinga especial, constituida por cantos rodados del tamaño de huevos, de naturaleza caliza, arenisca o eruptiva, reunidos por un cemento arenisco con vetas ferrosas. $d = 2,2$. $K_c = 400$. Esta roca alpina, de importancia local, es muy resistente a los agentes atmosféricos; su coloración es rojiza, generalmente clara.

b) **Arenisca.** Granos de arena de cantos vivos, por lo regular incoloros o blanquecinos, aglomerados por cementos variados, que intervienen en proporción mayor o menor. Su peso específico aparente depende de su composición, oscilando entre 1,9 y 2,7. Según la naturaleza del aglutinante, se distinguen las areniscas:

a) *siliciosas* o *cuarzosas*. Muy resistentes a la acción del tiempo y duras. Se emplean tanto en las obras de ingeniería como de arquitectura y también para formar losas. De ordinario su color es blanco o gris;

β) *calizas*. Se reconocen por la efervescencia que producen en contacto de ácidos. No son muy duras y se calcinan por la acción del fuego. En las ciudades industriales se descomponen con facilidad. Color amarillento o gris verdoso; raramente blanco o rojizo;

γ) *arcillosas*. Con frecuencia abigarradas y a veces de colores irisados. Se reconocen por el olor de la arcilla. Las variedades duras resisten bien la acción del tiempo y constituyen un apreciado material de

construcción, susceptible de recibir variadas aplicaciones ;

δ) *margosas*. Cemento arcillocalcáreo, muchas veces con inclusiones ferrosas. Son generalmente de color claro, blandas y poco durables ;

ε) *ferruginosas*. Junto a la arcilla o a la sílice, el aglutinante contiene óxidos de hierro, hematites parda o limonita, por lo regular. Su color es variado : amarillo, rojo, pardo o pardo rojizo. Las de buena calidad son tenaces y resistentes a la acción del tiempo, constituyendo una piedra de aparejo de primera clase ;

ζ) *glauconíticas* (areniscas verdes). Caracterizadas por la presencia de la glauconita (mineral semejante a la clorita), ya finamente dividida en el cemento ya formando pequeños granos ; en este último caso el cemento es de cal o de arcilla. Son muy estimadas por su hermoso color, pero abundan poco.

La uniformidad del grano es un carácter de las areniscas de buena calidad, pues las rocas, el tamaño de cuyos granos varía de unas capas a otras, poseen una dureza irregular.

Las areniscas se hallan bastante difundidas en España, tomando variadas designaciones en las distintas localidades ; verbigracia, las terciarias del Puerto de Santa María se llaman *pedra de matasanos*. Entre las más caracterizadas, puede citarse la *pedra de afilar* (de *gadaña*, de *amolar*, *aguzadera*), arenisca triásica de color rojo o amarillo. Son muy importantes en la construcción, empleándose para trabajos de sillería, mampostería, pavimentación, escultura, etc. En la edificación de la capital catalana han desempeñado un importante papel las areniscas extraídas de las canteras de Montjuich, conocidas con los nombres de « *pedra de raig* » y « *blancatxa* ». La *pedra franca* es una arenisca cuarzosa de cemento calizo existente en Andalucía, desmoronable ; con ella se edificó inicialmente

la catedral de Sevilla. Muchas piedras de molino son areniscas (*millstone*), generalmente de formación hu-llífera.

c) **Grauvaca.** Semejante a la arenisca, se compone de granos de cuarzo y detritos de otras rocas y minerales, reunidos ora pór un cemento silíceo, en cuyo caso da piedra de elevada dureza, ora por cementos ferruginosos, arcillosos o calcáreos. Color gris. $d = 2,5$ a $2,8$. $K_c = 1000$ kg./cm.² (hasta 3000 kg./cm.²). Es muy dura y resistente a los agentes meteóricos, soportando también muchas veces la acción del fuego. Se usa en arquitectura para sillares y mampuestos. En las obras de ingeniería es apreciada para adoquines y balasto. Se encuentra repartida en el paleozoico y, sobre todo, en el carbonífero inferior.

d) **Yeso.** Sulfato cálcico hidratado (21 % de agua de cristalización). Blanco amarillento, rojizo o agrisado. $d = 2,6$ (promedio). $K_c = 50$ a 70 kg./cm.² Siendo algo soluble en el agua y poco resistente a la intemperie, no se emplea como piedra de exterior. Su aplicación principal consiste en la obtención de yeso cocido para guarnecidos interiores (véase la parte relativa a piedras artificiales y morteros). Sus variedades principales son :

a) *alabastro yesoso.* Cristalizado, de grano fino y de bellos matices. Da piedras decorativas y de lujo, susceptibles de hermoso pulimento, aplicadas en la construcción interior;

β) *anhidrita.* Yeso anhidro. $d = 3$ a $3,5$. Aplicaciones análogas a las del anterior;

γ) *espejuelo.* Yeso espático. Se presenta en grandes cristales planos y transparentes. Muy exfoliable y sin aplicaciones constructivas.

La Península Ibérica es una de las regiones del Globo donde más abunda el yeso, hallándose con frecuencia en una misma localidad múltiples variedades bautiza-

das con expresivas designaciones, tales como *pedra de espejo*, *pedra de Jesús*, *pedra losa*, etc. El yeso blanco es conocido en Cuba con el nombre de *pedra cachumba*. En Cataluña se explota en Ripoll, Odena y otras muchas localidades.

e) **Caliza.** Roca de calcita o carbonato cálcico, acompañada generalmente de compuestos de hierro, sílice y otras sustancias. Su estructura puede ser compacta, granuda, cristalina y aun terrosa. Su dureza, densidad, color y condiciones mecánicas varían mucho de unas especies a otras. Pertenecen a esta clase los *mármoles* comunes propiamente dichos, compactos o de grano fino y de bellas coloraciones; pueden bruñirse, pero como muchas veces se alteran a la intemperie o son poco resistentes a los agentes meteóricos, se aplican sobre todo para piedras de interior. Variedades

a) *Caliza grauwaca o de transición.* Excelente piedra de aparejo.

β) *Caliza hullera.* $K_c = 600$ a 1000 kg./cm.². Se aplica como piedra de construcción y también para afirmados y adoquinados.

γ) *Caliza pérmica.* Compacta, de color gris, difícil de labrar pero muy resistente a la acción del tiempo.

δ) *Caliza conculifera.* Constituida por conchas petrificadas; se caracteriza por su dureza y densidad elevadas. Generalmente compacta, de color uniforme, gris, amarillento o rojizo. $K_c = 700$ kg./cm.². Da cales aéreas e hidráulicas (cuando contiene arcilla), aplicándose igualmente en la construcción arquitectural, así como en la pavimentación.

ε) *Caliza oolítica.* Esferitas concrecionadas en caliza compacta. Coloraciones claras u oscuras, teñidas con frecuencia de rojo pardo por ir acompañadas de hierro. Las calidades más uniformes dan piedra estatuaria, empleándose las demás para sillería, mampostería, adoquinados y también para la fabricación de cales.

ξ) *Caliza jurásica*. Muy resistente y de colores claros o abigarrados; piedra de aparejo, principalmente.

η) *Caliza alpina*. Su color varía del rojo al gris oscuro. De uso general en la construcción, recibe variadas designaciones locales.

θ) *Creta*. Empleada para la fabricación de cementos, para enjabelgar y para limpiar y pulir. La *creta preparada*, obtenida por trituración y levigación, se conoce comercialmente con el nombre de *blanco de España*.

ι) *Caliza granuda*. Constituida por la aglomeración de conchas y caparazones microscópicos, es de grano grueso y áspero. Da apreciada piedra estatuaria y monumental, apropiada para sillares de labra complicada y elementos de delicada talla.

χ) *Caliza silícea* (mármol granítico). Integrada por espato calizo y granos oscuros de sílice. Resistente a la intemperie, se emplea en Baviera como piedra de monumentos.

λ) *Toba caliza*. Caliza moderna y reciente, formada por precipitación del carbonato cálcico disuelto en las aguas carbónicas. Adecuada para obras ligeras de sequedad uniforme. Pertenece a este grupo el travertino, conocida piedra de construcción empleada en muchas construcciones romanas, antiguas y modernas, procedente de las canteras de Tívoli.

μ) *Alabastro calizo*. Llamado también oriental. Es piedra decorativa y escultural de considerable dureza y notable transparencia, caracterizada por su aspecto cerúleo. En la Península Ibérica se citan las canteras de Garraf (Cataluña).

Las calizas son rocas abundantísimas, esparcidas por todo el Globo. En España se encuentran casi todas sus variedades: *crystalizada* (Hiendelaencina, Guadalcanal, Hellín, Linares, etc.), *concrecionada* en el lecho

de muchos ríos (Piedra, Mesa, Gallo, Henares, etc.), *incrustada* en las paredes de muchas cuevas y formando estalactitas y estalagmitas de maravilloso aspecto (Artá, Port Crist, San Valerio), *común* o *de construcción* (piedra blanca de estepa, empleada en la reconstrucción de la catedral de Sevilla; piedra de Colmenares, de Castellar, de Vallcarca de Barcelona, etc.), *margosa* (Comillas, y otras localidades del litoral cantábrico), *creta* y su variedad la *piedra de leche* (Oviedo, Burgos, Vizcaya, etc.), *sacaroidea* (Robledo de Chavela, La Cierva, Macael, Alhama de Granada, Montesclaros, Lorca, Vélez-Málaga, etc.), *tobácea* (Segorbe, Magente, Ruidera y Molina), *litográfica* (Vizcaya, Murcia, Asturias, etc.), sin contar los ricos yacimientos de calizas propias para la fabricación de cementos, de que se hablará más adelante, y los mármoles, reservados en último lugar de esta breve descripción.

En el *empleo de la piedra caliza* para fines constructivos hay que evitar que los paramentos de algunos muros se hallen en contacto con tierra vegetal o sustancias putrescibles, por la posible formación de cloruro o nitrato cálcico, susceptibles de provocar corrosiones y coqueas. La mejor protección se alcanza adoptando para material de relleno tierras secas, arenosas o arcillosas.

En las construcciones corroídas debe repicarse con el cincel y la escoda la capa superficial descompuesta, rascar las anfractuosidades y regularizar y revocar los paramentos con un mortero de cemento, graso, o bien con una capa de asfalto u otros productos (*isol, isolit, siderosteno*, etc.). Las obras muy carcomidas deberán demolerse, reemplazándolas con buena fábrica de ladrillo o de sillería, según los casos.

Se conocen con el nombre genérico de **mármoles** muchas calizas (y algunas dolomías) compactas o granulares, caracterizadas por la belleza de su color, el

brillo cristalino de su fractura y su buena pulimentabilidad, junto con una notable resistencia a las acciones meteóricas. Son los mármoles unas de las piedras más apreciadas para la decoración interior y exterior. Según el aspecto de su fractura, se distinguen los *mármoles brechas*, llamados *brocateles* cuando están constituidos por pequeños fragmentos; los *mármoles lumaquelas* (del italiano, *lumaca*, caracol), llamados también *conchíferos* y *conquiliíferos*, que contienen gran número de fósiles, generalmente conchas y caracoles; los *mármoles arborescentes*, a causa de los dibujos de sus vetas; etc. $d = 2,6$ a $2,8$. $K_c = 300$ kg./cm.², pero variando entre extensos límites. Dureza regular. Según la aplicación a que se destinan, pueden clasificarse en *mármoles estatuarios* y *mármoles de construcción o arquitecturales*. Para aquéllos se exige, en primer lugar, la uniformidad de color, la translucidez y la fácil labrabilidad; para los segundos, se atiende en primer término a la belleza de sus tintas y también a su resistencia a la intemperie y a que se presenten en masas más o menos grandes. No es raro que los mármoles abigarrados o de colores oscuros, particularmente azules y negros, den eflorescencias al aire libre.

A continuación se enumeran algunos de los yacimientos más importantes:

1.º *España*. Como más conocidos, convendrá citar *mármoles brocateles* de Tortosa, de color verdoso o rojizo con vetas blancas y granos amarillentos; los *lumaquelas* de Cabra, Morella y Alcalá de Chisvert y las *calizas sacaroideas* anteriormente citadas. Existen, además, canteras de variada importancia en Aragón, Córdoba, Murcia, Granada, Valencia, Gerona, Cuenca, etcétera.

2.º *Italia*. Se encuentran en Italia mármoles de magníficas coloraciones, especialmente en las canteras del norte del país (Verona, Siena, Spezia y Génova).

En Carrara, además del famoso *mármol estatuario*, reputado por su blancura y transparencia, se encuentran excelentes mármoles de construcción, abigarrados.

3.º *Grecia*. El mármol estatuario de la isla de Paros, con blancura de leche, es el más famoso de los mármoles antiguos. Son asimismo notables el mármol pentélico (*greco fino* o *caldo*, de los italianos), empleado en los soberbios monumentos atenienses, caracterizado por su pátina pardo dorada (columnas del Partenón Propileos, etc.); el del Himeto (*marmo imezio*); el del cabo Matapán (rojo y negro); el *giallo antico* (rojo amarillento); el *cipolino*, fuerte, a menudo con vetas a modo de pliegues, verde, gris o negro, empleado frecuentemente en la actualidad.

4.º *Alemania*. Berchtesgaden, Tegernsee, Kehlheim Rosenheim (*mármol granítico* de Baviera), Lahntal (excelente mármol arquitectural abigarrado); sin enumerar las canteras de Turingia (mármoles atruchados, llameados, etc.), cuenca del Rin y Westfalia (compactos, pardos y negruzcos).

5. *Austria*. Untersberg (de color de carne, con finas manchas blancas y pequeñas incrustaciones negras), Laas (mármol blanco estatuario semejante al de Carrara), Adnether, Vintschgau, Göflauer, etc.

6.º *Otros países*. En los Pirineos franceses se encuentran magníficos mármoles, especialmente abigarrados, y son también apreciados en el continente algunos mármoles de Bélgica (*petit antique*, *Sainte Anne*, *granit belge*), por lo general negros o de color oscuro, con dibujos claros y blancas incrustaciones.

f) *Dolomía*. Roca de *dolomita* o carbonato doble de calcio y magnesio, conteniendo a menudo el primero también en estado libre. La de estructura granular es una excelente piedra de construcción que proporciona algunas bellas clases de mármoles, resistentes a las acciones climáticas pero atacables por atmósferas áci-

das. $d = 2,9$. Su dureza es moderada y se trabaja con relativa facilidad. $K_c = 400$ a 1300 kg./cm.². $K = 10$ a 30 kg./cm.². $K_f = 60$ a 180 kg./cm.². $K_{ct} = 70$ kg./cm.²

Esta roca, que tanta semejanza tiene con la caliza, es generalmente de color claro y muy duradera, aunque en la atmósfera de las grandes ciudades y en el mar no se conserva tan bien como la caliza.

Pertenecen a esta clase de rocas algunas clases de mármoles (por ejemplo en Alemania se citan el de Kuzendorf, de grano fino y blancura de nieve, muy apreciado como piedra estatuaria, y el de Rothenzechau, de color claro con vetas verdes o rojizas).

Aplicaciones: Se utiliza como piedra de esculturas y monumentos, así como piedra ordinaria de construcción (construcciones de ingeniería, puentes, obras hidráulicas, etc.); para la fabricación de cemento portland; para revestimientos básicos de hornos y convertidores, etc.

Yacimientos: La dolomía es muy abundante en la naturaleza. Los yacimientos más famosos son los peñascales y acantilados dolomíticos del sur del Tirol (Alpes meridionales). En España se encuentra en casi todos los terrenos de forma triásica, especialmente en las provincias de Asturias, Santander, Burgos, Ciudad Real, Almería y Málaga.

g) Rocas cuareíferas. Este grupo comprende la *cuarcita*, el *esquisto cuarzoso* y las *rocas silíceas*, integradas principalmente por cuarzo, de colores claros por lo común, granulares o compactas (vítreas), con fractura más o menos esfirrosa. Son muy duras, muy resistentes a las influencias meteóricas y al desgaste mecánico, pero son poco adherentes al mortero de cal. $d = 2,7$. Proporcionan excelente material de pavimentación y afirmado, recomendándose para la confección de hormigón resistente al derrubio (cunetas, etc.).

La *pedra molinera*, el *pedernal*, la *pedra de toque*, el *jaspe*, el *topacio de Hinojosa*, la *pedra córnea*, el *jacinto de Compostela*, el *ágata*, la *calcedonia*, el *ópalo*, etc., pueden considerarse como variedades del cuarzo. El *crystal de roca* es cuarzo o anhídrido silícico casi puro. En España se presenta con frecuencia en las sierras de Guadarrama, Gredos y Gata, encontrándose también en Cercedilla, Buitrago, Oviedo, Molina de Aragón, etc.,

Pertenece también a las rocas cuarzosas el *kieselgur* (*harina fósil* o *tierra de infusorios*), tierra blancoamarillenta de aspecto farináceo o cretoso, constituida por caparazones de animales microscópicos. A causa de su reducida conductibilidad térmica, de su elevado poder refractario y de su pequeño peso específico, constituye un magnífico aislante y un elemento de protección contra el fuego. Se emplea para confeccionar ladrillos y placas (aglomerado a veces con amianto, corcho, etc.), para esmaltar, y como substancia esmerilante o «abrasiva», como dicen algunos. Abunda en Alemania y muy especialmente en los Estados Unidos. El *tripoli* es igualmente tierra de infusorios (diatomeas, algas silíceas microscópicas); en España existen abundantes criaderos en Albacete (Hellín, La Roda), Córdoba (Aguilar, Montemayor, Montalbán, Puente Genil), Sevilla (Morón, Osuna), Jaén, Murcia y Segovia.

h) **Minerales de hierro.** Se estudian al tratar de este metal (véase pág. 192).

i) **Tobas volcánicas.** Constituidas por cenizas eruptivas sueltas, petrificadas por cementación o sedimentación. Son generalmente granulares o compactas, de color claro, resistentes a los agentes meteóricos, y de dureza y tenacidad moderadas. Son de aplicación general, especialmente en la construcción urbana. *Variedades:*

a) *Toba porfídica*, formada por pequeños detritos de pórfido cuarzoso. $d \cong 2,0$, aproximadamente.

$K_c = 200$ a 400 kg./cm.² Son conocidas las tobas rojizas de Rochlitz, Chemnitz y Nesselhof (Alemania), que proporcionan apreciada piedra para monumentos y esculturas.

β) *Toba de diabasa*, gris verdosa, a menudo íntimamente mezclada con caliza. $d = 2,3$. $K_c = 1500$ kg./cm.². Muy resistente a la acción del tiempo.

γ) *Toba traquítica*, piedra de aparejo, de importancia especialmente local. Su aspecto varía desde el de la arenisca al de la creta. Color claro con entonaciones calientes. Pertenecen a esta clase las siguientes subvariedades:

γ_1) *Toba de pómez*. Material térreo, ora parecido a la creta, ora compacto, compuesto de piedra pómez, traquita, mica, etc. y detritos de arcillas, margas, etc. Es muy ligera (en forma de arena, $d = 0,7$, por término medio), conduce mal el calor y resiste las influencias meteóricas. Se emplea para confeccionar ladrillos porosos o flotantes (*schwemmsteine*), y hormigón de pómez (*bimsbeton*), para pulir y limpiar, etc.

γ_2) *Puzolanas naturales*. Deben su nombre a los importantes criaderos de Pozzuoli (bahía de Nápoles), explotados ya por las colonias griegas. Reducidas a polvo y mezcladas con cal y grasas apagadas, les comunican propiedades hidráulicas. Su composición es análoga a la de los cementos, pero no llegan a fraguar por sí solas por no tener la cantidad de cal necesaria para la formación de sales insolubles. Los principales yacimientos se encuentran en Italia, son a saber, los de Báculo (verde oscuro), Pozzuoli (gris), San Pablo (pardo rosado), Ortona (rosado), etc. Las catacumbas romanas se hallan excavadas en un macizo puzolánico. La *santorina* (tierra procedente de la isla griega de Santorin) goza de propiedades análogas. En España las puzolanas son poco empleadas a causa, principalmente, de los excelentes cementos artificiales que la industria produce;

no obstante, para la preparación de cementos especiales se han empezado a utilizar las puzolanas de la región de Gerona (véase pág. 305).

γ_3) *Trass*. Roca volcánica áspera, de naturaleza semejante a la de la puzolana, que constituye un excelente material de adición para elevar la hidraulicidad de los morteros. Su color pasa del amarillento al gris y al azulado, a medida que aumenta la profundidad de las capas. El último es el más apreciado. El trass se caracteriza por no contener leucita. Abunda en Alemania (valle del Nette, Eifel, cercanías de Krufft y Plaidt) y en Holanda, en cuyos países tiene la misma importancia técnica que las puzolanas alcanzan en Italia (véase pág. 305).

δ) *Toba leucítica*. Se emplea para la fabricación de ladrillos cocidos. Desde hace pocos años se encuentra también en el mercado alemán como material hidráulico de adición.

ϵ) *Toba basáltica*. Procedente de basaltos y rocas próximas a éstos. Da piedra de construcción y de pavimentación.

k) *Pizarra arcillosa* (piedra de tejar). Arcilla endurecida de estructura esquistosa, compuesta de finísimas partículas procedentes de la descomposición de otras rocas: feldespato, alúmina siliciosa, cuarzo y laminillas de mica. Dureza mediana. $d = 2,7$ a $3,5$. $K_c = 600$ a 900 kg./cm.² $K = 170$ a 200 . $K_f = 300$ a 400 kg./cm.². De ordinario no se meteoriza y es a menudo refractaria. Generalmente azulada o negruzca y a veces verdosa, rojiza o violada.

La buena *pizarra de tejar* debe ser homogénea, compacta e impermeable al agua, dar lajas perfectamente planas, no mostrar grietas capilares, tener sonido claro y estar exenta de arena, hulla y pirita. Las mejores pizarras son las inglesas, pues proporcionan placas de 2,5 a 4,0 mm. de espesor y de notables dimensiones.

Las alemanas dan placas de 5 a 6 mm. de espesor y de menor tamaño. Las belgas y francesas, a menudo de más bello color que las últimas, son por lo regular menos duras y resistentes a las acciones climáticas. En España se encuentran variadas calidades que constituyen el material de techar propio de las regiones frías.

Entre las materias que acompañan las pizarras arcillosas son especialmente perjudiciales: la pirita, identificable por el color amarillento y por el «olor a pajuelas» que desprende la roca calcinada; el carbonato cálcico, que se reconoce por la efervescencia producida en contacto con los ácidos; el manganeso y el hierro; componentes hullíferos, cuya presencia se patentiza por la pérdida de peso experimentada en la calcinación. Para mayor seguridad debe recurrirse a análisis químicos completos.

Una variedad especial, ennegrecida por la hulla y combinada a menudo con carbonato cálcico, es la pizarra que se emplea para formar tablas, ordinariamente con marco de madera, en las que se escribe con tiza o pizarrín. La llamada «tiza negra» (Turingia, Bayreuth), es una pizarra dividida en varillas, por esquistación secundaria, que contiene gran cantidad de carbón.

Las pizarras se usan principalmente como piedra de tejar, para solados y para esmerilar.

D) Margas. Con esta designación genérica se comprenden muy variadas clases de rocas, compuestas de arcilla y carbonato cálcico, cuyas propiedades varían según la proporción y estado de los componentes. Con frecuencia desprenden estas rocas el olor característico de la arcilla. La estructura puede ser compacta o terrosa, variando algunas veces en una misma roca. Variedades:

a) Margas calcáreas. La cantidad de caliza alcanza el 75 % (25 % de arcilla). Color sucio, gris ama-

rillento; estratificadas. Se emplean para mezclar con la arcilla de ladrillos y en la fabricación de cementos.

β) Margas dolomíticas. Semejantes a las anteriores, pero más duras y coherentes.

γ) Margas arcillosas. Contienen hasta un 80 % de arcilla. Son muy apreciadas en la fabricación de cementos y de ladrillos.

La aplicación constructiva de las margas carece de importancia. Tan sólo las margas calcáreas y dolomíticas más duras se emplean en fábricas de mampostería de calidad inferior.

m) Rocas disgregadas y tierras sueltas. Constituidas por materiales detríticos de origen y naturaleza diversos.

α) Arcilla. Procede de la descomposición de rocas feldespáticas y se encuentra sedimentada con otros materiales rocosos. En estado seco es deleznable; húmeda es suave y plástica. $d = 2,2$ (promedio). La arcilla pura (silicato de alúmina hidratado) es blanca, pero, por la acción del hierro, posee de ordinario coloraciones grises, rojizas, pardas y aun verdosas o azuladas. Según su mayor o menor plasticidad, debida a su grado de pureza, se distinguen las arcillas *grasas* y las *magras*.

El *caolín* es una arcilla muy pura mezclada solamente con arena cuarzosa. Si se separa la arena por levigación, se obtiene una masa blancuzca muy fina y friable, que constituye la primera materia para la fabricación de la porcelana. No se funde al fuego, pero sometida a cocción se convierte en un material compacto, blanco y duro, que por percusión da sonido claro. El caolín es poco abundante en la naturaleza, pero en España existen importantes criaderos. Los mejores se encuentran en la provincia de Toledo (San Martín de Montalbán, Dehesa de Carrascosa), hallándose también en Gerona (Requesens), Sevilla (Rodalguilar), Sierra Carbonera, Valencia (Liria, Utiel), Burgos (Pino de Burbia), etc.

Entre los criaderos extranjeros convendrá citar los de Limoges y Cherbourgo en Francia; los de Barghe y Tretto en Italia; los de Morl, Trotha, Wegscheid y Seilitz en Alemania; los de Brenditz, Zeidlitz y Prinzdorf en Austria; los de Cornualles y Holstone en Inglaterra. También se encuentra caolín en Dinamarca, Estados Unidos (Pensilvania y Nueva Jersey), Rusia, etc. Los caolines de China y Japón son de fama inmemorial.

La *tierra de pipa*, es una arcilla acompañada de pocos elementos extraños que se emplea en la fabricación de cerámicas y ladrillos de revestimiento, de clases finas. Después de la cochura resulta blanca. La *tierra de alfareros* contiene mucha sílice (SiO_2) y poco carbonato cálcico (CO_3Ca) y en la cocción toma color rojizo; se utiliza para fabricar objetos de cacharrería. La *arcilla refractaria*, llamada también «chamota» (del francés, *chamotte*), no llega a fundirse en los hornos de porcelana; se aplica en la fabricación de crisoles de fusión, ladrillos para revestir hogares y hornos, etc. En nuestro país existen excelentes arcillas de esta clase.

La *tierra de ladrillos o barro*, empleada para el uso que su nombre indica, es una arcilla menos plástica que las anteriores, mezclada ordinariamente con CO_3Ca y hierro; por la cochura toma color rojizo o amarillento. No es refractaria; pasando de la temperatura de vitrificación, se convierte en una escoria azulada. Los barros que contienen menos del 60 % de arena cuarzosa, son aprovechables, después de levigar, para la fabricación de ladrillos, mientras la proporción de carbonato cálcico finamente dividido no exceda del 18 %. Las tierras de ladrillos que contienen más del 80 % de arcilla son *grasas* y se dicen *magras* cuando aumenta su proporción de arena. $d = 1,7$ a $2,5$ (promedio, $2,1$), en estado húmedo, y $d = 1,4$ a $1,8$ (promedio $1,6$), en estado seco. Los ladrillos ordinarios presentan una re-

sistencia a la compresión de unos 20 kg./cm.² (raramente 30 kg./cm.²), contrayéndose hasta un 2,5 %.

En los últimos años el barro se ha aplicado de nuevo en la construcción (casas baratas). Para *tapiar* es a propósito el barro magro, con 20 a 15 % de arcilla, al que conviene añadir cal.

Cuando para la ejecución de tapias se dispone de barro graso, se mezcla con arena o con escorias. El barro adecuado para esta clase de trabajos debe poder apelmazarse con la mano sin que se muestre húmedo superficialmente. Los muros exteriores de tapia deben tener un espesor mínimo de 38 cm. ; las paredes medianeras y los hastiales 25 cm. No obstante, en regiones frías conviene adoptar espesores mayores de 38 cm.

Al apisonar el barro entre los tapiales debe hallarse en estado moderadamente húmedo. Se procede por estratos o lechos de unos 10 cm. de altura, partiendo del centro de los muros hacia las esquinas. Para *enlucir* las tapias, después de rascar los paramentos, se empieza rociándolas con una lechada de barro, clara, adicionada de cal (con auxilio de una máquina de pulverizar), y luego se enlodan con lechada de cal y algún colorante. Esta protección debe renovarse en periodos de uno a tres años. Antes del revoco propiamente dicho, con mortero de cal (¡no de cemento!), han de dejarse transcurrir dos o tres años, pues tan largo es el secado y la contracción de las tapias.

Los enlucidos interiores se ejecutan con mortero de barro al que se agrega polvo de escorias y un poco de cal apagada. Enlucido de techos : capa delgada de barro muy graso sobre la que se van aplicando otras de barro magro, cada vez con mayor cantidad de arena. Las pinturas a la cola o al temple se adhieren bien sobre estos enlucidos. Antes de tapizar las paredes con papeles pintados, conviene asegurarse de la completa desecación de las tapias.

En las construcciones de barro entramado, los maderos se recubren con trenzas de paja enlodada, antes de proceder al macizado.

β) Cantos rodados, guijo y arena de cuarzo. Materiales detríticos originados por la disgregación de rocas cuarzosas. Los mayores reciben el nombre de *pedruscos*; se utilizan para empedrar caminos (*morrillo*), para obtener grava por machaqueo, para formar mampuestos, etcétera. Los cantos rodados o guijarros, a cuyo conjunto se da el nombre de *guijo* o *grava*, sirven para afirmar carreteras; su tamaño medio es mayor que el de una nuez. Cuando los detritos tienen el tamaño de guisantes, aproximadamente, constituyen la *gravilla* natural. Si el diámetro de los granos es inferior a 3 mm., se habla ya de *arenas*. Entre éstas se distinguen:

Arenas	Diámetro de los granos
Gruesa	> 1,1 mm.
Mediana	> 0,5 "
Fina	< 0,5 y > 0,25 mm.
Finísima o pulverulenta ..	< 0,25 mm.

La arena sedimentada en la naturaleza contiene siempre, junto al cuarzo o sílice, fragmentos de otros minerales. La arena más adecuada para la construcción es la que contiene del 5 al 10 % de detritos graníticos, feldespáticos o de rocas de familias parecidas, siendo de grano mediano, áspero y con aristas vivas. Su peso específico aparente es igual a 1,6, en estado seco, a 1,7 con la humedad natural y a 2,1, mojada.

Aplicaciones: Para confeccionar morteros y hormigones, para preparar moldes de fundería, lechos inferiores de vías carreteras y férreas, para las máquinas de chorro de arena (areneras), etc.

γ) Humus o tierra vegetal. Capa superficial de la corteza terrestre, constituida por detritos minerales y sustancias orgánicas en estado de putrefacción. Debe

proscribirse su empleo en la edificación como material de relleno y debe evitarse su contacto con muros de fábricas calcáreas, por provocar en ellos corrosiones y eflorescencias. Se presta sólo para el relleno de diques, ataguías y obras análogas. $d = 1,4$ a $1,6$, seca, y $2,0$, húmeda (promedio : $1,8$).

3. Rocas cristalinas

a) **Gneis.** Presenta la misma composición que el granito, pero con estructura francamente pizarrosa. Lo mismo que en aquél, según la naturaleza de la mica o del mineral que la sustituye, se divide el gneis en *biotítico*, *moscovítico*, *doblemicáceo*, *hornabléndico*, etc. $d = 2,4$ a $2,9$. Dureza análoga a la del granito. Los más resistentes a la meteorización son los gneis ricos en cuarzo, que se presentan en bancos potentes. $K_e = 1700$ kg./cm.² valor medio. Tonalidades grises y rojizas. Es de empleo general, utilizándose especialmente para mampostería. Constituye un material propio para adoquinados, pues no pierde su asperosidad. Algunas veces las rocas pueden dividirse fácilmente en lajas y en este caso se prestan para revestimiento de aceras, peldaños, etc. Los yacimientos más importantes se encuentran en los montes Sudetes, Erzgebirge, Fichtelgebirge, Selva Negra, Alpes y Cordillera de Escandinavia.

b) **Pizarra micácea.** Se compone de cuarzo y mica. Como los granos de cuarzo se hallan envueltos por la mica, el color de la roca viene determinado por el de aquélla y así puede ser blanco argentino, gris, rojizo y verde negruzco. $d = 2,7$. $K_e = 800$ kg./cm.² $K_f = 250$ kg./cm.². Cuando la proporción de cuarzo es elevada resiste bien la intemperie. Es refractaria (revestimiento de hornos). Se utiliza para losas y, en hojas delgadas, para tejar. Se dice también *micacita*.

c) **Filita.** Pizarra arcillosa primitiva. Esta roca, poco empleada en la construcción, está compuesta de mica, clorita, cuarzo, feldespato y minerales de hierro. Es de grano muy fino, por lo regular gris verdosa o negruzca, y raramente roja o violada. Puede hendirse en láminas delgadas y presenta un brillo sedoso. $d=2,7$ a $3,5$. Es poco dura. Se emplea para cubrición de techumbres, y para placas de revestimiento de zócalos y muros.

d) **Pizarras de clorita y de talco.** La clorita pizarrosa, teñida de verde más o menos oscuro, se compone de escamas de clorita con cierta cantidad de cuarzo y feldespato. $d = 2,2$. Es muy resistente a las acciones meteóricas y, aunque su dureza es limitada, da buena pizarra para techar y piedras de construcción ordinarias.

El talco pizarroso está constituido análogamente por escamas de talco. Resiste los agentes atmosféricos y es refractario, por cuya razón se emplea en la construcción de altos hornos, hogares, etc.

D. Extracción, labra, ensayo y aplicaciones de las piedras naturales

La extracción de las piedras naturales de sus yacimientos o canteras se realiza por lo común *a cielo abierto*, aunque tratándose de piedras de calidad especial y poco abundantes o bien cuando la capa alterada por los agentes atmosféricos (*cubierta de cantera*) es de gran espesor, se emplea también el trabajo por trincheras, pozos y galerías. En la explotación a cielo abierto, la primera fase de ataque consiste en excavar la cubierta de cantera con objeto de poner al descubierto la roca sana. Este trabajo, en pequeñas explotaciones se realiza generalmente a brazo y de ordinario con el empleo de volquetes, mientras que en las grandes canteras se recurre al uso de *excavadoras*. En esta ope-

ración será necesario descubrir de momento un frente de cantera (si ésta se halla en una ladera, como ocurre de ordinario) mucho más ancho de lo que al principio se requiera, a fin de que los escombros no acarreen dificultades cuando más tarde se trate de ampliar la explotación. El ataque propiamente dicho puede ser superior o *a cielo abierto*, por plataformas, con un frente vertical o en talud, según la naturaleza de las rocas, o bien inferior o subterráneo. En el primer caso, el frente de cantera se ataca de arriba abajo y de la ladera hacia el macizo rocoso, avanzando lentamente y formando terrazas sucesivas. Para la necesaria seguridad del trabajo, la altura de los frentes de cantera oscila de ordinario entre 5 y 10 m. llegando raramente hasta 20; en la instalación ha de atenderse a que las plataformas sean fácilmente accesibles por los lados y a disponer caminos de transporte para conducir el material extraído. En determinadas circunstancias los frentes de cantera pueden explotarse también por pilares y galerías, lo que conviene especialmente cuando se trata de obtener grandes bloques. La anchura de las plataformas o gradas debe calcularse de tal modo que, como mínimo, permita realizar el desbastado previo de los bloques en el mismo punto de extracción, a fin de reducir en lo posible los gastos de transporte de material inútil. A menudo las distintas terrazas se disponen en una planta escalonada con lo que se aumentan considerablemente los puntos de ataque y con ello el rendimiento de la explotación.

En el *ataque inferior* se provoca el derrumbamiento de grandes muros de roca, cuando se encuentran naturalmente separados del macizo rocoso por grietas o resquebrajaduras perpendiculares y paralelas al frente, obteniéndose así de una vez considerables masas pétreas. En este caso, sobre todo cuando una parte de la piedra se trata de obtener en grandes bloques, puede provo-

carse la basculación del muro hacia el lado del valle, mientras que se derrumba verticalmente cuando se prefiere la piedra fragmentada en lo posible. Sea como sea, los muros deben socavarse por la parte en que se apoyan sobre el estrato de roca más blanda, empezando por el lado del valle, minándolos inferiormente. Simultáneamente, es preciso asegurar la estabilidad de los muros, con puntales de madera cimentados en la piedra o con pequeñas pilastras o machones de roca. Llegado el momento de tumbar los muros, se quitan los puntales anteriores o se procede a la voladura de sus cimientos, en los que se disponen regueras horizontales de unos 60 m. de longitud, por 1 a 2 de altura. Con ello se obtiene la ventaja de que se consigue apartar de una vez el ripio de la cantera, separándose naturalmente de la piedra útil, de la que quedan macizos bastante grandes para poder extraer bloques voluminosos. No hay que perder de vista, no obstante, que esta forma de proceder constituye un ataque irregular, pues grandes masas de roca buena quedan desmenuzadas de modo tal que sólo son luego aprovechables para fines secundarios.

Cuando se quiere desplomar los muros verticalmente, es preciso volar a un tiempo todas las pilastras de sostén. Esta forma de trabajo es habitual y conveniente en las canteras de caliza, pues el material sumamente dividido puede entregarse desde luego a los hornos de calcinar o destinarse a la fabricación de cemento portland.

Modernamente, las canteras de caliza blanda y de piedras arcillosas se explotan también por medio de máquinas excavadoras.

La forma de ataque por chimenea y galería, tal como se emplea, por ejemplo, en algunas minas de lignito, es excepcional en la explotación de canteras. Consiste en la construcción de un pozo cuyo fondo se pone en comunicación con el exterior por medio de una galería

horizontal; el material que se arranca en la parte superior cae por el pozo y se extrae por la galería mediante volquetes u otros elementos de transporte. Como la excavación de las capas superiores abraza cada vez mayor desarrollo, la cantera toma forma de embudo.

La explotación de canteras subterráneas es análoga en un todo al trabajo de minería. El material puede extraerse igualmente, ya sea por pozos o por galerías. Como ejemplos de explotación subterránea pueden citarse las canteras de serpentina de Zöblitz (Sajonia), las de lava basáltica de Niedermendig (Eifel), etc.

El coste de la extracción de la piedra, para hacerlo independiente de la variabilidad local de los salarios, conviene expresarlo en jornales de duración normal (8 horas). Así, para la extracción de un metro cúbico, se requiere:

		Jornales
En rocas blandas (arenisca, caliza, pizarra)	{ para mampuestos	1,5
	{ » sillares	3,8 a 6,25
En rocas semiduras (caliza, mármol, algunos pórfidos, granito, etc.)	{ » mampuestos	2,5
	{ » sillares	6,25 a 9,0
En rocas duras (granito, basalto, pórfido, diabasa, diorita, etc.)	{ » mampuestos	3,13 a 3,8
	{ » sillares	17,5

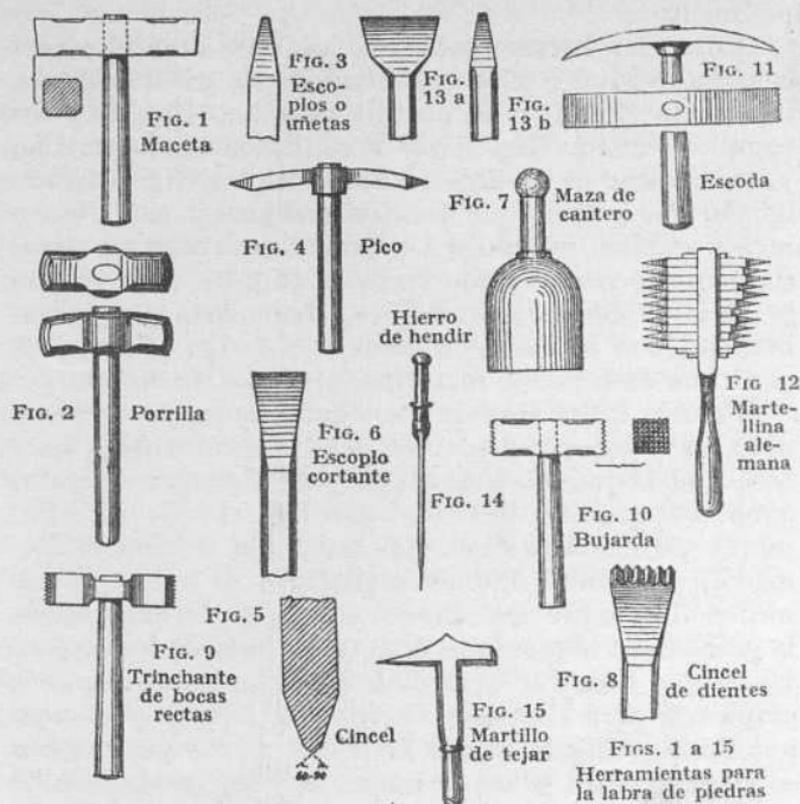
La carga de mampuestos exige alrededor de 0,2 de jornal por 1 m.³ y la de sillares 0,3.

En el acopio de los mampuestos en montones hay que contar con que cada metro cúbico de roca maciza proporciona hasta 1,5 m.³ de mampostería, volumen variable con la forma y regularidad de las piedras.

La labra de las piedras, cuando se trata de obtener sillares sencillos, de aplantillados simples, etc. se realiza generalmente a mano.

Partiendo de las formas aproximadas que presentan las piedras desbastadas en la misma cantera se labra primero la piedra en bruto, picándola o cincelándola.

Estos sillares se dejan con las llamadas *creces de cantera*, es decir, con sus tres dimensiones principales unos 3 cm. mayores que las que deben tener en definitiva, con objeto de permitir luego la labra exacta a las medidas



deseadas. El tratamiento ulterior de los sillares comprende primero el *escuadrado*, es decir, la preparación en una orilla de una *esquina* o *maestra*, rebajo plano en ángulo recto, de 3 cm. de anchura y unos 3 cm. de profundidad por debajo de la cara rústica. Cuando por el contrario la cara de paramento debe ser lisa, se

puntea o pica con la martellina, si se trata de piedras blandas, o con la escoda, dejándola granuda o fina, mientras que las piedras duras se cincelan o bujardan hasta conseguir un alisado más o menos perfecto. Si la finura ha de ser mayor se recurre al asperonado o al pulimento.

Entre las herramientas del cantero o picapedrero convendrá citar: para el *desbastado* de piedras duras, la maceta (fig. 1) o la porrilla de mano (fig. 2) y los escoplos o uñetas (fig. 3) que se conducen con la porrilla, y, tratándose de piedras blandas, el pico (fig. 4). Para igualar los golpes, que forman una ondulación más o menos rugosa, normal a las orillas, se utiliza el cincel (fig. 5) o bien el escoplo cortante (fig. 6), cuya cabeza se pica ya con la porrilla, ya, tratándose de piedras blandas, con la maza de madera (fig. 7); también en el último caso puede recurrirse al cincel de dientes.

Para la labra fina de los sillares duros se emplean macetas y escoplos, además del trinchante (fig. 9), y en último término la bujarda (fig. 10). Esta herramienta, a modo de martillo, tiene las bocas cubiertas de pequeñas puntas piramidales de sección cuadrada (*puntas de diamante*) y permite obtener superficies de grano más o menos fino sobre los sillares ya regularizados; según la granosidad obtenida se distinguen bujardados grueso, mediano y fino. En lugar de la bujarda, también puede emplearse para el alisado el cincel de dientes, con cuyo auxilio se consigue labrar las caras de las piedras con estrías regulares. Para el mismo objeto, tratándose de piedras blandas, se utiliza primero el pico (fig. 4), luego la escoda (fig. 11) y finalmente la martellina (fig. 12), cuya acción superficial remeda el bujardado. El pico presenta en lugar de bocas dos anchos filos cruzados y permite trabajar las piedras desconchándolas gradualmente. La martellina alemana consiste en un mango de hierro que termina en una abrazadera rectangular

en cuyo interior puede asegurarse por medio de cuñas una serie de hierros con punta de diamante, de sección cuadrada. A la labra estriada de las piedras duras corresponde aquí el trabajo con el cincel ancho (fig. 13 a), que se conduce con la maza de cantero y permite rebajar las superficies en fajas paralelas. Este cincelado puede ser también fino o basto.

En el trabajo de labra a mano hay que conducir las herramientas de modo que los filos formen ángulo agudo con las piezas que se labran, con objeto de que la superficie de las piedras sufra sobre todo una acción de cortadura. A proximidad de los bordes, para evitar que las aristas se descantillen, las herramientas se dirigen siempre hacia el centro de los sillares.

El color y estructura de muchas piedras no se manifiestan claramente hasta que las superficies se esmerilan y pulen. La pulimentación, con la que se eliminan las últimas asperezas, se practica frotando las caras de las piedras con un material de mayor dureza, generalmente con auxilio de discos de madera guarnecidos con fieltro o cuero, o con discos metálicos. El pulimento se practica siempre en presencia de agua abundante, a fin de arrastrar las partículas desprendidas y evitar el calentamiento de las piedras, sin contar que muchas de ellas se trabajan mejor estando mojadas. La granulación de la materia esmerilante o « abrasiva » va siendo gradualmente más fina, con objeto de que en cada fase pueda hacerse desaparecer el rayado producido en la anterior. Para pulir se emplean arenisca, asperón, piedra pómez, arena, esmeril, limaduras de acero fundido, etc., y para bruñir, esmeril impalmable, flor de azufre, carbón vegetal, polvo de cal, blanco de España, trípoli, diamantina (gris de acero), etc. En la pulimentación de la hornablenda y de las rocas feldespáticas aglomeradas se aconseja atacar primero las superficies con unas

gotas de aguafuerte o de ácido sulfúrico ; de este modo se abrevia el trabajo y se aumenta el brillo.

Para dividir a mano, las piedras en lascas, se recurre muchas veces (por ejemplo, con las pizarras) al empleo de hierros de tejar (fig. 14), a modo de largos cinceles, delgados y flexibles. El fraccionamiento y taladrado ulteriores se realizan con el martillo de tejar (fig. 15) o con tijeras.

En la *labra mecánica de las piedras naturales* se utilizan :

a) **Sierras.** Las sierras de mano sirven solamente para las calizas blandas y otras piedras de dureza análoga. Son de mayor rendimiento las sierras múltiples o de peine, de ordinario con movimiento de corte horizontal ; las hojas múltiples son de hierro forjado para la piedra blanda, mientras que para la piedra semidura son de acero, y, en determinadas circunstancias, para materiales más duros, con pequeños diamantes negros incrustados. Las sierras sinfín o continuas, constan de un alambre, un cable o una cinta de acero. Las sierras circulares van generalmente guarnecidas de diamantes o son de carborundo (siliciuro de carbono). Casi siempre el aserrado se efectúa con adición de algún polvo esmerilante y, además, el surco se rocía con agua a fin de enfriar las hojas y de arrastrar el fango que se forma.

b) **Fresadoras.** Son ventajosas las sierras circulares de carborundo, perfiladas convenientemente para poder labrar molduras.

c) **Acepilladoras.** Lo mismo que las empleadas en el trabajo de la madera y del hierro, presentan de ordinario una o varias herramientas, pero a veces funcionan con cuchillas rotatorias, a manera de fresas, o con herramientas oscilantes. Permiten la labra de caras planas o bien molduradas, en cuyo caso se emplean las llamadas herramientas de forma.

d) **Tornos.** Se emplean, sobre todo, para la labra de columnas y su pulimentación. La pieza, asegurada entre los cabezales fijo y móvil, se tornea simultáneamente con dos cuchillas diametralmente opuestas; esta precaución es necesaria para evitar el empuje lateral que tendería a flexar la pieza.

e) **Máquinas de desbastar columnas.** Funcionan con una herramienta acodillada, en ángulo de 90° , que corta en la cabeza de un prisma de piedra una ranura circular cada vez más profunda, de modo que, separando la envolvente, queda formada una columna.

f) **Máquinas de asperonar y pulir.** Cabe distinguir los tipos siguientes:

1.º *Pulidoras de disco giratorio* de eje fijo. Las piedras, generalmente losas pequeñas (baldosas de granito, piedra artificial, etc.), se mantienen fijas sobre un plato de fundición, en cuya parte central cae una mezcla de agua y arena. A veces el disco giratorio lleva una envuelta de cuerda, para recibir la substancia esmerilante.

2.º *Pulidoras de movimiento alternativo.* Se emplean de modo especial para el acabado de columnas. Se fundan en el movimiento rectilíneo de vaivén que, por medio de una excéntrica, se comunica al órgano pulidor aplicado sobre la piedra o columna.

3.º *Pulidoras combinadas.* Son análogas a las anteriores, pero el movimiento de vaivén se comunica a un disco giratorio.

g) **Machacadoras.** El tipo más generalizado consiste esencialmente en dos mandíbulas estriadas de fundición dura (manganesífera), animadas de un movimiento oscilante, las cuales quebrantan los fragmentos de piedra que caen entre ellas. El grado de trituración depende de la separación de las mandíbulas.

El **esmerilado** o desgaste superficial (para quitar el brillo) se alcanza, en las piedras blandas, por la acción

de los ácidos clorhídrico o nítrico sobre las partes no protegidas o «reservadas»; en otro caso se utiliza el ácido fluosilícico concentrado o se recurre al uso de las maquinas de chorro de arena, llamadas por algunos *areneras*.

El **dorado** superficial de las piedras se practica bien sea aplicando panes de oro sobre una ligera película de mástique de caseína, lacre disuelto, etc., bien sea barnizándolas directamente con una solución de cloruro áurico.

Para el endurecimiento o protección de las superficies pétreas contra los agentes atmosféricos cabe utilizar:

a) Fluatos de Kessler. Soluciones incoloras y transparentes de fluoruros metálicos en ácido fluorhídrico; los fluoruros más usados son los de magnesio, aluminio, zinc y plomo. Se alcanzan sobre todo buenos resultados con aplicación repetida de soluciones cada vez más concentradas, primero en la relación 1 : 3, luego 1 : 2 y finalmente 1 : 1. Para la tintura artificial se recomienda el fluato de color, que permite, por ejemplo, convertir la caliza blanda en una buena imitación del mármol. Las delgadas losas calcáreas, a menudo artificialmente coloreadas con óxidos metálicos, se endurecen de tal modo que son susceptibles de alcanzar con facilidad un buen pulimento. La *durolite líquida*, de uso en nuestro país, es un fluato de aplicaciones análogas, recomendado especialmente para la piedra artificial.

b) Testalina. Para este tratamiento se aplica primero una solución alcalina de jabón de aceite y luego otra de acetato de alúmina. La acción repulsora del agua, que favorece la conservación de la piedra, se funda en la formación de oleato aluminico, el cual se precipita y endurece en las porosidades sin llegar a obstruirlas por completo. La aplicación debe realizarse sobre piedras completamente secas, recomendándose repetir el barnizado en periodos de varios años.

c) **Barniz al óleo.** Se aplica en caliente sobre las piedras secas. Este tratamiento va acompañado siempre de un oscurecimiento del color natural. El brillo untuoso desaparece comúnmente al cabo de 3 a 4 semanas. Se requieren varias aplicaciones.

Entre otros medios sencillos de protección, se ha recomendado impregnar las piedras con parafina, fundida o disuelta en éter de petróleo; con mezclas de aceite de caucho y manteca del mismo material; con aceite mineral cargado de parafina, etc.

* * *

En el empleo de la piedra natural cabe distinguir dos campos de aplicación: las construcciones arquitecturales y las ingenieriles.

a) En **edificación** se aplican las piedras como mampuestos, sillares, piedras decorativas y losas.

a) *Fábrica de mampostería.* En la mampostería ordinaria, según la mayor o menor regularidad de los mampuestos, puede requerirse hasta 0,4 m.³ de mortero por 1 m.³, necesiándose en algunos casos — sobre todo cuando las piedras han sido arrancadas por voladura — el enripiado de la fábrica, es decir, el relleno de las juntas con material menudo (*mampostería careada*).

Para cada metro cúbico de fábrica se consumen:

	Piedra acopiada	Roca en masa
Piedra con lechos	1,3 m. ³	0,87 m. ³
Mampuestos poco labrados ...	1,4 »	0,95 »
Sillarejo	1,5 »	1,00 »

En la piedra con lechos se exige a menudo que un 75 % del material alcance cierto tamaño y que esté integrado por determinada cantidad de perpiaños (tizones o llaves); por lo menos deben labrarse bien las caras de asiento y regularizar las cabezas. Ejecución

por hiladas de igual altura o bien por hiladas variables cada 1 a 1,5 m. o, cuando menos, a cada retallo del muro. Una disposición especial está constituida por los muros ciclópeos, en forma de mosaico, bien sea con juntas de anchura irregular rellenas con ripio, bien con piedras poligonales exactamente adaptadas y con juntas angostas (*opus reticulatum*), fábrica de discutible valor estético y siempre más costosa, sobre todo en la última de las disposiciones citadas. La *elección de la clase de piedra* — compacta, es decir, buena conductora del calor y poco permeable, o bien porosa, con propiedades opuestas — se rige por las condiciones del subsuelo y el destino de los locales.

β) *Fábrica de sillería*. Los sillares son piedras labradas con regularidad en las caras de junta (hasta 3 cm. de profundidad) y de paramento. En los sillares se distinguen: la cara de paramento, las superficies de juntas discontinuas (laterales), las de juntas seguidas (de lecho y contra lecho), y la cara interior. De ordinario, en las caras de paramento se admiten discrepancias hasta 5 mm. Los precios varían según se trate de labra tosca (caras lisas o combadas, almohadillados con labra rústica o sin ella), de labra fina (piezas con filetes sencillos, molduras, gargantas, etc.) o de labra complicada (sillares trabajados en varias caras, piedras de ornamentación, etc.).

De ordinario, la talla y despiezo de los sillares se ejecuta bajo plano.

Los *peldaños de escalera*, de piedra natural, deben disponerse de manera que cada uno de ellos tenga en el inferior un asiento de 3 cm. de anchura, como mínimo; los peldaños de piedra blanda reciben generalmente un cincelado fino mientras que los de piedra dura se suministran bujardados.

En la *valoración* de la obra de sillería se toma por unidad el metro cúbico, si bien las molduras y cornisas

se cuentan por metros lineales y los elementos de labra complicada o de gran desarrollo se estiman a un tanto por pieza.

Para las *piezas ornamentales*, pulimentadas, se acostumbra a adoptar piedras duras, así como serpentinas y mármoles. Para losas y aplacados se utiliza mármol, pizarra, caliza y arenisca; sus formas son casi siempre cuadradas y octogonales, y algunas veces alargadas, sin que ninguna de sus dimensiones exceda en mucho de 60 cm. Las placas de pizarra reciben principalmente las cinco formas siguientes:

- 1.^a Exagonal, y en parte rectangular, para tejados planos; se caracteriza por el ahorro de material.
- 2.^a Rectangular o puntiaguda, para cubiertas de fuerte pendiente.
- 3.^a Pentagonal, para superficies curvas.
- 4.^a Cuadrada; tipo inglés, y
- 5.^a Trapezoidal; tipo alemán antiguo.

Además se fabrican piezas para guardamalletas, esquinas, aristas, gargantas, etc. En los catálogos de las canteras de pizarra (o de las casas dedicadas al comercio de estos materiales) se encuentran datos sobre las dimensiones de las piezas y el número requerido por metro cuadrado de cubierta. En la ejecución de ensayos de resistencia deben intervenir también los materiales de sujeción. La valoración se efectúa por metros cuadrados, sin descontar los vanos de menos de 1 m.².

A continuación se indican los pesos medios de la fábrica de sillería de las piedras de uso más corriente:

Caliza.....	2600	kg.	por	metro	cúbico
Arenisca.....	2400	»	»	»	»
Granito.....	2800	»	»	»	»
Mármol.....	2650	»	»	»	»
Basalto.....	3200	»	»	»	»
Pizarra.....	2700	»	»	»	»

b) En las obras de ingeniería es especialmente apreciada la regularidad de forma de las piedras, sobre todo en las construcciones hidráulicas. En este caso la superficie de la cara interior no debe ser inferior a $\frac{2}{3}$ de la de la cara de paramento y, además, las superficies de junta han de ir bien labradas hasta 15 cm. de profundidad; el número de perpiños debe representar un 25 % del número total de sillares. A menudo, la altura de las piedras angulares alcanza hasta 60 cm., correspondiendo a la suma de varias hiladas de altura normal (15 o 30 cm.). Son propiedades especialmente apreciadas, la resistencia a los agentes atmosféricos, la poca capacidad de absorber agua y el elevado peso específico.

La recepción se efectúa cubicando los acopios, o mejor — conocido el peso específico del material — pesando las carretadas y reduciendo el peso a volumen. Para las losas de crestería o de cubrición, cuyo espesor no será inferior a 12 o 15 cm., se elegirá piedra especialmente resistente.

En la *defensa de márgenes y consolidación de taludes* resulta ventajoso el empleo de basalto prismático o de mampuestos con contralecho (cara inferior) en espolón; en el último caso, para aumentar la trabazón transversal, pueden asentarse las piedras con la cara más ancha alternativamente arriba y abajo.

Las piedras para carga de *enfajinados sumergibles* y aplicaciones análogas deben ser angulosas y tener una densidad relativa mayor que 2,3; el peso unitario oscilará entre 15 y 60 kg.

Para la *construcción de puentes* conviene utilizar material homogéneo, duro, resistente a las acciones mecánicas, estratificado y de fácil labrabilidad; empleando buen mortero de cemento (o de cemento, trass y cal), la resistencia media de la fábrica de mampostería, al cabo de cuatro semanas, puede estimarse entre 350 y

400 kg./cm.². Cuando se carga sólo una parte de la superficie de las piedras, aumenta notablemente la resistencia a la compresión en la región de contacto, mientras que disminuye en el resto de la pieza — propiedad apreciable en la construcción de rótulas para bóvedas de puente. Véanse los siguientes cuadros numéricos (ensayos de Leibbrand, en Stuttgart, y de Bauschinger, en Munich).

I. *Probetas cúbicas de 10 cm. de lado, comprimidas por encima mediante prismas rectangulares de sección variable*

Superficie de carga	10 · 10 cm. ²	10 · 2,5 cm. ²	10 · 2,0 cm. ²	10 · 1,5 cm. ²	10 · 1,0 cm. ²	10 · 0,5 cm. ²
Carga de ruptura para la sección total	63 500 kg.	23 200 kg.	18 800 kg.	15 600 kg.	12 000 kg.	10 200 kg.
Coefficiente de ruptura en kg./cm. ² , para la sección total	635	232	188	156	120	102 kg./cm. ²
Coefficiente de ruptura en kg./cm. ² , para la sección real de carga	635	926	943	1044	1193	2050 kg./cm. ²

II. *Probetas cúbicas de 10 cm. de lado, comprimidas axialmente, por encima, mediante un prisma de sección cuadrada variable*

Serie de los ensayos	Sección de la probeta cm. ²	Sección del prisma compresor, de acero, igual a la superficie real de carga cm. ²	Coefficiente de ruptura	
			de las probetas	de la superficie real de carga
			en kg./cm. ²	
1	100	3,9 ² = 15,21	162	1052
2	100	5,7 ² = 32,49	308	923
3	100	7,8 ² = 60,84	477	727
4	100	10,0 ² = 100,00	685	685

Estos ensayos ponen de manifiesto que las superficies de contacto de las articulaciones pueden someterse a presiones mucho mayores que los coeficientes de trabajo admisibles en otro caso, si bien es indispensable enlazar las rótulas con el resto de la obra con grandes superficies de apoyo, a fin de alcanzar una transmisión gradual de la carga.

Para *pilas de puente* se recomiendan materiales de elevada dureza y compacidad y para *pilas de viaducto* la disposición de hiladas iguales, aunque de mayor altura en la parte inferior. Cada 4 o 5 m., para mejorar la repartición de presiones, conviene encintar con sillares de mayor tamaño.

En la *pavimentación* se distinguen tres formas principales: 1.^a Piedras partidas; 2.^a Piedras poligonales, con una cabeza plana y un número arbitrario de caras laterales groseramente labradas, y 3.^a Adoquines rectangulares, para pavimentar en filas.

a) *Piedras partidas* obtenidas a menudo de bloques erráticos por voladura u otros medios; por metro cuadrado de empedrado tosco, con piedras de unos 15 cm. de altura, se requieren 0,2 m.³ de material. En el trabajo de dividir, preparar y apilar 1 m.³ de piedra, un obrero invierte quince horas.

b) *Piedras poligonales*. Un metro cúbico de piedra apilada, proporciona, contando un 20 % de huecos, con piedras de

15	18	20	cm. de altura,
6,6	5,5	5,0	m. ² de pavimento

En los pliegos de condiciones facultativas debe exigirse que la superficie de asiento de las piedras no exceda de $\frac{2}{3}$ de la de la cabeza; en la construcción, lo mismo que con la piedra partida, se ha de procurar que en cada tramo de pavimento se empleen piedras

de igual tamaño, para conseguir así la carga uniforme del subsuelo y evitar el hundimiento de piedras sueltas.

c) *Adoquines*. Dimensiones normales propuestas por Dietrich :

	K_c	Superficie de cabeza	Altura
	> 1200 kg./cm. ²	10 × 22,5 cm.	15 cm.
800 a	1200 »	10 × 22,5 »	20 »
<	800 »	12 × 25 »	20 »

o bien, siendo baratos, de 18 × 18 × 18 cm.

En Alemania se dividen también en clases según la relación entre la superficie de asiento (S_a) y la de cabeza (S_c): I. $S_a = S_c$; II. $S_a = \frac{4}{3} S_c$, y III. $S_a = \frac{2}{3} S_c$.

En los pliegos de condiciones facultativas, además de la naturaleza y resistencia de la piedra, se prescribirá la forma de los adoquines. En el ancho de la cabeza se admite casi siempre una tolerancia de hasta 5 mm.; la inclinación de las caras laterales es a menudo de 1 : 20, sin presentar salientes que puedan dificultar la mutua adaptación; la diferencia de alturas en las superficies de cabeza y laterales se limita muchas veces en 12 mm. La recepción se realiza por grupos de 1000 piezas, o, mejor, por metros cuadrados de pavimento.

Varietades: 1. *Adoquín pequeño* (al. *kleinplaster*, fr. *petit pavé*), obtenido de piedra de cantera o de bloques erráticos. Las piezas, de 0,5 a 1 kg. de peso, tienen formas cúbicas o alargadas, de 6 a 10 cm. de lado por 6 a 12 de altura, aconsejándose colocarlas sobre un subsuelo resistente (hormigón).

2. *Mosaico*. Comúnmente de piedras blandas, de 5 a 7 cm. de altura por 3 a 4 de lado; se emplea para pasos de peatones aunque proporciona un piso algo fatigoso; en las grandes ciudades de Alemania se acostumbra a disponer en fajas en los bordes de las aceras.

Grava. Se emplea como material de lecho para calles, en el afirmado de calzadas y en la infraestructura

de vías ; conviene adoptar piedra con tendencia a partirse con formas cúbicas. En la grava para macadán, además de la circunstancia de ser poco desgastable por las acciones mecánicas y resistir bien la intemperie, se tenderá a evitar la formación de polvo o de barro (en particular el de consistencia pegajosa).

Se ha comprobado que para *balasto de ferrocarriles* conviene grava de formas cúbicas, con cantos vivos, de unos 4 cm. de lado, como favorable a la estabilidad de las vías. Al elegir la piedra, dura y sumamente inalterable, se pondrá cuidado en que no contenga piritita.

Los *lechos de soporte* de afirmados, comúnmente de 10 a 20 cm. de altura, se preparan con piedra partida de formas acuñadas y de naturaleza blanda, pero sin tendencia a aglutinarse. El tamaño de los fragmentos varía entre 6 y 10 cm. mientras que para la cubierta conviene grava de 4 a 5 cm.

Las *piedras para bordillos*, de naturaleza dura, tienen de ordinario 30 cm. de altura por 7 a 18 de espesor, variando sus longitudes entre 0,80 y 1,50 m.

Las *losas para aceras*, de piedra igualmente dura, tienen de 80 a 125 cm. de largo por 1,0 m. de ancho, con espesores entre 10 y 15 cm. ; la cara superior es lisa y la de asiento sólo groseramente desbastada.

Ensayo de las piedras naturales. Lo más conveniente es encomendar los ensayos a laboratorios oficiales que cuidan ellos mismos de la preparación de las probetas. Deben remitirse grandes piedras prismáticas, con indicación de su origen, posición de cantera y empleo, para poderlas dividir en cubos. Las dimensiones de éstos varían según la tenacidad de la roca, siendo normales los cubos de 7,1, 6, 5 y 4 cm. de lado.

Para los ensayos de flexión, pandeo y tracción se cortan probetas prismáticas especiales, generalmente de sección cuadrada.

Por regla general se practican con las piedras ensayos mecánicos, de porosidad (capacidad de absorción para el agua), durabilidad, helabilidad, desgaste y resistencia al fuego.

Los *ensayos mecánicos* se reducen de ordinario a determinar la *resistencia a la compresión*; sólo excepcionalmente se determinan otros coeficientes de resistencia. Para el primer objeto se comprime una probeta cúbica, hasta aplastamiento, y se calcula la carga específica de ruptura; el ensayo se realiza sobre 8 a 15 probetas, después de desecarlas completamente a 50°. En algunos casos se ensayan también probetas empapadas de agua; en las buenas rocas, no alterables por los agentes atmosféricos, la disminución de resistencia importa tan sólo algunas centésimas. Según Tetmayer,

la relación $\eta = \frac{K_c \text{ en seco}}{K_c \text{ mojado}}$ proporciona un coeficiente indicador de la alterabilidad del material; dicho autor aconseja que a la intemperie se empleen sólo piedras para las cuales $\eta \leq 1,6$. Después de muchas series de experimentos se ha podido comprobar que la resistencia de las rocas a la compresión depende únicamente de la naturaleza y cantidad de los minerales componentes y de su petrificación, sin que pueda servir de indicio el peso específico. No es raro, dentro de una misma clase de roca, ver cómo los fragmentos más densos son menos resistentes y más alterables que las piedras más ligeras. Sobre este particular es característico el ejemplo del basalto, pues justamente las clases más siliciosas — que son las menos densas — son las más tenaces y resistentes a los agentes atmosféricos (véase pág. 27); lo mismo cabe decir de las rocas calcáreas y areniscas.

Los *ensayos de compresión* se realizan generalmente con auxilio de prensas hidráulicas, cuidando que la piedra se comprima en dirección perpendicular al lecho

de cantera, es decir, que las superficies paralelas a éste se hallen en contacto con las platinas. Al mismo tiempo que se determina la resistencia a la compresión se examina el color de la roca, la estructura, la forma como se presenta la fractura y, en particular, la eventual exfoliabilidad del material.

La *resistencia a la tracción*, determinada por la ruptura de probetas, se encuentra de ordinario con respecto a la resistencia a la compresión en relaciones que oscilan entre 1:8 y 1:57, pudiendo admitirse como promedio, para las rocas más empleadas, la relación 1:28.

Para determinar la *resistencia a la flexión*, las probetas — casi siempre de $36 \times 5 \times 5$ cm. y algunas veces en forma de losas — se colocan libremente sobre dos apoyos y se cargan por su parte media hasta llegar a romperlas. El coeficiente de resistencia a la flexión oscila generalmente entre $\frac{1}{9}$ y $\frac{1}{8}$ del coeficiente de resistencia a la compresión.

De modo análogo ha podido observarse que, por término medio, la resistencia a la cortadura representa $\frac{1}{15}$ de la resistencia a la compresión.

En los ensayos del *poder absorbente para el agua, peso y compacidad*, se determina:

a) La cantidad de agua absorbida hasta completa saturación, expresada como un tanto por ciento del peso de la piedra seca, es decir, bajo la forma

$$\frac{P_a - P}{P} = \dots \% \text{, y}$$

b) El peso P de la probeta seca, en el aire; el peso P' de la misma dentro del agua; el peso P_a de la

pedra empapada de agua, en el aire ; el P'_a de la última dentro del agua. Con estos datos se tiene que

$$P_a - P'_a = V \text{ cm.}^3, \text{ volumen de la probeta, y}$$

$$\frac{P}{V} = d, \text{ densidad relativa.}$$

Además $a = \frac{P_a - P}{P}$ representa el agua absorbida, en tanto por ciento del peso ; $p = a \cdot d$, el volumen de huecos, o sea la porosidad ; $c = 1 - p = 1 - a \cdot d$, la compacidad, y, finalmente, $p. e. = \frac{d}{c}$, el peso específico.

Las probetas acostumbran a ser cúbicas, lo mismo que para los ensayos a la compresión, tomándose como valor final el promedio de diez ensayos. Las probetas se inmergen en agua entre 10 y 15° C., y se dejan en ella hasta que la balanza ya no acusa ningún incremento de peso.

El ensayo de la *durabilidad* exige, de una parte, un *análisis químico* cualitativo y cuantitativo para determinar la proporción de elementos perjudiciales, y por otra la apreciación de la resistencia de la piedra a la acción del frío. En el primer aspecto se trata principalmente de determinar las sales solubles, el carbonato cálcico libre, la piritita y el yeso, mientras que la *helabilidad* se reconoce por medio de métodos de ensayo especiales o por comparación con piedras de igual naturaleza empleadas anteriormente. El ensayo de helabilidad se practica sometiendo una probeta saturada de agua a temperaturas entre 12 y 15° bajo cero, veinticinco veces sucesivas, deshelándolas cada vez lentamente, y después se determina la disminución de resistencia que presenta la piedra helada con respecto a la probeta saturada de agua ; en las buenas piedras, esta

disminución es sólo de algunas centésimas. Mientras se practica este ensayo se observa si se producen en la piedra desconchados superficiales y si se manifiestan agrietamientos. Estos fenómenos, en las piedras que se comportan bien en el ensayo, carecen de importancia.

Un modo práctico para poder formar juicio sobre la resistencia de una piedra al frío y a las acciones meteorológicas, consiste en exponer a la intemperie durante un período de unos doce meses cierto número de probetas de forma arbitraria que no presenten defecto alguno, dejándolas sometidas a todas las influencias climáticas. Transcurrido el período de prueba se examinan, con preferencia mediante una lupa, los desconchados, agrietamientos, eflorescencias, etc. Todavía proporciona un mejor juicio la comparación de la parte interna de una piedra de la misma clase que la que se examina, después de largo tiempo de puesta en obra, con su costra exterior acaso descompuesta; no obstante, esta forma de ensayo presupone la posibilidad de extraer de una edificación antigua un trozo de piedra suficientemente grande para permitir la comparación.

El ensayo al *desgaste* se practica de ordinario determinando la pérdida de volumen que experimentan las piedras sometidas a un mismo trabajo de esmerilado. La pulidora de Bauschinger, utilizada para este ensayo, consiste esencialmente en un disco que gira sobre un eje vertical, encima del cual se comprimen las probetas cúbicas, después de pasar por la estufa, aseguradas en el bastidor del aparato. El plato giratorio ejerce su acción desgastadora con auxilio de determinado polvo esmerilante, que en todos los ensayos se emplea en igual cantidad. Cada minuto, a cuyo tiempo corresponden unas veinte vueltas del disco, se barre la arenilla formada y el esmeril usado, renovándose este último. Según la dureza de las rocas, la duración del ensayo varía entre 5 y 10 minutos. El desgaste se determina,

como promedio de varios ensayos, en centímetros cúbicos, y se utiliza como elemento de comparación con otras clases de roca. Los datos que siguen ofrecen una visión comparativa de los resultados obtenidos con diversas piedras.

Naturaleza de la roca	Basalto	Granito	Grauvaca	Caliza	Pórfido	Arenisca
Promedio de los ensayos al desgaste	7,3	8,3	10,8	36,0	6,8	61,7 cm. ³

En general, la resistencia al desgaste de las rocas no guarda relación con su tenacidad ni con su porosidad.

Modernamente, el ensayo al desgaste se practica muchas veces con la máquina de chorro de arena.

Para fines de pavimentación, cabe apreciar la desgastabilidad o dureza de servicio por medio de *taladros de caída*, que, cargados con determinado peso, se dejan caer desde cierta altura sobre las piedras hasta que producen una huella de profundidad determinada; la medida del ensayo viene dada por el número de golpes requeridos. Para ensayar la grava destinada a afirmados puede introducirse en un tambor cilíndrico, de hierro, provisto de brazos o paletas interiores, giratorio alrededor de un eje diagonal, y la disminución de volumen experimentada después de cierto número de vueltas puede servir para formar juicio sobre la calidad del material. Se comprende que toda esta clase de ensayos proporcionan únicamente un medio de comparación de valor limitado, pues en el comportamiento de un balasto en el firme de una calzada influyen, además, otras muchas circunstancias, por lo que la cuestión sólo queda resuelta de modo definitivo recurriendo a la ejecución de tramos de ensayo, es decir, sometiendo la roca a las variadas condiciones de carga, pendiente, clima, etc., de la realidad.

2. Piedras artificiales

A. Clasificación, obtención y ensayo

Los materiales pétreos obtenidos artificialmente pueden clasificarse en *dos grupos principales*, según que su endurecimiento sea debido en primer término a **procesos químicos** o que se alcance por **cochura** o **procesos de fusión**. Pertenecen al primer grupo los ladrillos de cal y arena, los de mortero y otras imitaciones de la piedra, las distintas clases de piedra artificial (toba, piedra magnésica, etc.), los ladrillos de yeso, los ladrillos flotantes y de escorias, los aglomerados de corcho, los ladrillos de turba, las placas de cemento y amianto, etc. El segundo grupo está integrado en primer término por la gran variedad de productos de la industria cerámica, desde los ladrillos ordinarios hasta los que se emplean para pavimentos, obtenidos por moldeo de escorias de alto horno con adición de detritos pétreos, etcétera, en los que las materias se hallan aglutinadas por fusión. Aunque el vidrio y las losetas de asfalto podrían incluirse dentro de este grupo, se estudian como materias primas en la tercera parte de este manual. Convendrá acaso indicar que la clasificación de los materiales pétreos artificiales en los dos citados grupos tiene un simple carácter aproximativo, pues en muchos casos intervienen simultáneamente en el endurecimiento de los productos, procesos químicos y cerámicos, no siendo posible la perfecta delimitación de las dos clases.

Para la fabricación de piedras artificiales se requiere de ordinario una serie de **máquinas auxiliares** destinadas a preparar las primeras materias, mezclarlas y, finalmente, moldearlas. Entre las operaciones preparatorias hay que citar en primer término la **trituration** de las materias primas. En la trituration *por vía seca*, partiendo de materiales de elevada dureza, en grandes trozos, se empieza rompiendo el material a brazo con herramientas variadas, y luego se entrega a las *machacadoras* donde, al pasar entre dos mandíbulas oscilantes más o menos separadas, se convierte en grava. La trituration ulterior puede obtenerse : a) con *molinos de rulos*, compuestos generalmente por un plato en el que se echa la grava y sobre el cual giran dos muelas de eje horizontal, aunque en ciertos casos los rulos están fijos y el plato gira en un eje vertical ; b) con *molinos de ruedas*, de tipo clásico, en los que la finura del grano viene determinada por la separación existente entre la muela fija y la volandera situada encima ; c) con *laminadores*, en los que los materiales pasan entre varios pares de cilindros o conos, con huelgo cada vez menor, de superficies lisas, ásperas o estriadas ; d) con *bocartes*, que trituran el material por la caída repetida desde poca altura de una serie de pisones, y e) con *centrifugadores*, *desintegradores* y *molinos de bolas*, en los que las materias primas encerradas en un tambor giratorio se muelen hasta el máximo grado de finura, al chocar con brazos fijos en la superficie interior de los tambores o con bolas duras, que pueden moverse libremente dentro de ellos. Para el trabajo *por vía húmeda* se emplean laminadores análogos a los *molinos de cilindro*, *malaxadoras* y *mezcladoras*, de los tipos que se describen más adelante al tratar de la fabricación de ladrillos.

A menudo la trituration de los materiales va seguida de un **tamizado**, para clasificar los granos obte-

nidos, según sus dimensiones. Para ello se emplean unas veces *cribas de tromel* y otras *de vaivén* o *de sacudidas*.

Para la mezcla y uniforme dosificación de las distintas materias primas, así como para adicionar agua y obtener masas plásticas y homogéneas, se emplean variados tipos de **máquinas mezcladoras** y humectadoras, que presentan casi siempre la forma de una artesa de sección semicircular o de un tambor cilíndrico. En el primer caso, el recipiente es fijo y en su interior gira generalmente un árbol concéntrico, con palas o aletas mezcladoras, aunque en algunos aparatos se encuentran dos ejes contiguos que giran en sentido contrario. En los mezcladores de tambor es corriente la disposición de cilindro giratorio, en cuyo caso las paletas, solidarias al árbol o distribuidas en la cara interna del tambor, tienen perfiles a propósito para que al mismo tiempo que se realiza la amasadura de las primeras materias se consiga su avance de un extremo a otro del cilindro. Por lo general, en estas máquinas se efectúa primero la mezcla en seco de los materiales y luego, previa adición del agua necesaria, en estado pastoso. Durante este proceso puede convenir, como ocurre en la fabricación de ladrillos de cal y arena, mantener la mezcla a temperatura determinada, a cuyo fin, para compensar las pérdidas térmicas, se recubren las máquinas con camisas de caldeo.

Para **moldear** los ladrillos se emplean *moldes* o *gravidillas*, en los que la materia se comprime a mano y raramente por medios mecánicos, o bien *prensas* especiales que funcionan según variados principios. Los moldes sencillos se construyen de madera, hierro colado, yeso y cola. Los moldes de madera, sin ser muy resistentes, tienen la ventaja de resultar económicos y cómodos. Los de hierro son pesados y caros, conviniendo tan sólo cuando los ladrillos han de comprimirse a elevada presión. Estos últimos, pudiendo presentar formas muy precisas y siendo

susceptibles de recibir esmaltes por sus caras internas, son adecuados para fabricar ladrillos de relieves complicados y también baldosas y losetas sencillas que deban presentar caras pulimentadas, pues con ellos se reduce el trabajo de bruñido que en ciertos casos resulta innecesario. Los moldes de cola se preparan con una mezcla de cola y glicerina; ambos componentes se cuecen el tiempo requerido para evaporar el agua hasta el grado conveniente. La masa plástica se vierte en los moldes, donde se solidifica rápidamente, y retirada de ellos se barniza con una solución de bicromato potásico al 5 %, para endurecer e impermeabilizar su superficie. Los moldes de yeso se obtienen por vaciado de los modelos, dándoles recias paredes para aumentar su resistencia; lo mismo que los de hierro y los de cola, se utilizan para obtener piedras ornamentales o de complicadas formas, cuando no se prefiere esculpir las (como hoy es corriente hacer con las piedras de hormigón) partiendo de bloques bastos, que, mientras están todavía blandos, se labran a mano como las piedras naturales.

Al tratar de los ladrillos de cal y arena (*silicocalcáreos*) y de los ladrillos ordinarios se indican algunos ejemplos de prensas.

El ensayo de las piedras artificiales, por lo que respecta a la determinación de la densidad relativa, porosidad, tenacidad y resistencia a las heladas, se realiza análogamente a lo dicho para la piedra natural. Por la misma naturaleza de dicha clase de materias pétreas, se comprende la facilidad que existirá para obtenerlas en forma de probetas, lo cual no sólo tiene especial importancia en los ensayos de tracción y flexión sino también en los destinados a determinar las cargas de ruptura por compresión de morteros, hormigones, etc. También es frecuente en algunos casos — por ejemplo, tratándose de ladrillos cocidos o de ladrillos silicocalcá-

reos — reunir dos mitades de un ladrillo normal con mortero de cemento de 1 : 3 y someter a la acción de la prensa el cuerpo resultante, de forma aproximadamente cúbica. Junto a estos ensayos normales, no obstante, es preciso con frecuencia ensayar las piedras artificiales en atención a las especiales condiciones que en la práctica deban estar sometidas, siendo evidente la conveniencia de que los ensayos se aproximen en lo posible a las circunstancias que concurren en la realidad. Así, para muchas piedras interesa unas veces conocer la impermeabilidad al agua, otras la resistencia a la acción de líquidos corrosivos que ulteriormente deban hallarse en contacto con las piedras o con los cuales deban éstas lavarse o desinfectarse. Para determinar la permeabilidad se utilizan en unos casos cilindros hidráulicos, que se cierran por un extremo con un tapón formado por la materia objeto del ensayo, en otros se recurre al empleo de tubos de cristal que se aseguran con mástique sobre la superficie de placas pétreas y según la altura a que se mantiene el agua se aprecia el comportamiento de las probetas a las diversas presiones, o bien, por último, como se recomienda en el caso de tejas o de otras piezas de formas cóncavas, se contornean con un reborde de cemento y se llena de agua el cuenco formado. En este último caso se observa por lo regular si el material rezuma por su cara inferior, y siempre que no se formen gotas antes de las primeras 72 horas se considera el material como prácticamente impermeable. No es raro que el ensayo se realice primero sobre la capa superficial y que luego, después de esmerilar la cubierta, se prosiga sobre el cuerpo del material. El ensayo a la corrosión se efectúa ora inmergiendo las probetas en el líquido correspondiente, de modo que aflore una parte de ellas a fin de que sea fácil apreciar cualquiera alteración, ora rociando una faja del material.

Para muchas clases de piedra artificial tiene particular importancia el ensayo de sus *propiedades refractarias*. A este fin, se someten a la acción de un enérgico fuego piezas o placas sueltas, que en parte luego se empapan de agua, o bien se utilizan las piedras para la construcción de casetas en las que se provoca un incendio. De este modo puede formarse juicio sobre la resistencia de piedras, ladrillos y placas en caso de siniestros reales, aclarándose además lo relativo a la conductibilidad del material, a su comportamiento bajo la acción de las mangas extintoras, etc. Raramente se recurre para registrar la temperatura alcanzada en los simulacros de incendio al uso de pirámides de Seger (1), empleándose de ordinario aleaciones metálicas con distintos puntos de fusión, que se colocan en pequeños crisoles refractarios colgados en las cámaras de fuego.

De algunas piedras artificiales, interesa, además, determinar su resistencia a los choques y a las compresiones elásticas o inelásticas. Para el ensayo al choque, la piedra se coloca en una caja de madera, asegurándola sobre un asiento de grava, y se mide el trabajo necesario para romperla, bien sea por la caída de un mazo, bien por un número de golpes repetidos. La prueba de aplastamiento se realiza comúnmente con auxilio de prensas hidráulicas, o con pisones cargados de otro modo, y se determina el límite del esfuerzo que ocasiona deformaciones elásticas y la carga necesaria para provocar la ruptura.

Finalmente, en muchas ocasiones desempeña un papel importante la determinación de las sales solubles contenidas en las piedras artificiales. El análisis químico cuantitativo puede ilustrar sobre el particular, pero no hay que olvidar que la aparición de eflorescen-

(1) Véase lo relativo a «Productos cerámicos», página 136.

cias no depende sólo de la cantidad total de sales solubles, sino del volumen de huecos del material y de la disposición de los poros. Por esta circunstancia es mejor el ensayo práctico, consistente en empapar las piedras de agua y dejarlas secar luego al aire, con lo que las sales fácilmente solubles se acusan más o menos en la superficie y pueden dar idea suficiente de la forma probable de comportarse el material en obra.

B. Piedras artificiales cuyo fraguado obedece principalmente a procesos químicos

1. Hidroareniscas e hidrocalizas

La fabricación de esta clase de materiales se realiza mezclando detritos o polvos de piedras naturales, especialmente caliza, mármol, y arenisca, con fina arena de cuarzo y cal apagada. La pasta se comprime en moldes y su endurecimiento se consigue introduciendo los ladrillos en calderas y sometiéndolos a la acción combinada de agua caliente, a presión, o de vapor de agua, y de anhídrido carbónico. Con esto se produce una separación de anhídrido silícico, que da lugar a la formación de silicato cálcico (y en presencia del carbónico también de carbonato cálcico), aglutinándose la arena, los detritos pétreos, etc. De este modo se producen piedras que imitan perfectamente en su aspecto y propiedades las areniscas y calizas naturales, que pueden colorearse por adición de piedras pulverizadas, que presentan coeficientes de ruptura por compresión superiores a 400 kg./cm.², y que son susceptibles de ser labradas a mano y partidas con facilidad.

A esta clase de materiales pertenece el producto patentado *hydrokalkstein* (hidrocaliza), de Hauenschild, constituido por un 80 a 90 % de arenilla calcárea (de-

tritos de canteras de mármol o de caliza) y un 20 a 10 % de cal en polvo. Las materias integrantes se amasan con poca agua y la pasta se reduce a ladrillos por medio de la prensa. Después de 3 a 4 días de exposición al aire, se llevan los ladrillos a la cámara de fraguado donde, alternativamente, se exponen a la acción de corrientes de vapor y de carbónico durante varios días. El material resultante tiene gran resistencia a los agentes atmosféricos, y es muy compacto y susceptible de adquirir un buen pulimento.

2. Ladrillos de cal y arena

Esta clase de ladrillos, llamados también *silico-calcáreos*, gozan hoy en Alemania de gran predicamento, pues existen algunos centenares de fábricas que producen anualmente más de tres millones de piezas (1):

Están constituidos por una mezcla de 92 a 90 partes de arena (generalmente, arena común de cantera) y 8 a 10 partes de cal. El apagado de la cal se realiza casi siempre después de mezclarla con la arena, mezcla que se efectúa en mezcladores calentados por camisa de vapor y en los que se apaga la cal también por igual medio. Este procedimiento tiene la ventaja de que el calor que durante el apagado la arena toma de la cal facilita la disolución del anhídrido silícico, simplificándose luego la compresión de los panes. La figura 16 muestra esquemáticamente la disposición de la mezcladora-calentadora Schwarz, consistente en un tambor provisto de robustas aletas helicoidales, de acero, que al mismo tiempo que ligan la pasta de modo íntimo determinan su avance.

(1) En España se dedica a su fabricación la sociedad «Lasical, S. A.», domiciliada en Madrid.



El moldeo de la pasta en ladrillos se efectúa mecánicamente. Las figuras 17 y 18 muestran dos tipos de prensas usados para este objeto. En la primera la compresión se produce por medio de un mecanismo de palancas de codo articulado, mientras que el moldeo de

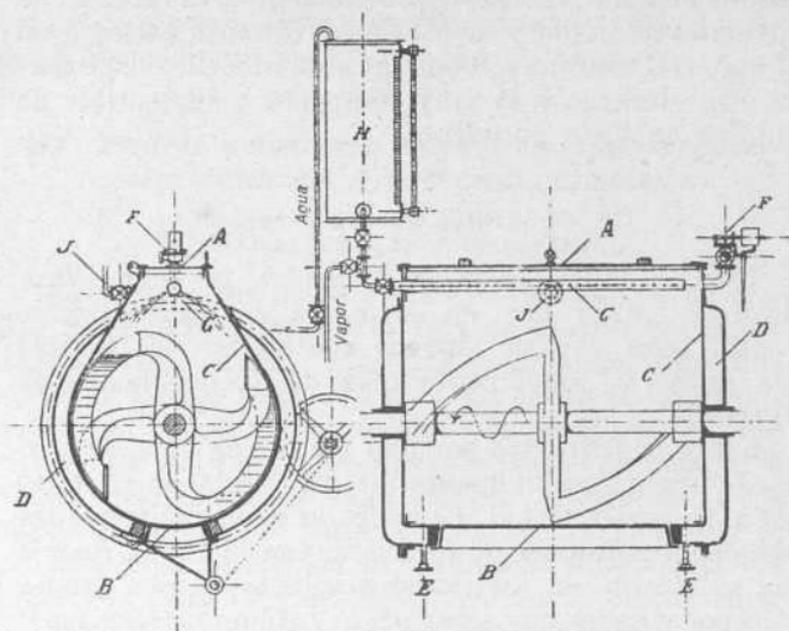


FIG. 16. Mezcladora Schwarz

los ladrillos se realiza en una mesa giratoria que, conteniendo de 6 a 8 moldes, proporciona a cada revolución otros tantos ladrillos; una vez listos, se extraen de los moldes por medio de un expulsor de palanca. En la figura 18 se representa una pequeña prensa hidráulica. A cada carrera del bastidor portamolde se comprime un solo ladrillo, al encontrarse la parte *R* encima de la platina del émbolo, o sea poco después de que la mezcla ha pasado a ocupar la posición *Q*. Al

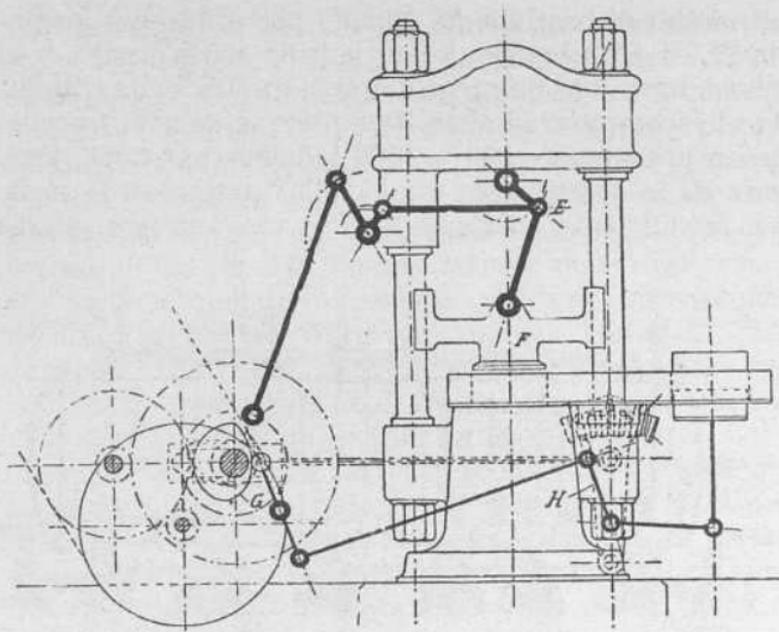


FIG. 17. Prensa de rótula

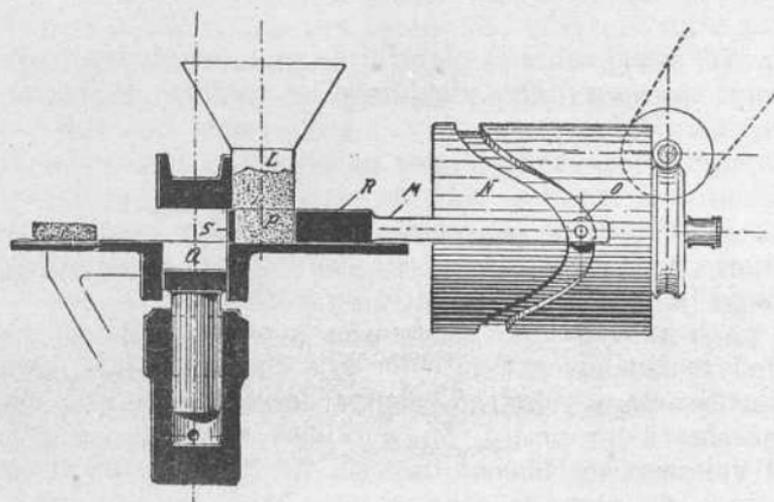


FIG. 18. Prensa hidráulica

retroceder el bastidor *M*, guiado por el tambor giratorio *N*, el émbolo expulsa el ladrillo hacia arriba y el mismo bastidor lo empuja sobre la mesilla de la izquierda al recomenzar el ciclo. Las prensas de este tipo llegan a producir de 800 a 1000 ladrillos por hora. Después de la compresión, los ladrillos presentan la resistencia suficiente para que puedan cargarse por grupos

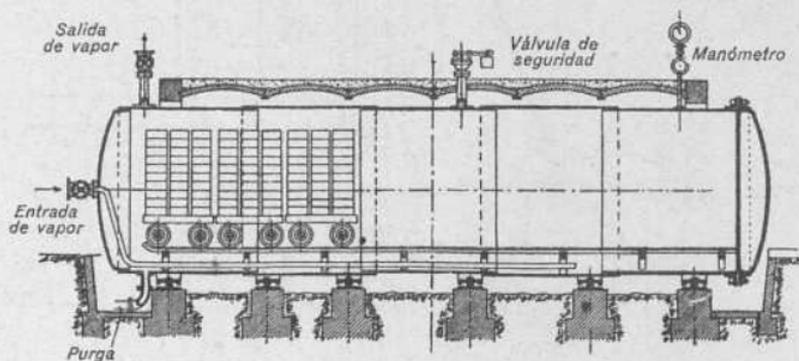


FIG. 19. Caldera de endurecimiento para ladrillos de cal y arena

de 600 a 800 sobre la plataforma metálica de las vagonetas con que son conducidos a las calderas de fraguado, mantenidas entre 6 y 9 atmósferas. Los ladrillos se endurecen en éstas, por proseguir la formación de silicato cálcico, y al cabo de unas 12 horas pueden ser ya destinados al consumo. Las pequeñas partes residuales de cal que quedan sin combinar se transforman luego, al contacto del aire, en carbonato.

Los ladrillos, que reciben las mismas formas de los tipos normales, son de color gris claro, aunque puede modificarse a voluntad, dentro de ciertos límites, con mezclas a propósito. Su densidad aparente es 1,9; el volumen de huecos importa un 25 % y un metro cúbico de obra de fábrica pesa 1800 kg. en números redondos. Las piezas pesan alrededor de 3,8 kg.

Por acuerdo del gremio de fabricantes, en Alemania $K_c > 140 \text{ kg./cm.}^2$, llegando a menudo hasta 250 y 300 kg./cm.^2 . Por impregnación admiten hasta un 12 % de agua. Resisten bien el fuego y las heladas y pueden emplearse en obras marítimas. Los ladrillos silicocalcáreos constituyen un material de construcción de valor análogo al de los ladrillos ordinarios, sobre los que presentan la ventaja de sus formas más regulares, y por ende del menor consumo de mortero, caracterizándose por fabricarse con mayor rapidez. Desde el punto de vista económico, hay que considerar también que su coste de producción no es relativamente más elevado, y la circunstancia de que las primeras materias, cal y arena, se encuentran en casi todas partes o pueden adquirirse sin gran dificultad. No obstante, la lisura de sus cabezas dificulta la adherencia de los revoques. El precio de los ladrillos a pie de obra varía notablemente con las distancias y la mayor o menor facilidad de los transportes.

Varietades: *Ladrillos refractarios de cal y arena, ladrillos silica.* Una vez terminado el fraguado se cuecen los ladrillos a alta temperatura, originándose un silicato de cal anhidro que aglutina los granos de arena.

Ladrillos impermeables de cal y arena. A la mezcla de cal y arena se adiciona asfalto, alquitrán o sustancias análogas y, mediante una enérgica amasadura, se consigue que los granos de arena queden completamente envueltos por una película bituminosa. La pasta se prensa y se hace endurecer por la acción del vapor, tal como se ha indicado antes. Los ladrillos que se obtienen, de color oscuro, se caracterizan por su compacidad casi perfecta, su gran resistencia a las influencias meteóricas, a la temperatura y a la humedad, constituyendo, por lo tanto, un excelente material aislante.

3. Piedra artificial de cemento. Bloques de hormigón

El material empleado en la construcción de edificios y monumentos que se conoce vulgarmente con el nombre de «piedra artificial», está constituido por piezas de hormigones compuestos casi siempre a base de cemento portland, como aglutinante, y variados materiales de relleno, por ejemplo, arena, gravilla, detritos pétreos de todas clases, arcilla cocida, etc. Las piedras artificiales son duraderas y semejan a menudo areniscas, calizas y granitos. Muchas de las clases empleadas, que hoy desempeñan un papel importantísimo en las mismas construcciones de carácter monumental, permiten reemplazar en excelentes condiciones ciertas piedras naturales, con respecto a las cuales se distinguen por su mayor resistencia a los agentes atmosféricos, más alta tenacidad y menor precio. Además, modernamente se ha conseguido dar a la piedra artificial coloraciones bellas y permanentes, evitándose, mediante mezclas adecuadas o multiplicidad de primeras materias, la monotonía de aspecto que antes se achacaba a dicho material. También ha podido imitarse la estructura irregular de las piedras naturales (por ejemplo, la caliza conquílifera), llegándose en este sentido a resultados magníficos, pues en muchos casos, sobre todo cuando se trata de piedra artificial exclusivamente labrada a mano, es casi imposible distinguir lo natural de lo imitado. Es cierto que, por lo que respecta a las piedras eruptivas, no se ha llegado al mismo grado de perfección, a pesar de fabricarse estimables granitos, — diabasas — y pórfidos, de piedra artificial cementicia. La fabricación de la piedra artificial se realiza por colada (a veces con extracción del aire) o por apisonado (método más conveniente), a menudo con mezclas de dosificación variada, es decir, empleando en los para-

mentos hormigones más grasos y finos que en el interior, reforzándose además las piezas de gran tamaño

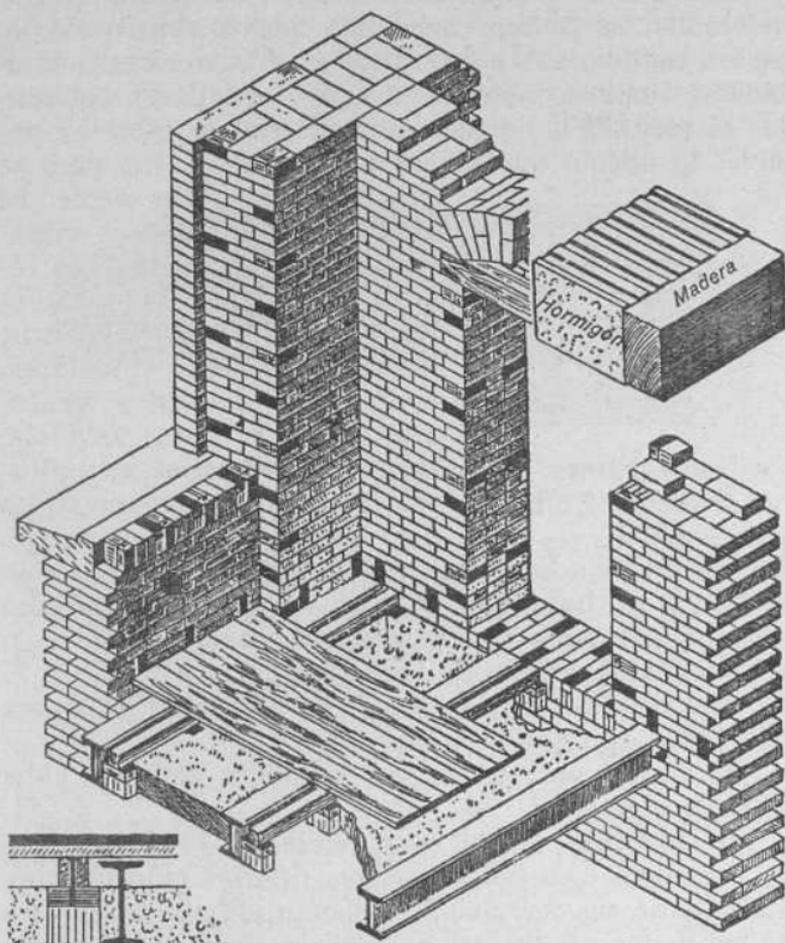


FIG. 20. Empleo de bloques Dubel

con tendones de hierro. Las clases mejores se someten a una labra (que se practica a mano, estando el material todavía blando), con objeto de prestar a las piedras

el aspecto de los productos naturales. En las calidades superiores se adoptan mezclas de una parte de cemento por 2,5 a 3 de material de relleno; con frecuencia la coloración se obtiene mediante polvo abigarrado de piedra molida, sobre todo para imitar areniscas; también se emplean, aunque en lugar secundario, colorantes térreos. El endurecimiento ulterior es también posible, lo mismo que en las piedras naturales, pero se

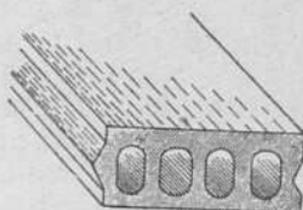


FIG. 21, a
Tablas de cemento

practica sólo raras veces. El campo de aplicación es sumamente variado: placas de revestimiento, sillares, basamentos, placas para recubrir, bordillos, capiteles, molduras, marcos de puertas y ventanas, peldaños, losas, baldosas, tejas, placas huecas, y esculturas y piedras ornamentales para monumentos, fuentes, etc.

La resistencia a la compresión de estas piedras es semejante a la del hormigón, es decir, con buenos materiales y ejecución esmerada, al cabo de cuatro semanas se llega a coeficientes comprendidos entre 250 y 300 kg./cm.². Un metro cúbico de fábrica de arenisca artificial pesa unos 2100 kg., por término medio.

Entre las múltiples clases de piedra artificial cabe citar las siguientes:

a) **Ladrillos Dübel** (pat. alemana 111113). Son de hormigón, con las dimensiones de los ladrillos normales o de sus fracciones, y llevan asegurado en uno de sus lados un tarugo de madera dura que permite unir sólidamente a la obra cualquiera estructura de carpintería (véase fig. 20).

b) **Tablas de cemento** (fig. 21, a y b). Con cantos machihembrados; se emplean para construir solados y paredes. Se aligeran con canales huecas. Dosificación:

1 : 5, a base de cemento y arena o gravilla de pómez (material ligerísimo); a veces se arman, para contrarrestar las flexiones, con hierros planos de canto. Las tablas para techos planos tienen por lo común de 5 a 15 cm. de espesor y hasta 2 m. de luz; también se emplean para el forjado de faldones de cubierta, entre cabios y correas (se colocan sin entablonado).

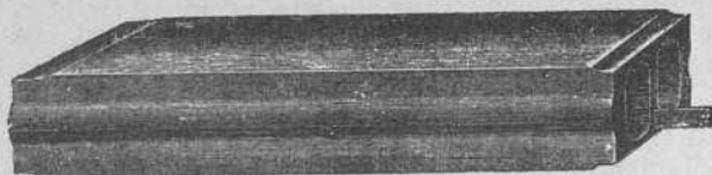


FIG. 21, b. Tablas de cemento con armadura

Pertenecen a este grupo las losas armadas de **hormigón de pómez**, tipos Remy y análogos, empleadas para techar, en forma de casetones, etc., aunque sólo son recomendables cuando, por la adecuada dosificación del material, se consigue la compacidad necesaria para que el hierro quede bien protegido. Por término medio, estos casetones pesan unos 80 kg. por metro cuadrado. El espesor de las *losas Remy* oscila entre 6,5 y 10 cm.; el ancho constructivo es de 50 cm. y su longitud alcanza hasta 2,60 m. Se entregan a las obras, listas y a punto de montar; su completa rigidez se obtiene por medio de ligeras armaduras.

c) **Losas granitoideas** (*granitoidplatten*). La superficie expuesta al desgaste está constituida por gruesos gránulos de granito, aglutinados con mortero de cemento; en Alemania son muy empleadas para aceras.

d) **Mármol de cemento**. En términos generales, cabe decir que se prepara como el mármol artificial de yeso, a cuya descripción nos referiremos, por hallarse

más difundido. Los mármoles brecha son los que mejor se imitan.

e) **Mosaico cementicio, terrazo.** Sobre un estrato de mortero de cemento se incrustan, según dibujo, pedacitos de mármol de variados colores o pequeños trozos prismáticos de baldosilla hidráulica coloreada; se rejunta luego con una lechada de cemento y, finalmente, se esmerila y pulimenta la superficie. Para el mosaico terrazo se emplean sólo baldosas de cemento y, realizándose la unión con el mismo material, toda la superficie posee aproximadamente una dureza uniforme, circunstancia de especial interés por lo que al desgaste se refiere.

f) **Ladrillos de aserrín.** El aserrín húmedo, y protegido con una capa mineral, se mezcla íntimamente con agua y portland. Con la pasta obtenida se moldean ladrillos y losas, que fraguan lentamente, dando un material ligero, duradero y que se trabaja con facilidad. Esta clase de ladrillos, lo mismo que los Dübel antes citados, sirven para unir el maderamen a las fábricas pétreas. Los *ladrillos Noris* pertenecen a este grupo.

g) **Bloques huecos de hormigón para construcciones económicas.** Presentan canales horizontales o verticales; los primeros permiten formar cámaras aislantes, de aire, pero estáticamente aprovechan tan sólo una parte de la masa pétreo. En los bloques con canales verticales, todo el material puede trabajar en la transmisión de las cargas; prescindiendo de que con largos conductos continuos es difícil evitar la permeabilidad de los muros, el aislamiento térmico es más deficiente, pero, por otra parte, con la introducción de armaduras en las canales y la subsiguiente colada de hormigón, cabe formar en la masa de las paredes verdaderas pilastras rígidas. Muchas veces se preparan los bloques con una capa interior, constituida a base de escorias o de materias porosas, susceptible de reci-

bir clavos y con la cara de paramento impermeabilizada. Lo último es innecesario cuando pueden revocarse adecuadamente. Además de los bloques paralelepípedicos, se han propuesto las formas más variadas, en **U**, **L**, **T**, **E**, etc.

A estas modernísimas piedras de construcción, que sobre todo por lo que afecta al ahorro de combustible y conservación del calor ofrecen el interés máximo y son con razón más empleadas cada día, pertenecen, entre otros tipos, los siguientes :

Placas de hormigón para la construcción de paredes huecas. Los muros se forman aquí con dos placas dispuestas paralelamente, aseguradas con nervios de hormigón, rellenándose el espacio intermedio con materias aislantes o bien con hormigón ; en determinadas circunstancias, previa la introducción de armaduras de hierro, dan lugar a la formación de pilares continuos o muros de carga. Es corriente adoptar para las placas de interior hormigón de escorias (1 : 3 : 4) y para las de paramento hormigón de guijo ; se obtiene así una capa propia para mantener el calor dentro de los edificios, y un revestimiento compacto en la parte externa (tipos *Tilgner*, *Fiebig*, etc.). Algunas veces las cámaras intermedias se subdividen mediante placas horizontales (por ejemplo, construcciones sistema *Jurko*). Es parecida la disposición de los bloques a modo de diedros de lados desiguales (tipo *Ambi*). También en este sistema se emplea hormigón de guijo de 1 : 8 en la cara externa y hormigón de carbonilla de 1 : 2 : 6, u otros análogos, en la cara interna, rellenándose el hueco intermedio con materias sueltas. El sistema « *Kell y Loeser* » es parecido : los diedros son de mayores dimensiones y están provistos de armaduras.

Los *bloques huecos*, como ya se ha dicho, poseen variadas formas. En las paredes que con ellos se construyen la cámara de aire queda múltiplemente divi-

didada. Igualmente, la cara de paramento acostumbra a prepararse compacta y la interior porosa, para conservar mejor el calor, no siendo raro el empleo de bloques totalmente compuestos de hormigón de escorias. (Tipos: *Rosacometta*, *Wayss y Freitag*, *Becher*, *Germania*, *Paxtein*, *Rexstein*, *Winget*, *Clususstein*—bloque de hormigón relleno de escorias—, etcétera.)



FIG. 21, c. Disposición general de la bloquera automática *Rosacometta*

h) Adoquines de hormigón. Estos bloques constan generalmente de dos capas, una magra, que constituye el cuerpo del adoquín, y otra grasa, que forma la superficie. Proporciones de mezcla: 1 : 3 : 3 y 1 : $\frac{1}{4}$: 2 (cemento : arena : gravilla), respectivamente, y, para la capa superficial, también 1 : 2. Estos pavimentos pueden mantenerse limpios con facilidad, no son demasiado ruidosos para el tránsito y presentan

rotatable resistencia, ofreciendo buen apoyo a los cascos de las caballerías. Mezclando con el hormigón porcelana molida o materiales análogos se consigue dar mayor dureza y asperosidad a su superficie. Los pavimentos de hormigón han alcanzado gran difusión en Norteamérica, habiéndose introducido en varios países europeos. En Alemania son conocidos los pavimentos de piedra artificial con cemento de diabasa (1) y el material llamado *basalloide*.

(1) Sociedad «Koschenberg», Lausitz (Alemania).

Modernamente se emplean también adoquines de hormigón armado, cuyas armaduras se hallan constituidas: a) por varillas redondas, rectas u onduladas; b) por chapas de hierro embebidas, con partes en forma de dientes, recurvadas alternativamente hacia arriba o hacia abajo, para asegurar la solidez de los bloques, o bien c) por rejillas de hierro destinadas a reforzar las superficies, ofreciendo especial adherencia a las herraduras de los caballos. Cabe discutir la eficacia de tales armaduras.

i) **Tubos y canales de cemento.** Se utilizan para canalizaciones. Se ha propuesto la adopción de perfiles normales para los tubos de *sección redonda* y *ovada*, en los primeros con diámetros de 100, 125, 150, 200, 300, etc., hasta 2000 mm., y en los segundos con las siguientes proporciones de altura a anchura: 30/20, 45/30, 60/40, 75/50, 90/60, 105/70, 120/80, 135/90 y 150/100 (todas estas medidas en centímetros). También se fabrican canales de forma aplastada, encontrándose perfiles con relaciones de altura a anchura entre 20/30 y 100/120 (medidas en centímetros). Los grandes perfiles se descomponen a menudo en piezas: una solera, dos paredes laterales o hastiales y una bovedilla.

Pertenecen a este grupo los anillos de chimenea y de pozo, los tubos de bajadas de agua, canales gemelas, etc., y las formas especiales que se registran en los catálogos de los fabricantes (1).

Convendrá citar en este punto los llamados tubos de amianto aglutinado, compuestos de cemento y amianto, que fabrica la sociedad «Uralita», con longitudes de 4 metros y espesores variables según las presiones de ensayo. Los tipos A y B, probados respecti-

(1) «Dyckerhoff & Widmann», de Biebrich; Liebold & Co., de Holzminden; «Butsems y C.», de Barcelona; «Santana y Bein», de Barcelona; «J. Sagrera», de Gerona, etc.

vamente a 5 y 6 atmósferas, tienen diámetros interiores comprendidos entre 50 y 1000 mm.; los tipos C, ensayados a 15 atmósferas, y los D, probados a 20, presentan diámetros comprendidos entre 50 y 600 mm.

Son dignos de especial mención los tubos de cemento armado con alma de palastro, de gran diámetro, para redes de distribución de agua que fabrica la casa «Construcción de Tubos Bonna», de Cornellá (Barcelona).

4. Piedras artificiales de yeso

Si el yeso se calienta hasta 115° adquiere la propiedad de fraguar o endurecerse rápidamente al amasarlo con agua, si bien el material (yeso de estucar o de vaciar o yeso rápido) no resiste la acción de la intemperie. Por el contrario, cuando la calcinación se lleva hasta el rojo, el material adquiere propiedades hidráulicas, siendo susceptible de fraguar de modo lento pero adquiriendo mayor dureza y pudiendo resistir la acción del agua (yeso para mortero o yeso lento).

En el yeso rápido $d = 2,6$, y en el lento $d = 2,8$ a $2,9$; el primero es perfectamente blanco mientras que el segundo tiene tonalidades amarillentas o rojizas.

Las aplicaciones del yeso, tanto en una como en otra de sus formas, son variadísimas, para fabricar piedra artificial, para trabajos de estucado, placas, tablas de solado, jaharros, guarnecidos, etc.

a) **Piedra artificial de yeso hidráulico.** Las piedras de construcción son pesadas y resistentes y pueden parangonarse con los sillares de arenisca y con la piedra artificial de cemento; las piedras de yeso rápido sólo se prestan para obras interiores.

Son clases especiales las siguientes:

a) *Piedras Annalyt*, compuestas de 4 partes de yeso rápido molido, 3 partes de arena viva y 3 partes

de detritos de cantera o materiales análogos. El aspecto puede ser mármóreo, granítico, etc., según la naturaleza del ripio natural añadido.

β) Piedra Terranova. Compuesta de yeso alabastro, polvo de ladrillo, pasta de cal, etc.; se emplea principalmente para trabajos decorativos, se moldea por colada y compresión. Permite sustituir piedras de revestimiento de dureza semejante.

γ) Mármol artificial. Se prepara con yeso, cal viva y ácido sulfuroso o sulfitos. Por la mezcla de las primeras materias se forma primero un sulfito cálcico, que obra como aglutinante, el cual, finamente dividido en toda la masa, se oxida con rapidez dando yeso cristalizado, sobre todo con adición de agua caliente. Resulta una piedra artificial de aspecto mármóreo, muy resistente a la compresión y poco absorbente para el agua. Antes de tratar la masa con el ácido puede mezclarse con distintas cargas (carbón, ceniza, arena de escorias, tierra de infusorios, etc.), obteniéndose excelentes clases de piedra artificial, sumamente variadas.

b) Estuco de yeso. Se prepara con yeso rápido, al que se añade agua de cola para aumentar su resistencia (escayola). Los métodos de aplicación más conocidos son los siguientes:

a) Con polvo de yeso, agua de cola y pinturas, se preparan panes de distintos colores y matices, que luego se malaxan juntamente, y de la pasta bien amasada se obtienen delgadas placas, por medio de cortes longitudinales o transversales. Las hojas se aplican sobre el revoque de las paredes y luego se asperonan y pulimentan.

β) La pasta de yeso, flúida, de uno o varios colores, se vierte sobre placas de vidrio (2×1 m.), untadas con aceite y circundadas por bastidores separables, formando un estrato de algunos centímetros. Los veteados pueden simularse mezclando determinadas sales con el

agua de amasadura de modo que al repintar las placas listas con otras soluciones reaccionen con ellas y determinen la aparición de determinados colores. También cabe quebrar las placas con un escoplo, separar un poco los distintos trozos y soldarlos de nuevo colando en las juntas morteros de yeso fluidos de uno o de varios colores, imitando así los veteados. De modo análogo, partiendo de distintas placas cuarteadas, reuniendo los fragmentos arbitrariamente sobre una mesa de vidrio y soldándolos con una lechada, puede imitarse el mármol brecha y otras variedades.

γ) Con hilos de shap o borra de seda, o fibras análogas, impregnados con fluidas papillas de yeso, coloreadas, se forman sobre una placa de vidrio veteados arbitrarios y luego se toman en conjunto, con mortero de yeso. Antes de iniciarse el endurecimiento, se extraen los hilos con cuidado, de modo que sólo queda en contacto con la placa el yeso abigarrado que los mojaba. Esta manera de proceder permite obtener delicadas ramificaciones que se difuman gradualmente en las zonas de contacto.

Para dar coloración al yeso se emplea ocre (para amarilla y parda), hematites (roja), esmalte (azul), polvo de hulla (gris y negra), hematites parda, amarillo de cromo, verde montaña, cinabrio, etc. También se recurre a reacciones químicas para el teñido de placas. Así, por ejemplo, añadiendo un poco de vitriolo verde al agua de amasadura, el yeso, por la acción del oxígeno del aire, toma el color tostado del hidróxido de hierro; el acetato de plomo y el dicromato potásico dan un color amarillo intenso, una sal de hierro y el ferrocianuro potásico dan el azul, el sulfato de cobre y el dicromato potásico dan el rojo, etc. Asimismo, para comunicar al mármol artificial un aspecto cristalino se añaden al yeso finas laminillas de mica, polvo de alabastro o mármol molido, y se alcanza la irisación me-

tánica de las vetas por medio de limaduras de metal, cristales de pirita, etc. El endurecimiento de las placas de estuco puede obtenerse por medio de soluciones de alumbre y de bórax, silicatos alcalinos y, finalmente, fluato de yeso.



FIG. 22, a



FIG. 22, b

Por perfecta que, en cuanto al aspecto, pueda ser la imitación del mármol que el estuco permita producir, ambos materiales se distinguen, no obstante, fácilmente por la gran diferencia de sus conductibilidades térmicas: el mármol natural se encuentra siempre frío, el estuco, caliente.

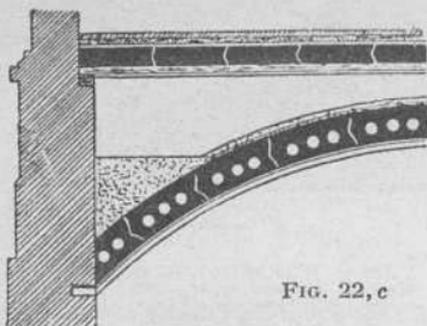


FIG. 22, c

FIGS. 22, a, b, c. Tablas de yeso

c) **Cemento de mármol.** Presenta analogías con el estuco de yeso, pues se aplica en guarnecidos para imitar el mármol natural. Es un yeso lento de tipo alúmbrico (cemento Keenes), que se obtiene por cochura hasta el rojo, de yeso impregnado con alumbre y amasado luego con agua de alumbre, o un yeso boricado (cemento de Paros) obtenido análogamente. Ambos cementos pueden utilizarse a la intemperie.

La *pasta de Carrara*, de propiedades parecidas, se emplea para guarnecidos así como en forma de placas, molduras, etc.

d) **Tablas de yeso** (figs. 22, a, b, c). Los espesores varían entre 2,5 y 10 cm., las longitudes entre 2,0 y 2,5 m. y los anchos entre 25 y 50 cm. $d = 0,7$ a $0,8$; $K_f = 40$ a 50 kg./cm.². Pueden aserrarse fácilmente y



FIG. 23, a

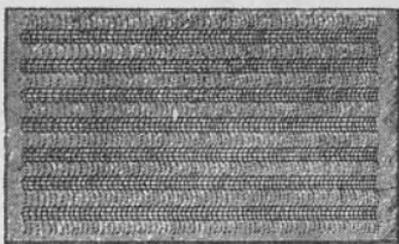


FIG. 23, b



FIG. 23, c

FIGS. 23 a, b, c. Placas aislantes

admiten claveteados. Se utilizan para chapeados, aislamientos, paredes huecas (con doble tabique), contrasoleras o entrepisos, etc. Estos guarnecidos requieren enfoscados de cal, o de yeso y cal, para asegurar la adherencia. Se aligeran dejando huecos, o embebiendo pedacitos de corcho, tierra de infusorios, escorias granuladas, etc. Puede aumentarse la solidez con fibras orgánicas resistentes y evitarse la hu-

medad con protecciones de asfalto, *isol*, *inertol*, etc.

Hasta la fecha, esta clase de materiales no ha conseguido arraigar en nuestro país. En Alemania, contrariamente, existe gran variedad de tipos, entre los que convendrá citar las placas aislantes que construye la sociedad « Bauhygiene » (figs. 23, a, b, c), compuestas de yeso duro, las cuales llevan semi-incrustada una tela

metálica ondulada, protegida contra la oxidación. La cámara de aire que se forma, por las ondulaciones que afloran de la tela metálica, otorga a estas placas el carácter de revestimientos aislantes y sordos, y cierto valor de protección en caso de incendios; además, su enlace elástico evita que se agrieten los guarnecidos de los cielorrasos.

5. Ladrillos flotantes

Están constituidos por una mezcla de un volumen de gravilla de pómez y nueve volúmenes de cal apagada. Por esta circunstancia se conocen también con el nombre de *ladrillos de pómez*, designándose frecuentemente en Alemania por *ladrillos renanos*, por proceder la piedra pómez con que se preparan, de la región del Rin (Neuwider). Después de mezclar como conviene las primeras materias, se moldean los ladrillos — muchas veces a mano — y se dejan endurecer al aire durante varios meses. Como se comprende, el aglomerante principal está constituido por el CO_3Ca , aunque colabora a su acción el silicato cálcico originado por la separación parcial de SiO_2 de la piedra pómez. Los ladrillos renanos se caracterizan por su reducido peso ($d = 0,7$ a $0,95$), por facilitar la pronta desecación de las fábricas con ellos construídas, y la rápida elevación de muros (a causa de su formato), por sus propiedades refractarias y por ofrecer un excelente aislamiento térmico y acústico. $K_e \cong 20 \text{ kg./cm.}^2$; carga admisible, $3,0 \text{ kg./cm.}^2$ (1).

(1) Las dimensiones y características principales de los ladrillos flotantes alemanes son las siguientes:

- $25 \times 12 \times 9,5$. Tipo normal. Un vagón de 10 ton. contiene de 4800 a 5000 ladrillos. Peso unitario: 2,05 a 2,85 kg.
- $25 \times 12 \times 7,5$. Tres pulgadas. Número por vagón: 6000 a 6500 ladrillos. Peso unitario: 1,65 a 2,30 kg.
- $25 \times 12 \times 6,5$. Tamaño normal del ladrillo cocido alemán; conviene para paramentos interiores de muros de ladrillo ordinario. Número por vagón: 7000 a 7500. Peso unitario: 1,35 a 1,85 kg.

Un metro cúbico de fábrica de ladrillo de pómez pesa unos 1000 kg., por término medio. Estos ladrillos se toman con morteros de composición análoga a la suya o bien con mortero de cal, y, aun mejor, con adición de cemento.

La gran permeabilidad al aire que presentan los ladrillos flotantes puede reducirse notablemente con un enfoscado de mortero de cal (1 : 4), y casi eliminarse con un barniz de vidrio soluble. No dan buen resultado aquí los enlucidos de cemento, pues impiden la evaporación de la humedad que penetra en los muros.

Los ladrillos flotantes son muy apreciados en Alemania para la construcción de casas baratas.

Son análogos a éstos, los ladrillos aislantes Schneider (de Neuwied), adecuados para cámaras frigoríficas. $d = 0,68$; $K_e = 17$ kg./cm.².

La gravilla de pómez es también muy usada por los constructores alemanes en la construcción de techos aislantes de hormigón de pómez (1 : 9), armado o en masa. Esta clase de techos se construyen *in situ* o se llevan a la obra en forma de placas o casetones (placas Remy, véase pág. 87).

6. Ladrillos de toba artificial

Estos ladrillos aislantes, muy ligeros y porosos, se obtienen provocando por una reacción química un desprendimiento de burbujas en el seno de una masa plástica de fraguado rápido, para que al endurecerse ésta queden aquéllas aprisionadas. Como primeras materias se emplean, sobre todo, el yeso y la tierra de infusorios, que se amasan con agua débilmente acidulada con sulfúrico, y carbonato cálcico molido; la reacción de las dos últimas sustancias determina la formación de CO₂. Pertenece a esta clase la piedra artificial Grote (de Uelzen), que se suministra en forma de ladrillos, tablas

y placas (anchura hasta 25 cm., longitud hasta 2,5 m., espesor entre 4 y 8 cm.); susceptible de ser claveteada, cortada, etc., con la misma facilidad que la madera blanda; debe manejarse con cuidado a causa de su fragilidad. Constituye un excelente material aislante y resistente al fuego. También se emplea en la construcción metálica, a veces asociado al amianto, para revestimientos protectores contra la acción de los incendios.

7. Ladrillos de escorias

Su fabricación se funda en que si se mezclan de 5 a 6 volúmenes de escorias de alto horno granuladas, con un volumen de cal apagada, el producto fragua en el término de seis a ocho días, por formación de silicato cálcico y de CO_3Ca . La cal apagada puede usarse en forma de lechada o en estado pulverulento; en el último caso es necesario humedecer las escorias. Aumenta la resistencia de los ladrillos obtenidos cuando una parte de las escorias se pulveriza previamente, pues este polvo obra como factor de hidraulicidad.

Los ladrillos, prensados mecánicamente y madurados al aire, se caracterizan por la regularidad de su forma, con aristas vivas y superficies planas; se ponen en obra tomándolos con un mortero de escorias, cal y arena. Su color es blanco agrisado; los usados en Alemania tienen 25 cm. de largo por 12 de ancho, con espesores de 8 ó de 6,5 cm. Peso unitario: 3,5 a 3,2 kg. $K_c = 80$ a 140 kg./cm.^2 , pero a veces excede de 150 kg./cm.^2 . Coeficiente de trabajo a la compresión: 10 kg./cm.^2 , como promedio, tanto más cuando el material se endurece con el tiempo. Un vagón de 10 toneladas comprende de 2850 a 3130 ladrillos. Este material es suficientemente refractario, pues resiste temperaturas hasta el rojo, y constituye un sustituto económico de los ladrillos cocidos, aunque, a causa de su color, los

ladrillos carecen de valor estético. Los ladrillos de escorias se emplean principalmente para edificar, y también para pavimentar aceras, y, en general, para los mismos usos que los ladrillos cerámicos.

Pertencen a esta clase de piedra artificial los *ladrillos de lana mineral* (obtenida inyectando vapor de agua en un chorro de escorias líquidas), mezclada con agua de cal o aglomerantes análogos.

En la actualidad se trata de aprovechar las escorias de alto horno para fabricar un material *parecido al de los ladrillos flotantes*, sometiendo las escorias a la acción del aire comprimido, a fin de que, bajo la influencia del vapor que se forma durante la granulación, se obtenga un producto análogo a la piedra pómez, que luego se pueda aglomerar con cemento (patente *Schol*).

Hay que citar en este punto los *ladrillos granudos* (koerner-steine), patentados, que se obtienen zaran-deando sobre una criba una mezcla de escorias molidas, cenizas, etc., y mortero de cal, con lo que se forman gránulos de 5 a 10 mm. de diámetro. La masa se endurece y proporciona ladrillos que, si bien son algo más pesados que los ladrillos renanos, poseen análogas propiedades termotécnicas.

Como algunas clases de escorias se caracterizan por su poca conductibilidad y su elevada capacidad calorífica, se prestan en determinadas circunstancias para rellenar espacios huecos en obras de albañilería y para análogas aplicaciones.

8. Piedra artificial magnesiana

Los materiales pétreos de variadas formas — placas, revestimientos continuos, etc. — pertenecientes a este grupo se hallan casi siempre aglomerados con *cemento Sorel*, o bien, aunque raras veces, con magnesia calcinada. El cemento Sorel consiste en una mezcla de cloruro

magnésico y magnesia calcinada, composición de extrema blancura, gran tenacidad y dureza, susceptible de aglutinar íntimamente grandes cantidades de materias inertes pulverizadas. Estas últimas (representando a menudo un 90 % de la masa total), se mezclan de ordinario con la magnesia, añadiendo luego la solución de cloruro magnésico. La masa plástica obtenida se endurece rápidamente en los moldes; la resistencia final depende esencialmente de la correcta concentración de la solución de Cl_3Mg . La magnesia calcinada (MgO) obra de modo análogo, pues su comportamiento semeja el de la cal viva: amasada con agua proporciona una pasta que fragua en poco tiempo. Entre esta clase de materiales pétreos artificiales hay que citar:

a) **Ladrillos refractarios de magnesita.** Compuestos, como materia inerte, de magnesia, calcinada en parte hasta elevada temperatura y en parte menos cocida, amasada con agua como elemento aglomerante. La formación del hidrato de magnesia puede facilitarse sometiendo las piezas a la acción del vapor de agua dentro de calderas (140 a 150°). Se emplean para revestimientos refractarios, especialmente en hornos siderúrgicos.

b) **Ladrillos de construcción.** Piedras artificiales comunes de variada composición, obtenidas principalmente con oxiclорuro magnésico (*albolita*, con relleno de SiO_2 no cristalino; *cajalita*, con relleno de polvo de mármol, arena, arenisca molida, etc.); con materias inertes muy duras pueden obtenerse muelas.

c) **Placas de construcción.** Con cemento Sorel se fabrican placas prensadas (algunas veces con alma de tejido de yute), que se emplean para revestir paredes y techos, pavimentar y fabricar casas transportables. Las materias áridas o de relleno son de naturaleza muy variada (aserrín de corcho, o de madera, tierra de infusorios, amianto, etc.), según las finalidades del pro-

ducto. Son refractarias, soportan la humedad y los cambios de temperatura y conducen mal el sonido. $K_f \cong 120 \text{ kg./cm.}^2$, en estado seco; después del ensayo al fuego, $\cong 70 \text{ kg./cm.}^2$; empapadas de agua, $\cong 90 \text{ kg./cm.}^2$; heladas, 100 kg./cm.^2 , en números redondos. Se labran con la misma facilidad que la madera y son susceptibles de pulimentación, adquiriendo un aspecto marmóreo (1).

d) **Xilolita y materiales análogos.** Placas obtenidas por compresión elevada de una mezcla de aserrín fino, de madera, y cemento Sorel; se fabrican de variadas coloraciones empleando aserrín teñido o bien adicionando colorantes a la masa. Material sumamente tenaz, inalterable por los agentes atmosféricos, mal conductor del calor (por lo que proporciona pavimentos templados), no arde ni propaga los incendios, no se agrieta y es muy resistente al desgaste. Se fabrican placas desde 10 mm. de grueso ($1,67 \times 0,82$, $1,52 \times 0,83$ y $0,995 \times 0,995$), de color de madera, rojo y gris. Se trabaja lo mismo que las maderas duras. Protegiendo la cara de lecho con barnices especiales (*isol*, *inertol*, etc.), es aplicable sobre toda clase de suelos y es igualmente adecuado para realzar peldaños desgastados. Secado al aire, $K = 250 \text{ kg./cm.}^2$, saturado de humedad $K = 160 \text{ kg./cm.}^2$. Asimismo, las probetas secas o húmedas dan, respectivamente, para los demás coeficientes, los pares de valores que se indican: $K_c = 850$ o 750 kg./cm.^2 ; $K_f = 440$ o 410 kg./cm.^2 . $d = 1,55$.

Análogos a la xilolita, con casi idénticas propiedades y las mismas aplicaciones, existe gran número de materiales que se emplean en primer término para la eje-

(1) La sociedad «Deutsche Magnesitwerke», de Berlín, fabrica placas de $1 \times 1 \text{ m.}$ y de $1 \times 1,5 \text{ m.}$ con espesores de 20 o 12 mm., según se destinen a revestimientos exteriores o interiores, pesando 31 y 19 kg., respectivamente.

cución de pavimentos continuos o monolíticos. Merecen citarse entre ellos :

a) Torgamento (material de carga o relleno : fibras leñosas, amianto, masas minerales). Revestimiento de solados que se prepara *in situ*.

β) Papirolita. En forma de chapas o de polvos (para revestir o guarnecer).

γ) Terrazzolith. Otro revestimiento para pisos monolíticos, constituido por una masa de amianto aglutinada con un cemento de magnesia, aplicable sobre madera, hormigón, piedra, hierro, etc. Puede colorearse a voluntad, es muy duradero, no enfria los pies, es elástico, incombustible e impermeable ; es también aplicable para enlucir paredes (1).

δ) Heliolita (2). Se aplica como un estuco magnésico sobre un enfoscado de cemento, lo mismo para pavimentos que para paredes y techos. El jaharro puede colorearse como se quiera y aun darle el aspecto de mármol. Es duro, brillante y lavable y resiste la acción de los desinfectantes enérgicos y las lejías.

Tienen composición análoga y propiedades parecidas los productos *dresdament*, *holzgranit*, *korkolita*, *terralita*, *xilopal*, *lignolita*, *mineralita*, *higiene*, etc., especialmente utilizados para pavimentos continuos.

El tendido de esta clase de revestimientos continuos debe sólo confiarse a especialistas con la experiencia necesaria sobre la exacta composición de las mezclas y la concentración de las soluciones. Se han de evitar, además, las influencias perjudiciales o destructoras que algunas veces han sido observadas en pisos de hormigón armado o en las tuberías de hierro situadas debajo de

(1) Patente de la sociedad «Douce & Moulin», de París. Aplicado, por ejemplo, en los pisos de coches de ferrocarril de las principales líneas francesas ; «F. C. Metropolitano Transversal», de Barcelona ; «Funicular de Montjuich», de Barcelona, etc.

(2) De la casa «A. Möller», de Altona.

tales pavimentos. En todo caso importa intercalar chapas de mortero graso, lo más compactas posible. Por esta circunstancia, los techos de mortero de pómez no son, en general, adecuados. Para prevenir el nocivo efecto de un posible exceso de solución de cloruro magnésico se ha propuesto revestir primero los suelos de hormigón con una buena capa de asfalto; parece mejor, y más lógico, enlazarlos con una pasta de magnesita y agua, que puede extenderse con escobillas, y disponer el pavimento sobre esta capa todavía húmeda, es decir, blanda; de este modo, la solución de cloruro magnésico que pueda infiltrarse en el hormigón formará con la magnesita cemento Sorel, sin determinar corrosiones en los herrajes.

9. Aglomerados de corcho

La primera materia para esta fabricación se halla constituida por los desperdicios de la industria de los tapones de corcho, que a su vez elabora la corteza de los alcornoques, variedad de encinas frecuente en los pueblos del Mediterráneo. Al principio, el aserrín de corcho se aglomeraba con cal y arcilla (aglomerados blanquecinos), mas hoy se emplean casi exclusivamente mezclas de arcilla y asfalto o alquitrán, etc. Se obtienen así aglomerados de color pardo oscuro o negruzco, relativamente impermeables.

Las partículas de corcho, purgadas por caldeo de organismos vivientes, se mezclan íntimamente con el aglutinante, en mezcladoras calentadas, y, bajo la acción de potentes prensas, se moldea la pasta en forma de prismas o de hojas. Finalmente, los productos se desecan en estufas de galería, que funcionan a menudo con circulación metódica. Cuando conviene, las hojas se recubren todavía con una capa superficial protectora, inmergiéndolas en asfalto fundido; en algunos casos

se emplea como aglutinante asfalto o pez pura, sobre todo cuando se trata de obtener productos impermeables (por ejemplo, marca *Reform*, de Grünzweig y Hartmann, Ludwigshafen).

Propiedades: Pequeña conductibilidad calorífica, reducido peso ($d = 0,25$), limitado coeficiente de contracción, durabilidad; $K_c = 12$ a 18 kg./cm.²; $K_f = 4$ a 8 kg./cm.². Bastan coeficientes de seguridad entre 4 y 6. En determinadas circunstancias, aunque no es frecuente el caso, se refuerzan con armaduras de madera o de hierro para mejorar su resistencia a la flexión. Ligan bien con toda clase de morteros; pierden toda el agua que puedan admitir sin experimentar ninguna alteración. Este material puede labrarse lo mismo que la madera, es completamente elástico y no se agrieta.

Empleo: Para aplacados y aislamientos de toda clase, así como para formar o revestir techos ligeros o tabiques; para soportar pavimentos de linoleo u otros análogos; para construir bovedillas de poco peso; para proteger del fuego los entramados metálicos; para construir barracas y cámaras frigoríficas, y para aislar tuberías (piezas a modo de conchas, clases impermeables y resistentes al calor).

Dimensiones de las hojas: 100×25 y 100×50 ; espesores comprendidos entre 1 y 10 cm. Los ladrillos normales empleados en Alemania miden $25 \times 12 \times 6,5$ centímetros. Un metro cúbico de fábrica construída con esta clase de ladrillos pesa alrededor de 600 kg.

Son *variedades* especiales:

Korkmento. Hojas de corcho aglomerado, laminadas sobre un tejido de yute, de 200 cm. de anchura y de cualquier longitud. Se emplean para soportar pavimentos de linoleo; con objeto de obtener una capa fuerte y resistente, se disponen de modo que se superpongan las dos caras de tejido.

Placas de corcho y tierra de infusorios. Con adición de kieselgur se fabrica un material análogo, especialmente ligero y aislante (1).

10. Piedras artificiales de calidad especial

a) Piedras artificiales de cemento y amianto.

a) *Pizarra artificial* [*eternita*, *uralita* (2), *rocalla* (3)].

Este excelente sustituto de la pizarra natural se prepara con cemento portland y amianto fibroso, a modo de cartón, en máquinas análogas a las que utiliza la industria papelera, primero en hojas delgadas y luego, por ulterior engrosamiento, en otras más recias, que se someten por último a elevada presión hidráulica. Las hojas destinadas a reemplazar las pizarras reciben formas y dimensiones parecidas a las de este material, pero se fabrican además placas de gran tamaño, hasta 4 m. de longitud por 1,20 m. de anchura, con espesores desde 4 hasta 25 mm., que pueden colocarse directamente sobre cables y correas para formar techumbres, o bien debajo de las viguetas para disponer cámaras aislantes. $K_f = 250$ a 400 kg./cm.²; $K_c = 900$ a 1000 kg./cm.²; $K = 100$ a 150 kg./cm.². $d = 1,7$. Se fabrican placas de color gris de pizarra, rojas y verdes; pueden cortarse fácilmente, son más o menos claveteables, compactas y absolutamente incombustibles.

β) *Pizarra asbestolita.* En esta variedad (de la casa Reinbeck, de Holstein) las fibras de amianto no están dispuestas paralelamente, sino cruzadas a modo de tejido, con lo que se consigue aumentar la resistencia e impermeabilidad del material.

(1) Entre las fábricas españolas de aglomerados de corcho cabe citar: «Manufacturas de corcho, S. A.», de Palafrugell, y «Escofet y C.ª», de Barcelona (productos «thermostat»).

(2) «Uralita, S. A.», Barcelona.

(3) «J. Esteve y C.ª», Barcelona.

γ) Deben citarse también las placas de eternita con taracea de madera, para puertas, aplacados, etc., empleables en lugar de la madera, a cuyas propiedades de fácil labrabilidad y buen aspecto unen las ventajas de la pizarra artificial, son a saber, invariabilidad de forma y completa incombustibilidad.

δ) Es igualmente digno de mención el material llamado *dekor* (de la sociedad «Uralita, S. A.»), con el que se fabrican toda clase de reproducciones escultóricas y excelentes imitaciones de la madera tallada, muy adecuadas para arrimaderos decorativos.

b) **Ladrillos de turba.** Análogos a los de corcho, pero constituidos por capas de turba fibrosa, aglutinadas con una lechada de cal, o alquitrán y asfalto, y fuertemente comprimidas. Cuando son aglomerados con cal se endurecen ulteriormente con vidrio soluble. De modo análogo se obtienen tejas de turba comprimida, cuyas superficies se embadurnan con asfalto y alquitrán, constituyendo un material duro, impermeable y resistente al fuego.

En climas fríos se emplean también las placas ligeras *torfoleum*. Por su impregnación íntima constituyen un buen aislante térmico. Son impermeables, admiten clavos, se labran con facilidad y sólo pesan 200 kg. por metro cúbico. Un muro de 25 cm. de espesor, con tres gruesos de hojas *torfoleum* entre el ladrillo y el guarnecido interior (1,5 cm.), ofrece la misma protección a las variaciones externas de temperatura que un muro de ladrillo de 64 cm.

Dimensiones de las placas: 50 × 100; espesor, 2 a 20 cm. (Fabricación en Poggenhagen, Hannover).

Los *ladrillos ligeros*, marca *Cordes* (de Hannover), fabricados con yeso y desperdicios de turba (masa fibrosa muy elástica), se emplean asimismo para aislamientos térmicos y acústicos.

c) **Adobes.** Los ladrillos de barro sin cocer constituyen un material de segundo orden, de empleo general en las construcciones rurales, aplicado también modernamente en la construcción de casas baratas. El barro magro, a menudo con adición de paja, brezo, escorias, etc., se moldea con la gradilla y se deja secar al aire lentamente. Dimensiones: $30 \times 15 \times 15$ o bien 30×40 , por 8 a 10 cm. de espesor (de estos últimos se requieren 220 a 300 piezas por metro cúbico de fábrica); $26 \times 12,5 \times 8$ (390 piezas por 1 m.³). Peso unitario: 5,7, 4 y 4,5 kg., respectivamente.

En la actualidad se tiende a dar a los adobes las mismas dimensiones de los ladrillos normales. La adición de brezo, cortado en longitudes de 4 a 5 cm., paja corta, tundizno leñoso, o bien hojas de pino (en la proporción de hasta 20 %), es muy conveniente para la trabazón y consistencia de la masa.

Se aconseja que al moldear los adobes con la gradilla se añadan cenizas de coque en el estrato correspondiente a la cara de paramento; de este modo la superficie externa adquiere una rugosidad que facilita la adherencia del revoque.

Los adobes se secan en cobertizos abiertos, durante tres a seis semanas. Se ha propuesto acelerar la desecación del barro operando en corriente de acetileno. La puesta en obra se realiza con mortero de barro, reduciendo al mínimo el espesor de las juntas a fin de limitar en lo posible el efecto de las contracciones. El mortero de barro debe amasarse con arena viva, pues con ello se mejora además la adherencia de los enfoscados.

Los adobes bien preparados, con arcilla adecuada, alcanzan una resistencia a la compresión de unos 20 kg./cm.².

d) **Piedras artificiales a base de asfalto y de vidrio.** Se describen al tratar de estos materiales.

C. Piedras artificiales endurecidas por cochura o fusión (Productos cerámicos)

1. Ladrillos ordinarios y productos similares

a) **Primeras materias.** Como ya se ha indicado en la página 45, la tierra arcillosa o barro normal es la materia básica en la fabricación de ladrillos y productos derivados. La buena tierra de ladrillos contiene, por término medio, alrededor de 24 % de arena granuda y 15 % de arena pulverulenta; esta última no puede eliminarse, pero la primera se separa por levigación. Con exceso de arena, las tierras son demasiado magras y los productos resultan porosos y quebradizos. Por el contrario, las tierras demasiado grasas deben mezclarse con arena o con arcilla arenosa; en otro caso la cochura resulta muy difícil, pues durante ella se producen agrietamientos, roturas, deformaciones, etc. Las arcillas magras tienen un tacto más áspero y son menos plásticas que las grasas; se contraen menos que éstas, se desecan con mayor rapidez y, en general, funden a menor temperatura. Las arcillas grasas, en cambio, son suaves al tacto, se contraen mucho y presentan un alto grado de plasticidad. Por lo regular, la industria de los ladrillos no resulta económica cuando es necesario corregir la arcilla demasiado magra. No obstante, cuando se trata de producir barros cocidos de calidades finas, terracottas, cerámicas vidriadas, etc., es frecuente levigar las tierras para obtener la llamada *arcilla colada*.

Durante la desecación y cochura de los ladrillos se va eliminando el agua contenida en la pasta, casi toda por evaporación, y en parte por originarse nuevos compuestos químicos, con lo que aumenta la adherencia entre las partículas de arcilla. Esta eliminación del agua lleva consigo la contracción del material. Los

coeficientes de contracción lineal se determinan prácticamente mediante ensayos de cochura; por lo general, importan del 10 al 12,5 %. Entre las substancias que acompañan la arcilla natural, tienen importancia desde el punto de vista cerámico, las que se citan a continuación:

a) *Carbonato cálcico.* Puede hallarse en forma de trozos de roca o de polvo. Durante la preparación de la arcilla es absolutamente preciso que se extraigan los fragmentos de piedra caliza que pueda contener, pues en otro caso, al cocer el material se convertirían en cal viva que luego, al mojar los ladrillos (para ponerlos en obra) se «apagaría» o hidrataría, aumentando de volumen y disgregando la masa. Por el contrario, dentro de ciertos límites, obra favorablemente cierta dosis de polvo calizo, toda vez que la cal constituye un excelente fundente para la arcilla. Cuanto más rica es la tierra en CO_3Ca , a tanto menor temperatura debe realizarse la cocción, a fin de evitar que se formen silicatos polibásicos fusibles. Por lo regular, los ladrillos cocidos a baja temperatura resultan menos resistentes; sin embargo, al aumentar la cantidad de fundente se facilita la vitrificación de la masa, y se obtienen ladrillos más compactos y por ende menos permeables. En terminos generales, las tierras que contienen más del 28 % de caliza no son aprovechables. Las proporciones comprendidas entre 18 y 20 % se consideran ya elevadas, estimándose como más convenientes, las que oscilan entre 10 y 15 %. En la fabricación de ladrillos vitrificados (*klinker*) se emplean arcillas calcáreas de composición especial.

El carbonato magnésico obra en la arcilla de modo enteramente análogo, pero aun se intensifica la fusibilidad del material.

β) *Compuestos de hierro.* El hierro, a cuya presencia debe la arcilla su color amarillento, se encuentra

de ordinario en las tierras en forma de hidrato o de óxido. Según la proporción entre el hierro y la arcilla, las tierras de tejar se clasifican en tres grupos, que se distinguen principalmente por la coloración que toman una vez cocidas.

1.º Arcillas aluminosas con moderada proporción de hierro. Poco cocidas, dan productos de color blanquecino; calcinadas a alta temperatura, su color varía entre amarillo y pardo, y cuando se cuecen a temperatura muy elevada resultan de color verde agrisado. Pertenecen a este grupo tierras muy plásticas y refractarias, con 20 a 28 % de alúmina y 1 a 5 % de hidróxido de hierro. De modo general, por lo que respecta a esta clase de arcillas, cabe decir que su color resulta tanto más claro cuanto menor es la cantidad de hierro, aunque influyen también en la coloración otras circunstancias, tales como temperatura del horno, duración de la cochura, presencia de otros componentes, etc. Como límite máximo, se admite una cantidad de alúmina igual $5\frac{1}{2}$ veces la de los compuestos de hierro.

2.º Arcillas poco aluminosas, ricas de hierro. Comprende este grupo las tierras que mayor importancia alcanzan en la industria ladrillera. En la cochura toman color rojo, primero mate y luego vivo. El hidróxido de hierro pierde en el horno el agua de hidratación y se convierte en óxido rojo o hierro hematites, que, al avanzar el proceso, tiñe los ladrillos de colores que varían del violado al azul oscuro, por reducirse a protóxido. Mientras la proporción entre la cantidad de alúmina y la de los compuestos de hierro no excede de 3, los ladrillos cocidos normalmente muestran la coloración roja característica de la generalidad de estos productos. Las arcillas comprendidas entre los grupos 1.º y 2.º, cuya cantidad de alúmina oscila entre 3 y $3\frac{1}{2}$ veces la de los compuestos de hierro, toman en el horno colores mezclados y no son propias para la obten-

ción de calidades finas (terracottas, ladrillos de paramento, etc.).

3.º Arcillas poco aluminosas, ricas en hierro y cal. Las margas arcillosas pertenecientes a esta clase, dan primero, cocidas a baja temperatura, la coloración roja debida al hierro, pero sometidas a cocción más alta forman silicatos y toman tonalidades rojo claras, blanquecinas o blanco amarillentas. Si llegan a vitrificarse el color es amarillo verdoso y cuando se funden es verde o negruzco. La relación entre el hidróxido de hierro y la alúmina varía entre 1 : 1,6 y 1 : 2,5, y la del hidróxido de hierro y la cal entre 1 : 2,2 y 1 : 3,5. Se comprende así, siendo análoga la proporción de hierro a la que presenta el grupo 2.º, que resulten rojos los ladrillos poco cocidos.

A menudo, junto con el hierro, se encuentra óxido de manganeso, cuya presencia no causa ningún efecto nocivo y sólo se acusa en el aspecto, por resultar más oscuro el color normal.

γ) Detritos pétreos, guijarros, etc. Ejercen una acción perjudicial y deben por lo tanto eliminarse. En efecto, estos materiales se dilatan durante la cocción y, como la arcilla se contrae, las opuestas acciones dan por resultado el agrietamiento de los ladrillos en el horno.

δ) Pirita. Este compuesto de azufre y hierro (S_2Fe), que se encuentra en muchas arcillas, es altamente nocivo, pues se convierte en sulfato de hierro, el cual, bajo la acción del anhídrido carbónico, puede transformarse en carbonato, con formación de yeso. Este último da lugar a eflorescencias en la superficie de los ladrillos, y, cocido con ellos, puede, al hidratarse luego, ocasionar desconchados; del mismo modo obra la pirita con el carbonato magnésico, originando sal de Glauber, que tiñe los ladrillos y los hace inadecuados para exponer a la intemperie.

ε) *Sales alcalinas.* Estas sales, generalmente sulfatos o cloruros, son causa de que los ladrillos produzcan eflorescencias. Proceden en parte de las tierras arcillosas, de las que pueden eliminarse por levigación, lavado, etc., y en parte de las cenizas que durante la cochura se depositan en la superficie. Las sales alcalinas, al evaporarse el agua de disolución, se transportan gradualmente hacia la superficie de los ladrillos, y, al avanzar de poro a poro, pueden originar resquebrajaduras capaces de exfoliar y disgregar el material. También obran de modo análogo las materias orgánicas (carbón, fragmentos de raíces, etc.), por dejar cenizas que contienen sales solubles, y deben eliminarse de las tierras; además, provocan la formación de coqueas en la masa de los ladrillos, y dificultan la mezcla de la arcilla y su tratamiento en las amasadoras. No obstante, en estado de fina pulverización, tales sustancias son inofensivas, pues se queman por completo.

ζ) Entre los *cuerpos áridos* propios para adicionar a las arcillas demasiado grasas, cabe citar: arena de cuarzo, con granos hasta de 1 mm.; chamota cocida y pulverizada; ladrillo molido (cocido a mayor temperatura que aquella a que deba someterse la pasta cerámica); grafito; polvo de serpentina o de otras rocas (especialmente para productos refractarios); tierra de infusorios; aserrín de madera; turba; casca; cisco de hulla (para ladrillos porosos), etc.

Entre los fundentes empleados para obtener en la cochura materiales compactos (o como dicen algunos, *sinterizados*) se han citado ya la cal y la magnesia; se utilizan, además, en determinadas circunstancias, feldespato, mica, manganeso, óxidos alcalinos, etc.

b) **Preparación y tratamiento para dar homogeneidad a las tierras.** La preparación de las tierras es necesaria, una veces para separar componentes perjudiciales y otras para destruir la estratificación natural

y prestar a la arcilla la uniformidad conveniente en cuanto a color, estructura y composición. El tratamiento puede realizarse *por vía húmeda* o *por vía seca*. Muchas veces la elaboración propiamente dicha va precedida de un hacinamiento en grandes montones de la arcilla excavada, que se va revolviendo de vez en cuando con objeto de que puedan obrar mejor sobre ella los agentes atmosféricos. Según la época en que esta meteorización se realice se habla de la *invernación* o del *estiaje* de las tierras. Este tratamiento se encamina, por una parte, a eliminar los componentes perjudiciales, con el lavado de las lluvias, y por otra, a conseguir la *disgregación* de los grumos o terrones, sobre todo, por la influencia de las heladas.

La preparación de las tierras *por vía húmeda* se efectúa por *amasadura* o por *levigación*. Con la *amasadura* se comunica a las tierras el grado de humedad necesario para alcanzar la plasticidad conveniente, lo que se logra añadiendo a la arcilla una cantidad de agua comprendida de ordinario entre un cuarto y una mitad de su volumen. Las balsas o albercas de amasado son a modo de fosas, con paredes generalmente revestidas de fábrica, que se disponen en las eras de los tejares o ladrillales, y en las que se deja el barro durante dos o tres días. Su profundidad no debe exceder de 2 m., a fin de no dificultar el trabajo de carga y descarga. La pasta se trabaja revolviéndola con palos y, si conviene, se corrige durante la amasadura adicionando las sustancias convenientes. Se recomienda efectuar la mezcla procediendo por capas (1).

(1) Si las tierras son selenitosas en exceso, puede recurrirse a su corrección química, mezclándolas con carbonato bórico, el cual reacciona con el yeso dando sales insolubles y, por lo tanto, no susceptibles de causar eflorescencias: carbonato cálcico y sulfato bórico. Para asegurar el efecto, el carbonato bórico se añade en exceso.

La levigación de las tierras constituye un procedimiento de elaboración más entretenido y costoso; produce, no obstante, una primera materia sumamente homogénea (llamada arcilla colada), cuyo tratamiento ulterior es muy cómodo y económico. Para levigar las tierras se deslíen en agua, que se deja reposar en varias

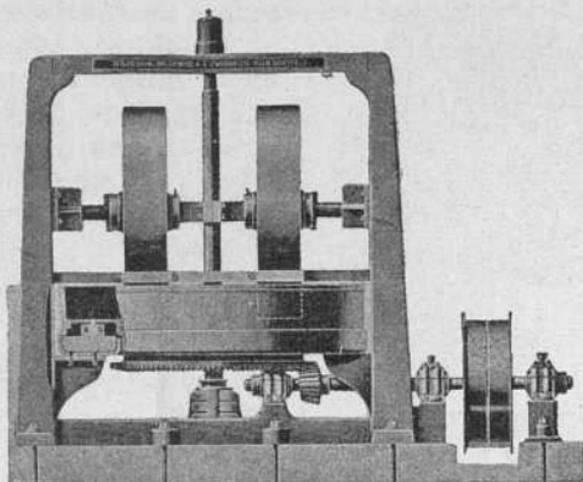


FIG. 24. Molino de rulos

albercas o balsas sucesivas hasta conseguir que aquéllas se sedimenten. A veces se facilita el proceso disponiendo en las balsas agitadores movidos mecánicamente. No conviene que las paredes de las albercas de sedimentación sean demasiado compactas, y aun se aconseja avenar las soleras, pues las partículas de arcilla obstruyen gradualmente su porosidad y dificultan la filtración del agua. En las balsas, los componentes más gruesos y pesados de las tierras se separan de éstas y de las partículas finas de arena y de cal. Mientras que las impurezas de mayor densidad se precipitan en la primera balsa, las partículas en suspensión (arcilla, arena,

cal), pasan a través de un rebosadero dispuesto a proximidad del borde superior de la alberca, a la segunda balsa, donde se prosigue el proceso de depuración; al mismo tiempo se espuman las raíces y demás cuerpos flotantes, con auxilio de tamices, y las nocivas sales que se hallaban disueltas pasan al subsuelo con las aguas de infiltración.

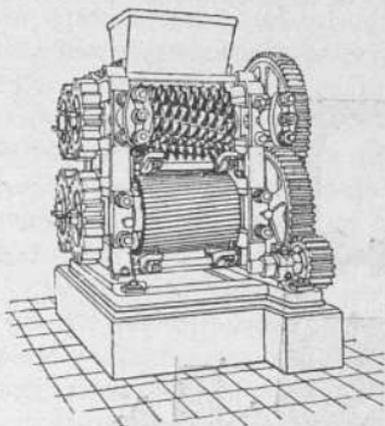


FIG. 25. Molino de cilindros

Como se comprende, en la última alberca pueden añadirse a la arcilla sustancias correctoras, sobre todo al terminar el proceso de sedimentación. El barro se transporta luego desde las balsas a los aparatos de elaboración y moldeo.

En el procedimiento *por vía seca*, raramente aplicado y sólo cuando por vía húmeda no es posible comunicar a las tierras la plasticidad necesaria (por ejemplo, arcillas esquistosas, tierras gredosas, algunas arcillas refractarias), se tratan las tierras en molinos de rulos (1) (fig. 24),

(1) El tipo de la figura 24, modelo de la casa « Zeitzer Maschinenfabrik », de Colonia-Ehrenfeld, los dos rulos o muelas van montados sobre un eje horizontal y giran arrastrados por un plato inferior, movido a su vez por una transmisión mecánica. Los cojinetes del eje de los rulos, fijos en el bastidor del aparato, poseen cierto juego vertical que permite, dentro de ciertos límites, pequeños movimientos del árbol. Una pala especial va conduciendo el material molido hacia las placas agujereadas de la periferia del plato. La tierra suficientemente fina atraviesa los agujeros de la criba (de unos 5 mm. de diámetro y ensanchados hacia abajo), mientras que los granos gruesos son conducidos de nuevo debajo de las muelas. Las placas cribadoras pueden cambiarse según la finura que se desee alcanzar en el molido. Después de atravesar la criba, la tierra molida cae a una canal, de donde la toma un transportador de cangilones o de otro sistema.

de cilindros (fig. 25) — lisos, estriados, dentados, etc.— o de bolas (véase fig. 40), y raramente en bocartes, para disgregarlas o pulverizarlas.

Algunas veces, en el procedimiento por vía seca, la arcilla pulverizada que se obtiene, con la humedad natural, se amasa con agua y — según su naturaleza — se corrige con adición de sustancias magras o grasas.

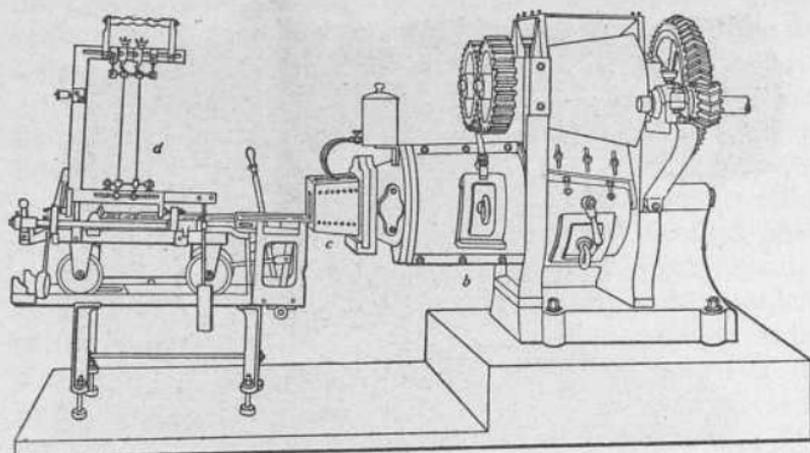


FIG. 26. Máquina de cortar y moldeadora continua

En este *método mixto* se utilizan las máquinas que mayor importancia tienen en la elaboración de las tierras, las llamadas amasadoras o malaxadoras (figs. 26 y 27), las cuales consisten esencialmente en un depósito cónico o cilíndrico, en cuyo interior se halla un árbol provisto de cuchillas acodilladas, paletas, etc. que disgregan, mezclan y amasan la arcilla, entregándola de ordinario a la prensa continua. En tal caso, el aparato mezclador y la máquina de moldear forman un solo cuerpo. Las amasadoras de arcilla se equipan muchas veces con molinos o con laminadores, por los que pasa primero el material. Por lo regular, las máquinas

de amasar están dispuestas horizontalmente, pero se encuentran también malaxadoras verticales. La primera disposición constructiva tiene la ventaja de que la arcilla puede trabajarse más íntimamente, toda vez que la gravedad no obra como en el segundo caso acelerando el paso del material; en cambio, ocupan más espacio y requieren mayor potencia mecánica. La salida

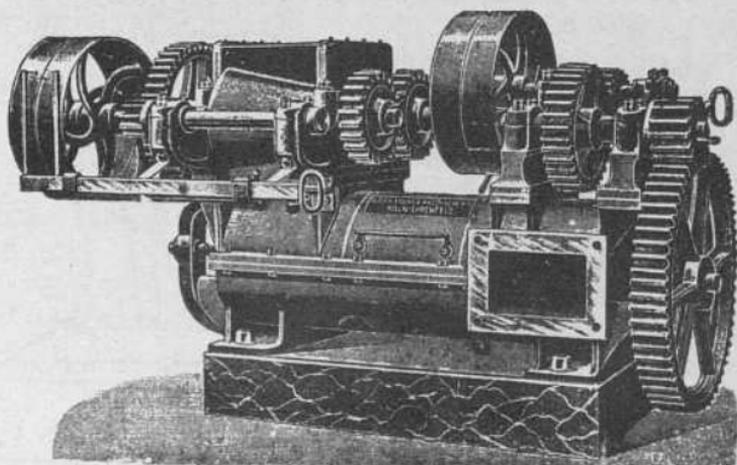


FIG. 27. Malaxadora - Galletera

de la arcilla en estas máquinas puede efectuarse en la misma dirección del eje, como en el modelo de la figura 26, o bien lateralmente (fig. 27). Algunos constructores adoptan disposiciones escalonadas, con una serie de partes cónicas superpuestas; a igualdad de consumo de fuerza, se alcanza de este modo un rendimiento notablemente mayor que en las amasadoras de paredes lisas.

c) **Moldeo y desecación de ladrillos y objetos de barro cocido.** En el moldeo de esta clase de materiales cerámicos hay que prever los efectos de las contracciones que se producen durante la desecación y cochura

(pág. 110), dando a las dimensiones lineales un exceso comprendido entre $\frac{1}{10}$ y $\frac{1}{7}$. El moldeo puede realizarse α) a mano, o β) mecánicamente. En el último caso, según se trate de barro más o menos reblandecido o plástico, se adoptan *máquinas de moldear continuas para arcilla semiseca* o *prensas ordinarias*.

α) En el *moldeo a mano* de los ladrillos comunes, el operario comprime dentro de un molde, llamado *gradilla*, el barro que recibe en estado muy plástico, amasado con bastante cantidad de agua. La gradilla consiste en un bastidor o marco, comúnmente de madera dura, con los bordes revestidos con chapa, o mejor de hierro. Para que el barro no se adhiera al molde y pueda retirarse con facilidad el ladrillo formado, cuando se trabaja con tierras magras se humedece la gradilla (moldeo con agua) y cuando se opera con arcillas grasas se esparce arena por sus paredes (moldeo con arena). En los ladrillales modernos, cada equipo de moldeo está constituido por tres operarios: uno atiende a la máquina amasadora y va entregando el barro a la mesa o banco de moldeo; otro, el ladrillero, moldea las piezas, y, un tercero, toma los moldes llenos, los transporta a una era contigua, y deja los ladrillos, aun blandos, sobre una superficie enarenada, para iniciar su desecación. Un equipo de obreros compuesto de este modo llega a moldear hasta 2400 ladrillos por jornada de ocho horas. Como los ladrillos moldeados a mano se distinguen ventajosamente de los moldeados a máquina, tanto por la asperosidad de sus superficies como por su aspecto menos regular, muchos arquitectos los prefieren — sobre todo en construcciones monumentales —; por las mismas razones son especialmente adecuados para recibir revoques, aconsejándose su adopción en las caras de paramento de los muros. Las circunstancias anteriores han originado la creación de máquinas de moldear cuyo funcionamiento remeda la

forma del trabajo manual, con producciones diarias comprendidas entre 30 000 y 40 000 piezas, y que producen ladrillos que gozan de las mismas favorables propiedades que los obtenidos con gradilla.

β) Las prensas de hilera —llamadas también *galleteras* y *prensas continuas*—elaboran asimismo barro especialmente preparado y relativamente blando, es decir, húmedo. Consisten esencialmente, como ya se ha dicho, en una amasadora, donde el barro se mezcla y trabaja de

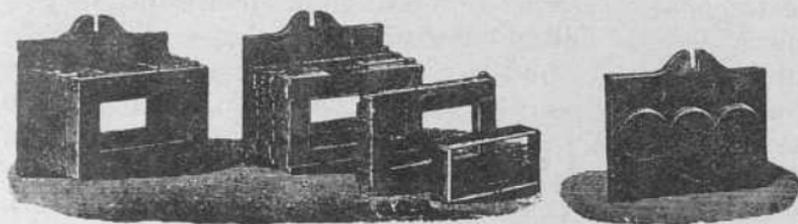


FIG. 28, a

FIG. 28, b

Hileras o boquillas

nuevo, y en un mecanismo que lo impulsa hacia la *hilera* o *boquilla*, por donde sale en forma de barra continua, y de ahí el nombre de las prensas. La abertura de la hilera tiene una sección en correspondencia con las piezas que se trata de producir, es decir, rectangular, para los ladrillos macizos (fig. 28, a), o provista de machos centrales (fig. 28, c), para los ladrillos huecos. Análogamente, las hileras para fabricar drenes o tubos de avenamiento presentan canales anulares (fig. 28, b), y las destinadas a fabricar tejas continuas poseen rendijas de sección adecuada (fig. 28, d). Para reducir en lo posible el rozamiento en las paredes de las hileras y obtener así prismas de barro de compacidad regular, muchas veces las superficies laterales están guarnecidas con hojas de zinc pulimentado, en forma de escamas,

entre las cuales fluye agua a presión (sobre todo en los bordes de las boquillas), o vienen formadas por bruñidos rodillos de acero. El barro moldeado sale de las hileras en forma de prisma continuo, avanza sobre una serie de rodillos contiguos, revestidos de fibra, y es conducido al aparato cortador, órgano de la mayor importancia en esta clase de máquinas, donde, finalmente, se divide la barra en ladrillos, tubos, etc. Los

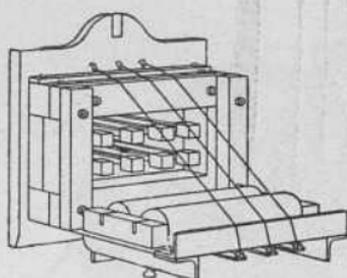


FIG. 28, c

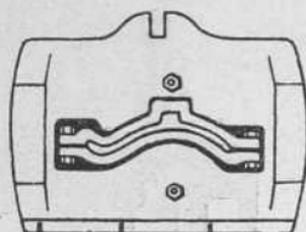


FIG. 28, d

Hileras o boquillas

cortes se efectúan en sentido perpendicular, de modo que los planos de división constituyen las caras del echo de los ladrillos, con lo que las cabezas y caras laterales, correspondientes a la superficie lateral del prisma, quedan lisas. Cuando en el acto de salir de la boquilla, el prisma de barro viene hendido longitudinalmente por varios alambres, tensos ante la hilera (fig. 28, c), cada división ulterior del cortador transversal proporciona varios ladrillos.

Para que las superficies de división transversal de los prismas resulten planas, es indispensable que el aparato cortador (figs. 26 y 29), avance con la misma velocidad con que fluye el prisma de barro (1). El rendi-

(1) En el modelo de la figura 29, el prisma de barro que sale de la boquilla se desliza primero sobre los rodillos del aparato

miento de las moldeadoras de hilera, alcanza hasta 24 000 piezas por jornada de ocho horas, si bien la potencia requerida puede elevarse a 50 caballos.

Con tierras secas, como la arcilla esquistosa (véase página 116) preparada en seco o arcillas muy puras y homogéneas, se emplean con ventaja las *prensas o timbrado-*

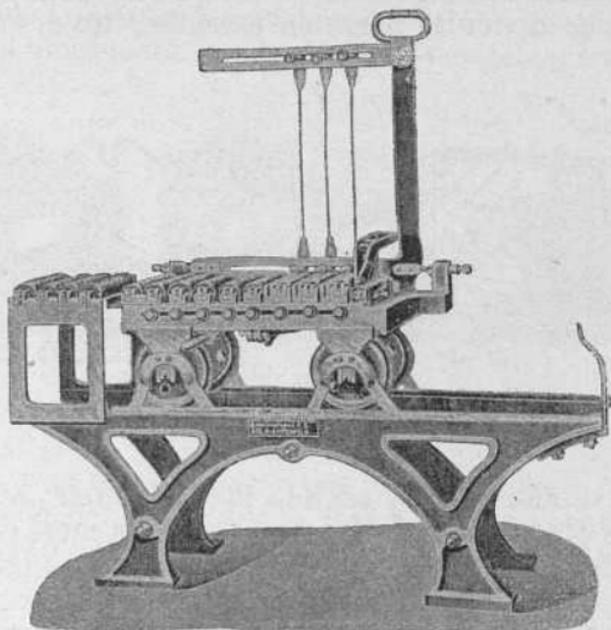


FIG. 29. Máquina de cortar

ras ordinarias, las cuales, a causa de operar con material menos plástico, más duro y seco, consumen mayor potencia motriz. No obstante, esta clase de máquinas permiten fabricar ciertas piezas (como tejas planas

cortador y avanza hasta chocar con el tope dispuesto al final del carro, desde cuyo momento arrastra éste hacia adelante. Tan pronto como los alambres han cortado el prisma, cae el tope automáticamente, lo que permite retirar los ladrillos o dejarlos resbalar sobre un plano inclinado.

o de encaje, ladrillos ornamentales, etc.), alabeadas o estriadas en varias direcciones, que no pueden obtenerse con las moldeadoras de hilera. Existen prensas de tipos análogos a los empleados en la fabricación de ladrillos de cal (pág. 79), especialmente de mesa giratoria, máquinas alternativas, en las que la platina de la prensa estampa el barro contenido en las matrices

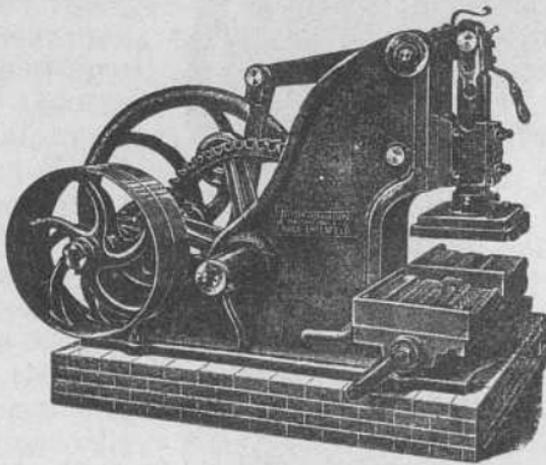


FIG. 30. Prensa de estampar

que sucesivamente pasan debajo de aquélla (fig. 30), y prensas revólver (fig. 31), provistas de un tambor rotatorio que gira sobre un eje horizontal, con 4 a 8 caras laterales, soportando sendos moldes, los cuales van siendo presentados uno después de otro a la acción de la estampa. Así, por ejemplo, para el moldeo de tejas marsellesas o parisienses, se colocan en los moldes del tambor panes o placas de barro, obtenidos con auxilio de una prensa continua y un cortador. Según tipos y potencias, la producción diaria de estas prensas varía entre 5000 y 40000 piezas. Los ladrillos

prensados en seco, o timbrados, presentan formas perfectas, cuyas superficies acostumbran a estriarse para que no resulten demasiado lisas; pueden apilarse tan pronto como se acaban de estampar, requieren sólo

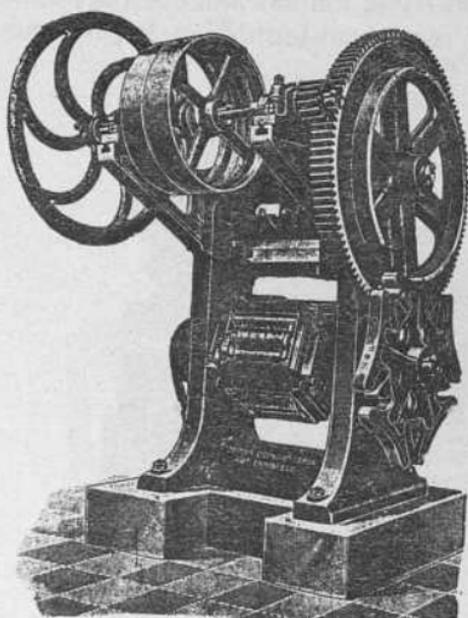


FIG. 31. Prensa revólver

breves períodos de desecación, y tienen elevado peso específico, pero, a causa de su mayor compacidad, requieren cocciones más costosas. No obstante, desde el punto de vista económico, tales inconvenientes quedan compensados con creces por la posibilidad de emplear directamente arcilla con la humedad natural de cantera, sin preparación de ninguna clase, con el consiguiente ahorro

en los gastos de funcionamiento y en la duración del proceso industrial, toda vez que se prescinde de almacenar la arcilla.

Se hallan comprendidas entre las prensas de estampar las pequeñas *máquinas de mano*, con las que se prensan los ladrillos obtenidos con moldeadoras de hilera para darles una forma exacta, proceso adoptado algunas veces para ladrillos de revestir. Un efecto aná-

logo se alcanza con el ulterior cortado de los ladrillos secos (*ladrillos recortados*).

La **deseccación de los ladrillos** se realiza unas veces en pequeños cobertizos abiertos, otras en cámaras especiales directamente enlazadas con los hornos de cocción, y, por último, en secaderos de canal o de galería. Con la deseccación se trata de eliminar el agua contenida en los ladrillos y otras piezas de barro, hasta el grado en que, si se dejaran más tiempo expuestos al aire libre no perderían ya más humedad. En tales condiciones contienen todavía alrededor de 4 a 5 % de agua. En términos generales, puede calcularse que los ladrillos moldeados a mano van acompañados de $\frac{1}{4}$ de su peso de agua, que los ladrillos moldeados con máquinas de hilera contienen $\frac{1}{5}$ de agua, y que los prensados en seco sólo tienen $\frac{1}{10}$. El período de deseccación de los ladrillos depende no sólo de la humedad que contienen, sino *a)* de la naturaleza de las primeras materias, *b)* de la relación que existe entre la superficie y el volumen de las piezas y *c)* de las condiciones climatológicas. La gradual eliminación de la humedad se reconoce en la disminución de peso que experimentan los ladrillos y en el color más claro que van tomando. Mientras dura la deseccación debe procurarse que el proceso se desarrolle de modo lento y uniforme, evitando la irradiación solar directa y las corrientes de aire acanaladas; de otro modo, se producen contracciones desiguales que pueden originar resquebrajamientos. Cuando se trabaja con secaderos de caldeo artificial, los ladrillos frescos deben entrar primero en contacto con aire templado y relativamente húmedo, aire que puede ser cada vez más caliente y seco a medida que avanza el proceso.

Los *ladrillos moldeados a mano* (véase pág. 119) se colocan primero de plano sobre eras enarenadas, resguardadas en lo posible del sol, y, con tiempo favora-

ble, después de algunas horas se ponen de canto en filas paralelas, a fin de activar la evaporación de la humedad. Cuando al cabo de 2 a 4 días los ladrillos empiezan a endurecerse, se apilan formando muros o *rejales*, con 4 a 6 hiladas superpuestas. Los ladrillos se colocan dejando espacios intermedios y disponiendo los de cada capa en sentido perpendicular a los de la inferior. Estos rejales, levantados sobre un piso algo elevado, se cubren con esteras, gavillas de paja, tablas o tejas, para protegerlos de la lluvia, o bien se disponen bajo cobertizos, cerrados simplemente con esteras, para evitar los efectos del viento y del sol; si el tiempo es propicio, la desecación es completa al cabo de una semana; en otro caso, pueden requerirse varias. En los países de clima frío, no es admisible en invierno la forma de proceder indicada, pues durante las heladas podría disgregarse el material. Cuando es de temer la acción citada, se construyen grandes cobertizos o barracones cerrados, provistos de gran número de estanterías y equipados con ventanas, respiraderos, aspilleras, etc., para poder conseguir una buena ventilación. Por lo regular, los ejes de los cobertizos se disponen en la dirección de los vientos reinantes en la localidad, de modo que éstos puedan entrar por los hastiales, y se colocan las estanterías procurando que presenten su lado menor en la misma dirección del viento, con lo que se logra que la corriente de aire que atraviesa el local alcance el mayor número posible de ladrillos, activando su desecación. Se aconseja en estos cobertizos invertir de vez en cuando la posición de las piezas, sobre todo si se trata de ladrillos delgados, tejas, etc., a fin de evitar contracciones desiguales.

Cuando tales cobertizos deban utilizarse también durante el invierno, será necesario en las regiones frías prever disposiciones para el cierre de las aberturas y para la calefacción artificial. Otras veces se disponen

los secaderos contiguos a los hornos — especialmente en los hornos anulares — instalando las cámaras de desecación, construídas de madera, sobre la plataforma de los últimos, o bien haciendo pasar los gases desprendidos a través de locales especiales, con auxilio de ventiladores o de exhaustores. En el último caso se emplean secaderos de canal, dispuestos a proximidad del horno, y se hacen funcionar de modo que mientras el aire caliente tiene acceso por un extremo, a través de puertas provistas de registros, los ladrillos frescos se introducen por el otro, apilados sobre vagonetas de mesilla. De este modo los ladrillos se ponen primero en contacto con el aire relativamente frío y cargado de humedad, que ha barrido los ladrillos introducidos anteriormente, y, a medida que avanzan las mesillas, se encuentran con aire cada vez más seco y más caliente, circunstancias que favorecen la desecación gradual de las piezas. El principio de esta forma de funcionamiento se conoce con el nombre de *circulación metódica*. Ventiladores a propósito cuidan de impulsar la corriente de aire a lo largo del canal, mientras una instalación de vías facilita el avance de las vagonetas cargadas, cuyo paso a través del secadero dura de uno a dos días, tiempo suficiente para que a la salida puedan llevarse ya al horno de cocción. Otra disposición parecida descansa en el caldeo corrido del canal, mediante una serie de radiadores especiales (por ejemplo, sistema Müller-Pfeifer) colocados en las paredes, y en una agitación longitudinal y transversal del aire caliente que se obtiene con auxilio de ventiladores o de aspiradores; también en este caso los ladrillos se encuentran en contacto con aire cada vez más seco y más caliente.

d) **Cochura de ladrillos y materiales análogos.** La cochura de piezas de barro puede realizarse simplemente en moles, pero resulta mejor y más económica utilizando hornos especiales. En la primera forma, practicada to-

avía en algunos lugares, los ladrillos secos se apilan en moles a manera de pirámides truncadas; las piezas se ponen de canto y entre ellas se dejan espacios de pocos centímetros. En el cuerpo de la mole se dejan chimeneas para recibir la carga del combustible (comúnmente, hulla menuda), el cual se esparce también por entre los ladrillos. Por último, las juntas exteriores se enlodan convenientemente y se recubre el conjunto

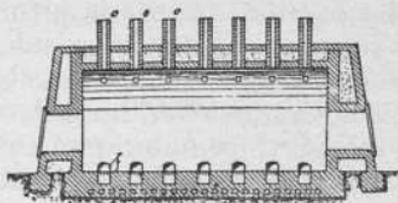


FIG. 32. Horno alemán

con un revoque de barro. Una serie de respiraderos que atraviesan las paredes exteriores, hacia su parte inferior, permiten regular la combustión, abriéndolos unas veces y cerrándolos otras con auxilio de esteras, paja, etcétera, según la dirección de los vientos. A pesar de la más atenta vigilancia es casi imposible alcanzar siquiera una relativa uniformidad en la distribución del fuego: muchos de los ladrillos interiores resultan vitrificados, otros se deforman por el peso de la carga superior, algunos se quiebran o agrietan, los situados en la periferia apenas resultan cocidos, gran cantidad quedan impresentables por la acción del fuego y de las escorias, etc. Sin embargo, para sencillas construcciones agrícolas o rurales, pueden obtenerse así ladrillos adecuados con reducido coste. La cochura, en moles, de 100 000 piezas requiere de dos a tres semanas.

Entre los múltiples hornos empleados para cocer objetos de barro, describiremos brevemente, como más importantes, los cuatro tipos que se enumeran a continuación: 1.º Horno alemán; 2.º Horno de Cassel; 3.º Horno anular de Hoffmann, y 4.º Horno de mufla.

1.º *Horno alemán* (fig. 32). Es un horno de una sola cámara para funcionamiento intermitente. Una serie de pequeños hogares, alimentados desde el exterior, desembocan en la solera del horno a través de otras tantas canales *f*. Los gases de la combustión se

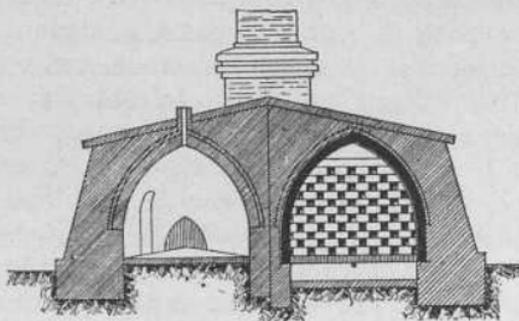


FIG. 33, a

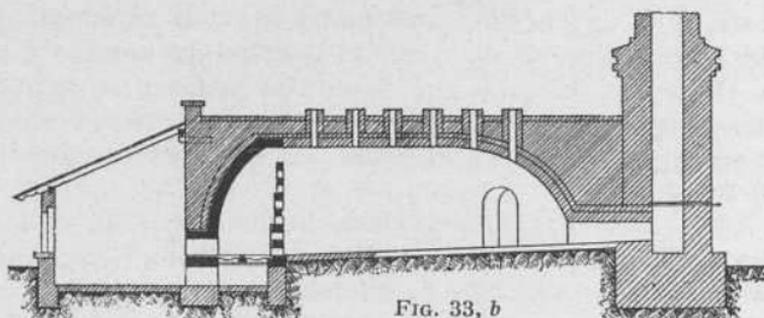


FIG. 33, b

FIGS. 33, a y b. Reverbero de Cassel

escapan por cierto número de chimeneas o dispuestas en la parte superior del horno, y pasan comúnmente a la atmósfera. Siendo muy corto el camino que los gases recorren, se aprovecha mal su calor, particularmente al empezar la combustión, por ser entonces el tiro muy débil. La cámara del horno está revestida con ladrillo

refractario y es accesible por dos puertas, que se emparedan provisionalmente durante la cochura.

2.º *Horno de Cassel* (fig. 33, a y b). Es igualmente de tipo horizontal, con funcionamiento intermitente. No obstante, acoplando dos hornos gemelos — lo que es asimismo factible en el caso anterior — (servidos por una chimenea común), puede trabajar a fuego continuo. El horno consta de una antecámara, de un hogar con parrilla horizontal, y una cámara de carga (separados los dos últimos por un muro refractario, atravesado por múltiples respiraderos), y de un conducto que lleva los gases a la chimenea. En el muro lateral se encuentra la puerta que sirve para cargar en el horno las piezas que deben cocerse y para retirarlas después de la cochura. La bóveda refractaria está atravesada por cierto número de tubos provistos de registros, que, en caso de necesidad, permiten la introducción de combustible en la cámara, pero que de ordinario se utilizan sólo durante el encendido, para poder evacuar rápidamente los humos después de cerrar el registro del conducto de la chimenea. El altar que separa el hogar y la cámara tiene por objeto distribuir de modo uniforme, por toda la sección, los gases encendidos, y evitar el esparcimiento de las cenizas.

3.º *Horno Hoffman*. Este horno continuo, de forma anular, fué ideado en 1858 por Friedrich Hoffmann, director y propietario de la fábrica de productos cerámicos de Siegersdorf. El genial principio del funcionamiento de este horno, que ofrece a un tiempo notables ventajas económicas y técnicas, se halla ilustrado esquemáticamente por la figura 34. En la disposición representada, el horno consta de una canal de combustión, de una cámara concéntrica colectora de humos y de una chimenea central. La canal de combustión se halla dividido en una serie de cámaras, que, por medio de tabiques o registros pueden separarse o ponerse en

comunicación, cada una de las cuales presenta una puerta al exterior y un conducto de enlace con la cámara de humos. Esta última comunica con la chimenea por una serie de aberturas. El horno funciona de modo continuo, pues el fuego se propaga de una a otra cámara, comúnmente día por día, y en la misma forma se suceden la carga de material crudo y la descarga de los productos. Cuando, por ejemplo, la cámara 7 se halla en plena combustión (fig. 34), se retiran de la cámara 1 — diametralmente opuesta — los ladrillos cocidos y se carga con otros procedentes del secadero. En este momento se hallan abiertos todos los registros entre las cámaras 1 y 12 y sólo está cerrada la comunicación entre las cámaras 12 y 1, mientras están cerrados también todos los conductos que existen entre la canal de combustión y la cámara colectora de humos, con excepción del de la cámara 12, por donde los gases del hogar son evacuados a la chimenea. Las cámaras 1 a 6 contienen ladrillos ya cocidos, y las cámaras 8 a 12, ladrillos por cocer (cargados el día anterior los de la cámara 12, dos días antes los de la cámara 11, tres los de la 10, y así sucesivamente). Asimismo, la cochura de los ladrillos del compartimiento 6 se efectuó el día anterior, la de los del 5 dos días antes, etc., mientras que los de la cámara 1 fueron cocidos con seis días de antelación. La combustión se traslada diariamente de una cámara a la inmediata. Como sólo se halla abierta la puerta de la cámara 1, entra por ella el aire del exterior destinado a alimentar el fuego, enfriando en su camino los ladrillos

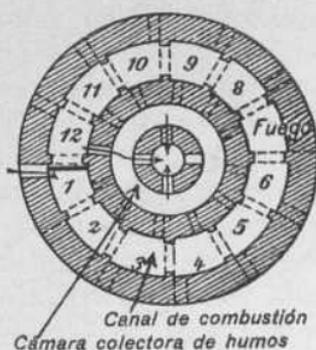
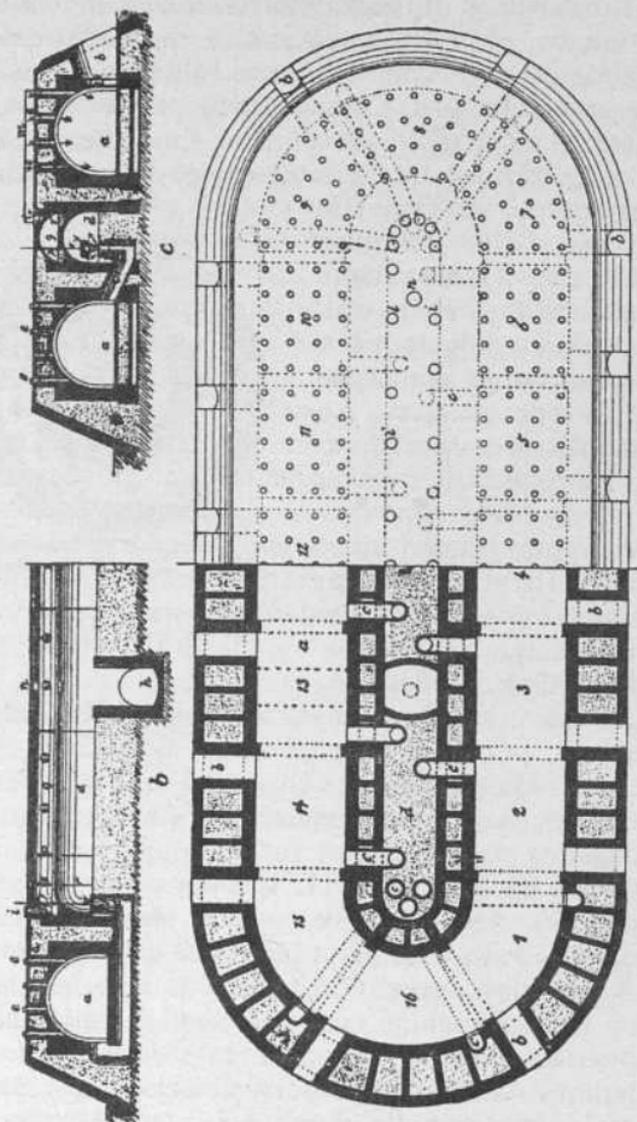


FIG. 34. Planta de un horno Hoffmann



Figs. 35 a, b, c. Horno Hoffmann de planta ovalada

cocidos que se encuentran en las cámaras 1 a 6 (todavía a la temperatura del rojo los inmediatos al fuego), al mismo tiempo que se va calentando gradualmente hasta penetrar a elevada temperatura en la cámara encendida. A partir de ésta el proceso sigue una marcha inversa: los gases de la combustión se van enfriando poco a poco, a medida que atraviesan las cámaras 8 a 12, para penetrar por ésta en el colector de humos, y calientan, con el calor que ceden, los ladrillos por cocer. También en este caso (circulación metódica), los ladrillos recién cargados (en 12) se ponen en contacto con los gases menos calientes y más cargados de humedad. Los humos llegan a enfriarse hasta unos 200°, lo cual es ventajoso para la cámara colectora de humos y para la misma chimenea. Prosiguiendo el funcionamiento del horno, el día siguiente al estado de marcha representado en el esquema, el fuego alcanza la cámara 8, se abre el diafragma (a menudo de papel) entre 12 y 1 y se cierra el que separa 1 y 2; asimismo se obstruye el conducto de salida de humos de 12 y se abre el de 1. En este punto, se procede a desenhornar la cámara 2, cuya puerta se abre, retirando los ladrillos ya suficientemente enfriados, mientras los ladrillos recién cargados en la cámara 1 entran por primera vez en contacto con los gases de salida y empiezan a calentarse. Las grandes ventajas de este ingenioso funcionamiento estriban: a) en la continuidad y sencillez de la marcha; b) en la excelente recuperación del calor almacenado por los ladrillos ya cocidos, y c) en la considerable economía de carbón que se deriva de ambas circunstancias; finalmente, la cochura del producto resulta muy uniforme.

La figura 35, *a* a *c*, muestra la disposición general de un horno Hoffmann, de tipo moderno. Aunque la construcción de este horno descansa en el principio descrito, su planta tiene una disposición alargada y la chimenea queda fuera. En la figura, *a* indica la canal de

combustión dividido en dieciséis compartimientos, *b* las puertas de enhornar, *c* los conductos entre la canal de combustión y la cámara de humos, *d* las válvulas de cierre de estos conductos y *e* las aberturas para la introducción del combustible. Con la disposición constructiva de este horno existe la posibilidad, si conviene, de dejar fuera de la circulación, independientemente, cámaras próximas al final del recorrido de los gases en el canal de combustión, o sea de la cámara por la que, en un momento dado, son evacuados los humos. Esto es necesario en la fabricación de ladrillos esmaltados y otros materiales cerámicos de clases finas, pues, en el funcionamiento normal, los ladrillos recién enhornados, situados por lo tanto en el camino de los gases desde la cámara de combustión a la cámara colectora, se colorean fácilmente por la acción de los humos y pueden fijarse en su superficie ciertos componentes de las cenizas. La separación de cámaras sueltas se realiza con auxilio de la canal de derivación *g* (fig. 35, *b* y *c*), la cual, mediante pequeños tubos de hierro introducidos en las aberturas *e* de carga de combustible, puede recoger aire caliente y limpio, antes de alimentar el fuego, calentado a expensas del calor de los ladrillos cocidos, y conducirlo de modo análogo (es decir, con tubos de hierro semejantes) a las cámaras desconectadas, o aisladas por medio de diafragmas, desde las cuales el aire de caldeo pasa al colector de humos a través de la válvula correspondiente (1). En el caso de la figura, los humos salen de la

(1) Si en el ejemplo de la figura 35, suponemos que la cámara 7 se encuentra a pleno fuego, mientras se extraen de 15 los ladrillos cocidos y ya enfriados (hallándose cerrado el tabique entre 14 y 15), las cámaras 13 y 14, por ejemplo, pueden separarse de la circulación, cerrando el diafragma entre 13 y 12 y dejando que los gases de la combustión escapen por 12 al colector. Al mismo tiempo, el aire puro y caliente de algunas cámaras anteriores a la 7, por ejemplo, 5 y 4, puede dirigirse a la canal de derivación *g* y conducirlo por ella a las cámaras desconectadas 14 y 13, para que después de haber cedido gran parte de su calor

canal colector por un conducto subterráneo *h* que los lleva a la chimenea, situada fuera del horno, y que de ordinario sirve varios a la vez (1). Se alcanza la misma finalidad, o sea proteger los ladrillos recién cargados del arrastre de cenizas, alimentando los hornos anulares con gas pobre. En esta disposición se rodea el horno con una conducción principal, distribuidora de gas, o se construye dentro de la misma fábrica del horno, y se enlaza con cada una de las cámaras por medio de acometidas transversales. Las acometidas desembocan en una serie de tubos refractarios, verticales u horizontales, provistos de agujeros o de rendijas, por los que sale el gas, inflamándose en la cámara de combustión gracias a la misma temperatura del horno.

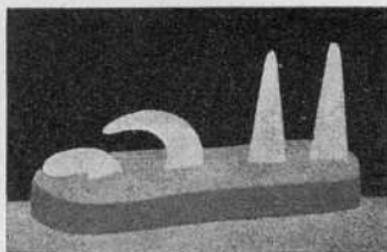


FIG. 36. Pirámides de Seger

4.º *Hornos de mufla.* Se caracterizan por la circunstancia de que el material que se cuece no se pone en contacto directo con el fuego. Para este fin, las piezas de barro se colocan en cajas refractarias (a modo de muflas ajustables) y se cuecen así en hornos ordinarios, o bien las muflas forman el mismo cuerpo del horno y se hallan exteriormente envueltas por las llamas.

pase al colector de humos a través del conducto *c*. Cuando las cámaras temporalmente separadas (14 y 13) quieren intercambiarse de nuevo en la marcha continua, se abre la comunicación entre 12 y 13, y se cierra el conducto 12.

(1) Como tipos derivados del horno Hoffmann, son dignos de mención: el *horno anular Bock*, enterrado, con canal de zanja, en el que la bóveda del horno se construye después de enhornar; el *horno en ziszás*, en el que los gases son conducidos con la disposición que da nombre al horno por una serie de cámaras contiguas, que permiten el buen aprovechamiento del espacio, etc. Para más detalles, consúltense los tratados especiales.

Las temperaturas de los hornos de cochura se observan y determinan generalmente con auxilio de las llamadas *pirámides de Seger* (fig. 36). Tales pirámides, puntiagudas y de sección triangular, tienen 6 cm. de altura y constituyen una serie sistemáticamente ordenada de silicatos cada vez menos fusibles, con lo que el examen de su deformación o reblandecimiento permite apreciar con aproximación relativa la temperatura alcanzada en los hornos. La serie normal se fabrica para temperaturas comprendidas entre 600 y 2000° C.

e) **Ladrillos y materiales cerámicos análogos, empleados en construcción.** Entre los productos de la industria ladrillera, más importantes desde el punto de vista constructivo, convendrá citar :

1. *Ladrillos comunes.* En España, según las características debidas al grado de cocción, reciben los ladrillos nombres diversos. Así, llámense *recochos* o *de pinta*, los que, habiendo experimentado una cochura conveniente poseen las mejores cualidades para su empleo en la construcción ordinaria ; se designan con los nombres de *pintones*, *pardos* y *porteros*, a medida que su cocción va siendo menos completa, y se llaman *santos*, *azules* y *de hierro*, los que, por haber sufrido una cochura demasiado intensa, se encuentran cada vez más vitrificados. El material poco cocido, es poroso, heladizo y friable y sólo se emplea para interiores o en obras de escasa importancia. Los ladrillos cocidos en demasía presentan fractura concoidea, son duros, frágiles, de color cada vez más oscuros y aparecen más o menos deformados.

Los ladrillos para muros son de forma rectangular. En los recochos comunes, la longitud varía entre 28 y 30 cm. y el ancho entre 14 y 14,5 cm., según las regiones. En cuanto a los espesores, existen variados tipos : 5,5 cm. (*tocho*), 4,5 cm. (*recocho*), 4 cm. (*mediano*), 3 cm. (*cuarto*), y 1,5 a 2,5 (*rasilla*). Por lo que respecta

a los ladrillos prensados, son corrientes en España las dimensiones siguientes: $30 \times 15 \times 5,5$ cm.; $28 \times 14 \times 4,8$ cm.; $25,5 \times 12,5 \times 4,8$ cm.; $25 \times 12,5 \times 5$ y $27,5 \times 13,5 \times 4,5$.

El peso de 1 m.³ de fábrica de ladrillo oscila de ordinario entre 1700 y 1900 kg. (promedio: 1800 kg.). Para la misma unidad de volumen se requieren, en muros de paramento liso, con mortero ordinario, unos 480 ladrillos castellanos ($28 \times 14 \times 4,5$) o bien unos 330 ladrillos catalanes (tochos), y en 1 m.² de tabique sencillo de panderete se consumen, respectivamente, 27 ó 25 piezas.

Para pavimentación de patios, azoteas, etc. se emplean asimismo distintas clases de ladrillos, cuyas dimensiones corresponden generalmente a algunos de los tipos siguientes: rasilla catalana, de leña o recortada $30 \times 14,5$ ó 28×14 cm. (25 piezas por 1 m.²); baldosa castellana de 28×28 cm. (13 piezas por 1 m.²); baldosas de 20×20 cm. (27 piezas por 1 m.², llamadas en Cataluña *cairons de pam*); baldosines de 14×14 cm. (54 piezas por 1 m.²); etc.

El ladrillo normal alemán es de $25 \times 12 \times 6,5$ cm.

En buena obra de fábrica hay que calcular que, por efecto de la desecación y del asiento, se produce una contracción vertical comprendida entre $\frac{1}{200}$ y $\frac{1}{150}$ de la altura.

Los buenos ladrillos, por percusión, dan un sonido claro, están exentos de cal, y de detritos pétreos, presentan superficies planas, cantos rectos y fractura de grano fino y uniforme y su coeficiente de imbibición o cantidad de agua que son susceptibles de admitir, no excede del 16 %. Se desecan con rapidez, no se exfolian ni dan eflorescencias expuestos a la intemperie y poseen cierta resistencia a la acción del fuego.

La resistencia a la compresión de los ladrillos ordinarios, por centímetro cuadrado, no debe ser menor

tizón y no verticalmente, para evitar la gran pérdida de mortero que se produciría y el peligro de que los muros se asentaran desigualmente. Los espesores de las paredes macizas, de estos ladrillos, no han de ser inferiores a 1,5 cm. ; se consideran convenientes valores comprendidos entre 2,0 y 2,5 cm. Un metro cúbico de ladrillos huecos de paredes delgadas pesa alrededor de 1000 kg. ; con ladrillos de paredes gruesas dicho peso se eleva a 1200 kg. El peso unitario oscila comúnmente entre 1,5 y 2,5 kg. En los muros ejecutados con este material son admisibles cargas específicas entre 3 y 6 kg.

En muchos países los ladrillos desempeñan hoy un importantísimo papel para el forjado de techos ligeros, especialmente en las construcciones de ladrillo armado y tipos similares. Cuando se desea sólo un material de relleno, pueden adoptarse los ligerísimos ladrillos porosos huecos. También se utilizan piezas huecas especiales, de cierta longitud, que, colocadas entre las viguetas, sirven para formar techos (*hourdis*).

Pertenecen a este grupo las piezas de gran tamaño, a modo de cajas, formadas a menudo de ladrillos dobles, como los ladrillos *Ariste*, cuyas canales van taponadas con mortero para reducir la permeabilidad gaseosa del material, o los ladrillos *Allguhst* y *Balz* (de $12 \times 25 \times 14$), cerrados por todas sus caras, todos ellos empleados en Alemania. La superioridad de estos ladrillos estriba en la economía de mano de obra que permiten realizar y en que proporcionan un mejor aislamiento térmico que los ladrillos huecos ordinarios.

En España, con la difusión constante para el forjado de pisos de las bovedillas catalanas, tabicadas (*revoltons*), carecen de importancia las piezas especiales de barro cocido. Los ladrillos huecos más usados en el centro de la Península (Castillas) tienen $25 \times 12 \times 5$ centímetros ; $26 \times 13 \times 4$ cm. o bien $26 \times 13 \times 3$ cm. En algunas regiones se utilizan, especialmente para

formar soleras de tejados, unos ladrillos planos en forma de placas huecas de limitado espesor, que, colocadas directamente sobre los cabios, permiten prescindir del enlatado y ofrecen cierta protección contra las variaciones de temperatura ; pueden cubrirse con tejas ordinarias, pizarra artificial, *coritect*, etc.

En ambos grupos 1.º y 2.º, existen, además, *ladrillos de formas especiales*, para formar columnas, esquinas, chimeneas, derrames y telares de ventana, bóvedas, molduras, cornisamentos, gárgolas, etc.; en términos generales, son poco empleados en España.

3. *Ladrillos de paramento*. Se emplean solo para revestir paramentos : se fabrican esmeradamente con arcillas homogéneas de plasticidad especial, y presentan por lo regular colores vivos y uniformes.

La *cara superficial* puede barnizarse con mogates, a base de silicatos vitrificables a menor temperatura que el barro de las piezas, al que comunican un brillo transparente (cerámicas barnizadas), o glasearse con mezclas de arcilla fina, colorantes y bataduras de zinc o de plomo (como fundentes), galena, etc. (cerámicas esmaltadas). Un buen esmalte, sin ningún cuarteado superficial, lo mismo que los mogates, proporciona una protección contra la humedad, impide la adherencia de líquenes y musgos, y facilita la limpieza de los paramentos. Los esmaltes se aplican sobre las piezas ya cocidas (generalmente por aspersión o por inmersión), que requieren luego una segunda cochura (*biscotado*) de breve duración, hasta conseguir fundirlos. Como colorantes se utilizan : bórax para el blanco, esmalte para el azul, antimonio y minio para el amarillo, óxido de cromo o bataduras de cobre para el verde, hematites parda para este color, etc. ; también pueden mezclarse estos colorantes para obtener esmaltes irisados, flameados, etc.

4. *Ladrillos klinker*. Son completamente vitrificados (o « sinterizados », pero sin llegar a la fusión). Se

obtienen cociendo a alta temperatura tierras calizo-arenosas. Tienen sonido claro, no absorben agua y sólo deben emplearse en fábricas de mortero hidráulico. Puede decirse que hasta la fecha no han tenido aplicación en España, pero son muy usados en otros países, especialmente en los Estados Unidos, Países Bajos y Alemania. Las dimensiones normales en este último país son: $21 \times 10 \times 5,5$ cm. (16 dagas por metro de altura; peso unitario, 3,5 kg. aproximadamente); $20 \times 20 \times 5$ a 7 cm. (para aceras; peso unitario, 4 a 5 kg.); $20 \times 20 \times 10$ a 15 cm. (adoquines; peso unitario, 4,5 a 6,5 kg.); $20 \times 10 \times 7$ a 8 cm. (baldosas; peso unitario, 3,2 kg.).

La fabricación de klinker está condicionada por la disponibilidad de arcillas a propósito. La isla de Bornholm (Alemania) y la región de Stromberga (Suecia) proporcionan excelentes materiales de elevada dureza. Lo mismo que los ladrillos ordinarios, se fabrican a mano y mecánicamente.

$K_c = 350$ kg./cm.²; por término medio, 400 kg./cm.², pero en algunas clases, como la de Stromberga, llega a pasar de 1000 kg./cm.².

La fábrica de klinker con mortero de cemento (1 : 3) puede hacerse trabajar a 35 kg./cm.² (compresión). Las cargas admisibles varían, sin embargo, de modo sensible, según la relación existente entre el espesor e y la altura a de las construcciones. Así, por ejemplo, para

$$\frac{e}{a} = \dots\dots\dots 0,30 \quad 0,25 \quad 0,20 \quad 0,15 \quad 0,10 < 0,10$$

Coefficiente de trabajo a

la compresión..... 35 25 20 15 10 < 10 kg./cm.²

Un metro cúbico de fábrica de klinker pesa alrededor de 1900 kg. (de 1800 a 2000 kg.).

El klinker se utiliza en cimentaciones, obras hidráulicas, construcción de puentes, y, en general, siempre

que se trata de fábricas expuestas a grandes cargas. Otra aplicación, introducida con éxito en Holanda, Estados Unidos y noroeste de Alemania, se encuentra en la ejecución de pavimentos, caracterizados por su buena resistencia y por ser poco ruidosos.

Una variedad de los pavimentos de klinker está constituida por los ladrillos de *keramita*, empleados en muchas ciudades de Hungría y en algunas de Alemania; se preparan a base de arcillas muy calcáreas y con la menor cantidad posible de cuarzo y su densidad aparente excede de ordinario de 2,5. Son análogos los pavimentos de *rostolita*.

5. *Tejas*. Las piezas cerámicas empleadas para cubrición de edificios presentan muy variadas formas. Las tejas comunes en España, llamadas *árabes*, *alomas* o *romanas*, a modo de canal troncocónica, tienen de ordinario longitudes comprendidas entre 44 y 47 cm., anchuras máximas entre 20 y 30 cm. (24 a 27 piezas por 1 m.²), y espesores que oscilan entre 1,5 y 2 cm. Modernamente se usan también bastante las llamadas tejas planas, de las que existen gran número de tipos, aunque los más vulgares son el parisiense o marsellés y el de Borgoña. El tamaño de los tipos grandes se aparta poco de $42 \times 25 \times 1,5$ cm. ($13 \frac{1}{2}$ piezas por 1 m.²) y el de los pequeños corresponde de ordinario a $30 \times 22 \times 1,5$ cm. (21 piezas por 1 m.²). Las tejas de escamas o de cola de castor (para colocación propiamente imbricada) se aplican menos cada día y sólo para pequeñas construcciones, por lo que a España respecta. En todos los tipos existen clases ordinarias y clases barnizadas o vidriadas. Asimismo se fabrican piezas accesorias especiales, tales como tejas de caballete, para tubos, de gatera o ventilación, de crestería, etc. Los pormenores son propios de los tratados de construcción.

Las tejas deben poseer la resistencia mecánica necesaria, y no ser exfoliables, siendo la impermeabilidad su carácter primordial. Las caras internas deben presentar un buen acabado, para obtener sólidos enlaces y la adecuada unión de las tejas con la superficie de los tejados, a pesar de que el aire pueda filtrarse fácilmente entre las juntas.

Las tejas comunes, colocadas *a teja vana* (simplemente superpuestas) o *a lorta y a lomo* (rejuntadas con mortero), vienen a formar un doble recubrimiento y resultan, por lo tanto, muy pesadas. Las *tejas planas* o *de encaje*, por el contrario, se colocan con un pequeño solapado, sin que se requiera ligarlas con mortero, y, en virtud de la adaptación mutua de salientes y rebajos, dificultan igualmente la penetración de la lluvia y de la nieve, siendo más ligeras que las tejas árabes. Lo mismo puede aplicarse a las tejas planas llamadas continuas, por fabricarse con prensas de hilera (fig. 28, *d*) y no requerir prensado ulterior. Para darles mayor durabilidad o bien para avivar su color, se barnizan a menudo y, aun con mayor frecuencia, se esmaltan. En Alemania se someten también las tejas a un tratamiento especial, llamado de *vaporización* o *fumigación*, que comunica al barro cocido una gran resistencia a las influencias meteóricas y, muchas veces, un brillo metálico. Para ello, en la cámara donde se encuentra el material ya casi cocido, se introduce ramojo o chamarasca verde (o alquitrán y también aceite de baja calidad) y se obstruyen todas las aberturas de entrada y salida de aire. Los hidrocarburos desprendidos en la destilación que se origina, se descomponen al ponerse en contacto con las tejas incandescentes, sobre las que se precipita carbono en forma de depósito grafitico muy adherente, al mismo tiempo que el óxido de hierro, rojo, se reduce a protóxido negrozco, de donde resulta el color gris azulado, con reflejos de plata.

6. *Ladrillos y placas refractarios.* Se preparan con tierras cuidadosamente elegidas (1) y se cuecen hasta el rojo blanco. Se distinguen dos clases de materiales: los blanquecinos y porosos, susceptibles de resistir elevadas temperaturas y rápidos cambios, y los compactos y sonoros, poco adecuados para someterlos a dichas condiciones. La puesta en obra se realiza con mortero refractario (arcilla grasa y polvo seco de ladrillo refractario), cementos especiales o pirocina. Según el grado de temperatura a que pueden hallarse expuestos se distinguen varias calidades que se designan por sus aplicaciones peculiares: ladrillos *de calderas, de hornos de cal, de hornos de recocer, de hornos de cemento, de cubilotes y de hornos de acero*, cuyo punto de fusión varía desde el n.º 32 de Seger (1770°) hasta el n.º 34 (1810°).

En España, los ladrillos refractarios empleados en la construcción acostumbra a distinguirse con las designaciones de primera y segunda clase. El tamaño corriente oscila alrededor de $24 \times 12 \times 5$ cm., fabricándose también rasillas, ladrillos de cuña, curvados (para chimeneas) y baldosones de $35 \times 50 \times 7$ cm. He aquí una serie de tipos corrientes en Cataluña: $23 \times 11,5 \times 1,2$ — $23 \times 11,5 \times 2,5$ — $23 \times 11,5 \times 3,5$ — $23 \times 11,5 \times 4,5$ — $23 \times 11,5 \times 6$. La generalidad de las fábricas sirven además, bajo pedido, piezas de medidas y formas especiales. El ladrillo normal alemán tiene $25 \times 12 \times 6,5$ cm. (peso unitario: 3,5 kg.), y el inglés $23 \times 11 \times 6$ cm. (peso unitario: 2,7 kg.).

(1) La composición de la materia prima es muy variada, según las tierras de que se dispone y las finalidades a que los ladrillos se destinan; para hacer menos grasas las arcillas que lo son en exceso se utiliza polvo de arcilla refractaria cocida, cuya dosificación, en general, aumenta la resistencia de los ladrillos a la acción del fuego. No obstante, paralelamente, crece también el coeficiente de contracción que, en determinadas circunstancias, puede llegar hasta el $12\frac{1}{2}$ %.

Como variedad deben citarse los *ladrillos de bauxita*, constituidos a base del mineral de este nombre, con adición de arcilla refractaria hasta $\frac{1}{8}$ de su peso. Se aplican en la construcción de hornos metalúrgicos.

Se eleva la resistencia de las fábricas de ladrillo refractario protegiéndolas con un revoque de carburo (75 a 85 %), mezclado con arcilla refractaria y agua (tratándose de ladrillos ácidos se añade también vidrio fusible). El mortero se aplica sobre la obra desecada al aire, en forma de capa fina y, al encender los hornos, se convierte en una especie de esmalte que protege los ladrillos subyacentes de las influencias mecánicas y químicas.

7. *Azulejos y mosaicos cerámicos*. Se obtienen cociendo hasta un principio de vitrificación, arcillas grasas, adicionadas de arcilla cocida, feldespato y materias análogas. Se moldean a elevada presión con prensas de estampar. Los de variados colores se preparan a veces prensando primero la capa decorativa, de arcillas coloreadas, en un molde y uniendo a ella un fondo o carga de arcilla menos plástica, por medio de una elevada compresión, o bien procediendo en orden inverso; en este último caso, se estampan en la capa de soporte — de arcilla casi pulverulenta — surcos en correspondencia con el dibujo final, los cuales se rellenan con arcillas de colores variados, igualmente secas, y se aglomera el conjunto por medio de la prensa. Estas losetas o mosaicos, de apreciado valor decorativo, se caracterizan por su limitado desgaste, la solidez de sus colores, completa inalterabilidad a la intemperie y elevada resistencia a la compresión. Se fabrican baldosas cuadradas, exagonales y octogonales, con piezas divisorias. En Alemania varían los tamaños entre 20×20 centímetros y 14×14 , con unos 2 cm. de espesor; con frecuencia presentan las superficies con nervaduras o estrías.

Para el revestimiento de paredes se utilizan casi siempre *azulejos* o *losetas de gres cerámico*, de 1,5 cm. de espesor, aproximadamente, a menudo para decoraciones artísticas. En Alemania se utilizan asimismo azulejos estrechos ($\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$), con dos cantos opuestos esmaltados, para construir tabiques o paredes lavables de atajamiento (por ejemplo, en instalaciones de retretes) y también, una vez partidos, para ligar mejor los revestimientos de azulejos.

Se desaconseja colocar los azulejos policromados con mortero de cemento puro, pues a veces los álcalis de éste producen manchas en los bordes; conviene emplear morteros de cal hidráulica o bien morteros atenuados.

En España son apreciados los azulejos de las fábricas de Sevilla, Valencia (Manises), Talavera, Barcelona, La Bisbal, etc. Los productos extranjeros que gozan de mayor estima proceden de Inglaterra, Alemania (Boizemburgo) y Bélgica.

8. *Terracotas ornamentales*. Para adaptarse a los delicados relieves, se preparan con arcillas muy plásticas y homogéneas, que, una vez cocidas, presentan tintas uniformes, grises, rojas o amarillas. Las piezas recochas acostumbran a ser huecas y de espesor casi igual en todas sus partes. Se moldean comúnmente en moldes de yeso y, después de una desecación cuidadosa, se cuecen en hornos de gas o dentro de cajas. Se aplican para la decoración escultural de los edificios de ladrillo acusado y para la obtención de objetos de arte. Son tenaces y resistentes a la intemperie.

9. *Baldosas para estufas*. A modo de azulejos, generalmente con relieves decorativos, obtenidos por cochura, esmaltado y segunda cocción, que se aplican para revestir las llamadas estufas suecas, de obra de fábrica. Carecen casi de aplicación en España.

10. *Tubos de arcilla.* Los tubos de enchufe y cordón — empleados en las canalizaciones urbanas — son barnizados, exterior e interiormente, con un mogate pardo amarillento, muy adherente y de elevada resistencia, que se obtiene espolvoreando la cámara de cochura, al alcanzar las piezas la temperatura de vitrificación, con sal marina. La sal llega a volatilizarse, produciéndose una precipitación de sodio en las superficies de las piezas ardientes que determina un glaseado especial, debido a la formación de un silicato de alúmina sódicocálcico, el cual presta a los tubos una impermeabilidad perfecta, a la vez que los hace resistentes a la acción de ácidos y lejías. Los tubos se moldean empezando por el enchufe, con auxilio de prensas especiales. Por sus formas, se distinguen :

Injertos, derivaciones o empalmes, comúnmente de un solo lado, con acometida formando ángulo de 45° y algunas veces de 90° . Diámetros corrientes : desde 6 a 20 cm.

Piezas de reducción. Se emplean poco ; sirven para pasar de un diámetro al siguiente.

Codos, con ángulos de 22,5, 30, 45, 60 o 90 grados.

Existen además *sifones, injertos dobles o ramales de tres enchufes, empalmes dobles o cruces, tubos perforados,* etc.

Junto a los tubos cilíndricos de enchufe y cordón, se fabrican también de sección ovalada (poco usados en España con estos materiales), en piezas rectas y ramales con dos o tres enchufes.

Deben citarse, además, los

Tubos de barro cocido de sección rectangular, para conductos de humos, canales de ventilación y calefacción, chimeneas, etc.

Conchas o canalones, para revestir fondos de canales, con secciones abrazando ángulos de 90° y 120° , de 10 a 30 cm. de radio y 50 cm. de longitud.

Baldosones o placas, para revestir la parte inferior de las paredes de canales de hormigón.

Drenes o tubos de avenamiento, sin enchufes y sin barnizar, de material muy poroso o provistos de rendijas para el acceso del agua. La longitud normal oscila alrededor de 30 cm., siendo los diámetros más corrientes 4, 5, 6,5, 7,5, 10, 13, 16, 18 y 21 cm.

Waters, sumideros, comederos, tinajas, etc.

2. Ladrillos de escorias fundidas y materiales cerámicos de pavimentación

a) **Ladrillos de escorias fundidas.** Se obtienen de las escorias de hornos altos empleados en distintas industrias, por colada directa en moldes o en bastidores de hierro y ulterior enfriamiento uniforme. De los altos hornos siderúrgicos, son más convenientes las escorias ácidas, pues se solidifican con mayor regularidad que las básicas; la asperosidad de la superficie se alcanza esparciendo en los moldes una fina capa de arena. Estos ladrillos, tenaces, poco quebradizos y de notable durabilidad, se aplican en algunos países para encintado de bordillos, consolidación de aceras, y, especialmente, para adoquinados.

En Alemania son reputados como los mejores, para fines de pavimentación, los *ladrillos Mansfeld* (talleres metalúrgicos de Eisleben, Helbra y Hettstedt), obtenidos sangrando en vagonetas de hierro las escorias de los hornos altos empleados en la producción de cobre, y vertiéndolas en seguida en moldes pétreos previamente caldeados.

Para dar menos fragilidad a las escorias se mezclan algunas veces con arcilla, ceniza, arena, etc., operación que comúnmente se realiza en hornos rotatorios especiales. A fin de que el enfriamiento sea lo más lento posible, como conviene a la buena calidad del material,

inmediatamente después de laminados o prensados se recubren los ladrillos con un estrato de ceniza o de arena, de 20 cm. de espesor como mínimo, o bien se introducen en hornos de enfriar. Asimismo, para asegurar el enfriamiento gradual del interior de la masa, a fin de que resulte compacta y granuda, se recurre a no moldear los ladrillos sueltos sino en forma de barras (patente alemana 77 634) que no se fragmentan hasta que están frías. La fábrica productora ensaya individualmente todos los ladrillos (prueba de caída) para cerciorarse de que las piezas son sanas.

En términos generales, los pavimentos de escorias se distinguen ventajosamente por su limitado desgaste, duradera asperosidad, gran resistencia a los agentes atmosféricos y sonoridad relativamente reducida.

b) **Materiales cerámicos para pavimentación.** Exceptuando las baldosas de gres, aun de muy restringido empleo, en España carecen estos materiales de importancia. No ocurre lo propio en el extranjero. Así, por ejemplo, en Alemania son de uso corriente, entre otros, los productos especiales que se enumeran a continuación :

a) *Baldosas vulkanol* (1). Compuestas de 96 % de cuarzo triturado y un aglomerante arcilloso. Miden $28 \times 21 \times 6$ a 8 cm.; se cuecen en hornos con gasógeno.

β) *Adoquines granulita*. Obtenidos por fusión de feldespato molido. Color amarillento. Tamaño grande : $14 \times 14 \times 13$; pequeño : $16 \times 16 \times 8$.

Adoquines semejantes se emplean desde largos años en los Estados Unidos, aunque fabricados por fusión de polvo de granito. El procedimiento permite obtener excelentes imitaciones de la piedra natural, añadiendo piedra machacada a un lecho de escorias silicatadas, arena arcillosa, espato fluor, etc., que se funde en hornos con regeneradores, caldeados a 2000° .

(1) De la sociedad « Steinwerke C. Vetter », de Würburgo.

γ) *Adoquines de granito moldeado*. Se amasa con agua una mezcla de polvo de piedra, feldespato y caolín, se somete a presión elevada y se cuece a 1650°.

δ) *Wurlitzita* (1). Se prepara con detritos de serpentina, molidos, y un aglomerante arcilloso; la mezcla se funde en hornos de porcelana. Este material, cuya resistencia a la compresión excede de 2750 kg./cm.², ha dado buen resultado en la pavimentación de algunas grandes ciudades, caracterizándose especialmente por su limitado desgaste y por permitir un silencioso tráfico rodado.

(1) De la sociedad «B. Heiss», de Wurlitz (Hof).

3. Madera

A. Estructura, desarrollo, forma y componentes

En el crecimiento de la madera se equilibra la nutrición del árbol y las condiciones estáticas a que se halla sometido en la naturaleza. Para poder apreciar la estructura de la madera se producen en los troncos tres cortes distintos (fig. 37):

1.° *Corte transversal* (de testa), perpendicular al eje mayor del tronco; muestra la naturaleza de *duramen* y *albura*.

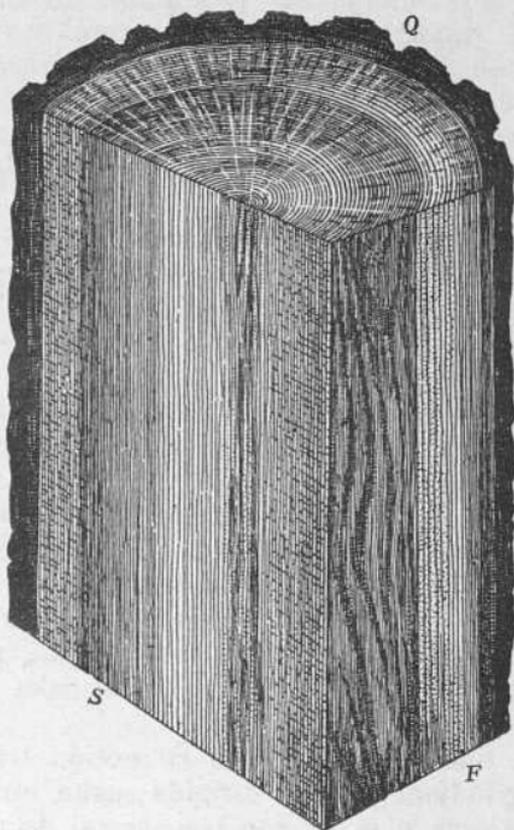
2.° *Corte longitudinal* o *diametral* (madera al corazón), por un plano que pasa por el eje; permite apreciar la fibrosidad de la madera.

3.° *Corte tangencial* o *según una cuerda* (madera al hilo), asimismo en sentido longitudinal, pero tangencialmente a alguno de los anillos anuales; muestra también el curso de las fibras.

En la figura 37, *Q* indica la sección transversal, *S* la longitudinal y *F* la dirigida según una cuerda.

El examen de la sección transversal de un tronco (figs. 37 y 38) muestra en su centro la médula — que puede ser más blanda que la madera — y los rayos medulares que parten de ella y se dirigen a la periferia, finos en las coníferas y que en los árboles de hoja caduca presentan hasta 1 cm. de anchura, los cuales producen en el corte diametral un veteado (espejuelos o lentejuelas) brillante o especular (de donde deriva el nombre

de *spiegel* o de espejo, con que en alemán se conoce el corte citado). Inmediato a la corteza se encuentra un estrato blando, llamado *cambium*, en cuya cara externa

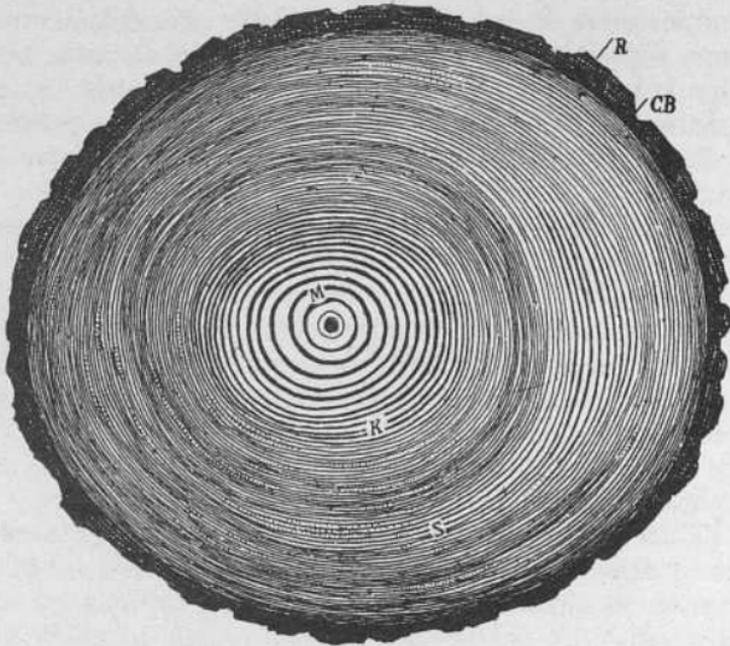


Q, Sección por testa. S, Madera de corazón. F, Madera al hilo.

FIG. 37. Secciones principales de un tronco

existe la capa generatriz (llamada *liber* o *floema*), y debajo del cual se forma cada año un anillo de *leño* o *xilema*. Estas capas anuales están formadas por la *madera de invierno*, clara y blanda, crecida en la esta-

ción invernal, durante la cual, perdiendo el árbol poca agua por evaporación, contiene abundante savia, y por la *madera de estío*, más dura y de color más subido, cuyo crecimiento se produce cuando el vegetal dispone de menor cantidad de savia. En los árboles de hoja



M, Médula. K, Duramen. S, Albura. CB, Cambium y liber.
R, Corteza.

FIG. 38. Sección transversal de un tronco de pino

caduca, la anchura de los anillos o círculos anuales es, en general, un indicio de la buena calidad de la madera, toda vez que en ellos el desarrollo de las capas periódicas viene condicionado por un elevado crecimiento de la madera de estío, de naturaleza más dura. En las maderas resinosas (coníferas) ocurre lo contrario: aquí los círculos anchos se deben a la formación

intensa de tejido leñoso invernal (llamado a veces, aunque no con propiedad, de primavera).

El tejido leñoso de los círculos más recientes es el que posee mayor vitalidad y mayor cantidad de savia, y se conoce con el nombre de *albura* para distinguirlo del *duramen* o parte inmediata al núcleo o corazón. Si la madera del núcleo, formada con el curso del tiempo, es más pesada o densa que la albura, el árbol posee esta propiedad desde el principio de su crecimiento, como puede reconocerse por la mayor densidad que presentan las capas jóvenes de la albura, más próximas al corazón.

La madera cortada al corazón deja ver los círculos anuales, generalmente de variadas coloraciones, por las vetas más o menos rectilíneas y paralelas. Según la mayor o menor regularidad del veteado, se reconoce si el crecimiento del árbol ha sido normal o poco uniforme. Los radios medulares aparecen en este corte en forma de manchas separadas, o de vetas especulares, que, en determinadas circunstancias, sobre todo en las coníferas, son muy finas y apenas visibles.

El corte al hilo, según que la sección sea más próxima o más lejana del eje, alcanza un número mayor o menor de capas anuales. Como estas últimas no son jamás cilindros perfectos sino que están influidas por las oscilaciones del crecimiento y del desarrollo general, determinan, sobre todo en la región central del corte, la formación de caprichosas figuras que constituyen las «aguas» de la madera y cuya aparición se favorece de intento en ciertas chapas de maderas finas para revestir.

La madera se compone de innumerables pequeñas células, cuyo estudio es necesario si se quieren apreciar sus propiedades de resistencia y desarrollo. Estas células tienen por misión: a) ser vehículo del agua, b) sostener el desarrollo del tronco en sentido estático y c) nu-

trir el árbol. De acuerdo con estas funciones se distinguen también las células vasculares, las células libri-formes o fibras leñosas y las células nutritivas. Con frecuencia las células alcanzan longitudes tan grandes que en los cortes al hilo es posible distinguirlas a simple vista. La envoltura de las células redondeadas o poligonales, está formada por una membrana compuesta de varias capas. Las células pueden contener sólo aire, aire y agua o bien únicamente una solución hídrica de sustancias inorgánicas y, en especial, orgánicas — protoplasma o savia celular — o ser de composición mixta.

Las *células vasculares* o *traqueales* sirven para conducir de las raíces a las ramas el agua ascensional, que contiene en disolución sales alimenticias, materias colorantes y el nitrógeno que fijan las plantas únicamente del suelo, y son, además, vehículo de aire. En la albura se encuentran llenas de savia y en el núcleo de aire. Su dirección, prescindiendo de las células horizontales de la médula, corresponde a la del tronco. Colocadas una a continuación de otras y uniéndose por las paredes transversales perforadas, constituyen verdaderos conductos. Las células, más o menos inclinadas, se aglutinan íntimamente y en la madera de las coníferas, cuyo elemento principal constituyen — por su menor necesidad de agua — sustituyen las células leñosas. Por el contrario, en los árboles de hoja caduca (que a causa de la intensa transpiración de las hojas requieren una cantidad de agua notablemente mayor que las coníferas), junto a las células traqueales se encuentran verdaderos vasos, por enlace de los extremos superiores e inferiores de las células y su crecimiento simultáneo. Estos vasos, que se presentan en forma de tubos más o menos largos, hacen muy fácil el ascenso del agua. Por lo común sólo son visibles al microscopio en las secciones de testa, como pequeños poros circu-

lares, aunque a veces se manifiestan claramente, como por ejemplo, en la madera de roble o de fresno.

Las *células libriformes* o *de sostén*, son pequeñas, alargadas y puntiagudas, con membrana gruesa y cavidad estrecha; sirven para el refuerzo íntimo de la planta y determinan en primer término la resistencia de la madera de hoja caduca. Las coníferas carecen de ellas y en su lugar poseen las células de que antes se ha hecho mención.

Las *células de nutrición* o *de reserva* sirven para alimento de las otras y para almacenar la fécula que se consume durante el aletargamiento invernal. En la madera del corazón su protoplasma está muerto.

De la íntima unión de las células resulta el tejido leñoso. En él pueden predominar los vasos alargados y las células traqueales y de sostén, en capas yuxtapuestas, de donde resulta la gran resistencia longitudinal de la madera, o bien hallarse unidas por aglomeración — especialmente en las células del parénquima — dando origen a los radios medulares. Mientras estos tejidos subsisten en la planta viva, tienen por misión conducir en dirección horizontal hacia el interior del tronco las materias nutritivas elaboradas por las hojas y acarreadas por la savia periférica y, al mismo tiempo, por sus traqueidas de aire permitir el intercambio gaseoso entre el interior del tronco y la atmósfera. Al crecer la madera, las membranas que separan las células se dividen en muchos puntos, en sentido longitudinal, formándose entre ellas cavidades alargadas. Tales poros se encuentran en la albura llenos de aire — que proporciona el oxígeno necesario para la respiración del vegetal — mientras que en el núcleo contienen una materia gomosa o constituyen los vasos resinosos.

La madera de los *árboles de hoja plana* o caduca se distingue de la de las *coníferas*, sobre todo porque en éstas faltan por completo los vasos anchos y porque,

prescindiendo de los finos tejidos medulares (que no llegan a formar radios visibles), se hallan constituidas por traqueidas de fibrosidad uniforme (véase pág. 155). También se caracteriza esta madera por las canales resiníferas, desigualmente distribuidas, que siguen entre las células caminos longitudinales.

En su crecimiento, los árboles extraen del suelo el agua, las sales minerales solubles (que aparecen en las cenizas) y el nitrógeno, mientras que captan por las hojas el anhídrido carbónico del aire. En la función fotoclorofiliana de las hojas, el anhídrido carbónico se combina con el agua, formándose formaldehído — que fija el carbono — y desprendiéndose oxígeno ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CHOH} + \text{O}_2$); del primero se origina el azúcar, que en el tronco se transforma en almidón y celulosa. La última de estas sustancias es la que da origen a la formación de nuevas células en los anillos del cambium. En la cara interna del cambium se forman células de *xilema* (madera nueva) y en la externa de *floema* (liber). Mientras se produce este proceso de asimilación, el árbol transpira, absorbiendo oxígeno y cediendo gas carbónico y vapor de agua, aunque esta transpiración se produce con notable retraso con respecto a la nutrición propiamente dicha (1). La sustancia básica de las células, o celulosa ($\text{C}_6 \text{H}_{10} \text{O}_5$), está integrada por 44 % de carbono, 6 % de hidrógeno y 50 % de oxígeno. A la temperatura ordinaria, la celulosa es inalterable del aire, pero si está húmeda o en contacto con agentes de putrefacción se descompone, tomando primero un color pardo y luego negruzco y perdiendo sus propiedades resistentes; también la atacan los hongos lignícolas, produciéndose en la descomposición agua y anhí-

(1) Este fenómeno se pone de manifiesto porque durante el día sólo se produce una absorción de CO_2 y un desprendimiento de O, mientras que durante la noche se presenta una débil absorción de O y un desprendimiento de CO_2 .

drido carbónico. Entre las substancias orgánicas contenidas en la madera, aunque en proporción muy reducida, pueden citarse : albúmina, almidón, azúcar, ácido tánico, resina, aceites, etc. Las materias albuminoideas son desfavorables para la conservación de la madera, pues — en presencia de hongos — son causa de que ésta se pudra, mientras que el ácido tánico, los aceites y las resinas obran como elementos preservativos, el primero por transformar la albúmina en compuestos insolubles o inatacables y los segundos por dificultar la infiltración del agua. Los componentes minerales — soluciones de sales de K, Na, Ca, Fe, etc. — quedan como residuo fijo en la incineración ; en las maderas secas, su proporción no llega a $\frac{1}{2}$ %.

B. Principales propiedades técnicas de la madera

La densidad aparente de la madera depende en primer término del contenido de agua, influyendo también, aunque de modo secundario, el lugar de crecimiento, desarrollo, situación en el tronco (proximidad de las raíces o de la copa, albura, duramen, etc.). En general, para una clase de madera dada, la más densa debe preferirse a la más ligera, pues se caracteriza también por su mayor resistencia. La proporción de agua de la madera verde alcanza : 45 % en el abeto rojo, 42 % en el chopo, 37 % en el pinabete o abeto común, 34 % en el olmo, 32 % en el haya común, 30 % en el roble y 26 % en el alerce. Desecadas al aire contienen todavía siempre entre 10 y 15 % de su peso de agua. Según el Reglamento Prusiano de 24 de Diciembre de 1919, el peso específico de las maderas más comunes, referido al metro cúbico, debe estimarse como sigue :

<i>Pino común</i>	700	<i>Pino amarillo</i>	800
<i>Abeto rojo</i>	600	<i>Roble</i>	900
<i>Pinabete</i>	600	<i>Haya</i>	800
<i>Alerce</i>	650	<i>Madera dura australiana</i>	1100
<i>Pino resinoso</i> .	900		

Si se trata de madera desecada al aire, el peso del metro cúbico puede rebajarse en unos 50 kg., en números redondos. Para las maderas menos empleadas, sobre todo en las artes y oficios (por ejemplo, olmo, aliso, pino amarillo y haya blanca), puede calcularse, en estado seco, alrededor de 700 kg./cm.³.

Contracción e hinchamiento de la madera. Cuando la madera pierde su humedad experimenta cierta contracción, mientras que se dilata o hincha cuando absorbe agua. Las deformaciones que con ello se originan se presentan de modo que la contracción no se manifiesta intensamente hasta que la madera ha perdido gran parte de su humedad, debido a que primero se evapora el agua contenida en los espacios intercelulares, y que la contracción no se hace sensible hasta que la humedad atraviesa las paredes de las células. Por el contrario, como la humedad es primeramente absorbida por las células, el hinchamiento se manifiesta desde los primeros momentos. Los coeficientes de contracción de las distintas maderas son muy diferentes, dependiendo de la estructura celular y de los caracteres del protoplasma. Para las maderas de construcción europeas, puede estimarse, por término medio, un coeficiente de contracción lineal de 0,1 % en sentido longitudinal, de 4,5 a 6 % en sentido transversal y de 10 a 20 % en la periferia. La contracción normal a las fibras es muy notable en el haya (8 %) y en el roble (7,6 %), y relativamente reducida en el pino común (4,5 %).

De la variada textura de la madera (sobre todo por la variación del grado de humedad que de ella resulta, entre las células interiores y exteriores), la contracción es mucho más energética en la región periférica que en el corazón, a cuyo efecto contribuye el hecho de que el agua se evapora más fácilmente por los grandes y abiertos poros de los tejidos jóvenes. Consecuencia de esto es el resquebrajamiento del nú-



cleo de las vigas rectangulares, el abarquillamiento de las tablas, con tendencia a formar superficies cilíndricas con la convexidad dirigida hacia el núcleo. Asimismo, una tabla o una viga se contrae en la dirección periférica con mayor intensidad que en el centro. También, por la misma causa, una tabla cortada al hilo en el corazón de un tronco se hace más delgada hacia los bordes, sin que, por lo demás, experimente otra variación. De estas deformaciones debidas a la contracción resulta la necesidad, cuando se trata de obtener tubos de madera, de emplear troncos enterizos y de vaciar su núcleo, pues sólo de este modo se consigue que las fibras periféricas puedan contraerse por igual y sin obstáculo hacia el eje de la sección tubular.

El *coeficiente de hinchamiento* de la madera guarda cierta relación con el de contracción, aunque de ordinario es algo mayor (haya, olmo, pino, abeto), raramente más pequeño (por ejemplo, en el aliso) y con frecuencia igual (encina, pinabete, alerce). En general, el coeficiente de hinchamiento de las maderas de construcción puede tomarse igual a 0,2 %, paralelamente a las fibras, y a 7 % en sentido perpendicular, como valores medios. El efecto perjudicial del hinchamiento debe prevenirse con adecuadas medidas constructivas. Así, por ejemplo, en los entarimados, como las tablas al absorber humedad tienden a curvarse hacia la albura, conviene colocarlas con la parte del núcleo hacia arriba, a pesar de que con ello aumente algo el peligro de los resquebrajamientos. Las tablas para las cimbras de bóvedas se acoplan con cierto huelgo, en previsión de que el hinchamiento no fuera causa de dislocaciones, y las de revestimiento se machihembran, dando juego al ensamble de caja y espiga y tapando la rendija con un cubrejuntas que sólo debe asegurarse por un lado. Los *parquets* deben colocarse sobre un piso perfectamente seco, empleando en su construcción madera

desechada por completo, pues en otro caso es inevitable que se abran las junturas. Los entablados mayores se protegen del abarquillamiento por medio de traveseros o listones de madera cruzada o bien se recurre a acoplar varias tablas, con las fibras en ángulo recto, pegándolas con cola fuerte. Naturalmente, estas medidas preventivas de los movimientos de la madera (que desarrollan fuerzas considerables), alcanzan mayor eficacia empleando en lo posible madera de fibras rectas y descartando el uso de la que presenta tendencia a torcerse (fibras reviradas), fenómeno que no es raro, especialmente en el abeto y el pino.

La **desechación de la madera** se facilita descortezando la base del tronco algunos meses antes de la tala, descortezando parcialmente (1) los troncos apeados, o almacenando las maderas cortadas, al abrigo del viento, durante períodos que, en algunas clases de madera, pueden llegar a varios años. El agua que subsiste en la madera después de seca al aire (10 a 15 %), puede sólo eliminarse artificialmente (secaderos de cámara o de túnel, con corriente de aire calentado a 40° para el roble ; entre 30 y 40° para los demás árboles de hoja caediza ; entre 80 y 95 °para la madera resinosa, delgada, y de 50° para la gruesa).

La **dureza de la madera**, en términos generales, es función de su peso específico. Entre las clases citadas, son duras las maderas de encina, pino resinoso, haya roja y olmo ; semiduras las de aliso, alerce y pino común, y blandas las de abeto rojo y común ; se manifiestan no obstante anomalías debidas a las condiciones climáticas y de crecimiento. La fisilidad o hendibilidad de la madera corre parejas con la dureza ; es máxima

(1) Si los troncos rollizos se descortezaran por completo, la albura se desecaría con excesiva rapidez, con relación al núcleo, con lo que podrían presentarse en la superficie fendas o desgarros longitudinales

Madera	Módulo de elasticidad		Carga de ruptura en Kg./cm. ²						Coeficiente de trabajo en Kg./cm. ²							
	Compresión Fibras (1)		Flexión		Tracción Fibras		Compresión Fibras		Compresión ⊥ Fibras (1)		Flexión		Compresión Fibras		Compresión ⊥ Fibras	
Haya roja	180 000	169 000	128 000	720 000	450	720	85	250	100	80	100	100	100	10	50	50
Roble	108 000	103 000	100 000	950 400	144	670	75	250	100	80	100	100	100	10	50	50
Abeto, Pinabete	92 000	99 000	111 000	600 280	—	490	40	240	90,80	50	90,80	90,80	90,80	8	40	40
Pino	90 000	96 000	108 000	900 300	50	600	50	250	100	60	100	100	100	10	50	50

según planos diametrales, y disminuye hacia la periferia.

Elasticidad y condiciones mecánicas de la madera. La tabla anexa contiene los principales coeficientes mecánicos de las más importantes maderas de construcción; como se comprende, las cifras indicadas tienen sólo el carácter aproximado de valores medios.

En el cálculo de la compresión flexora (pandeo) se aconseja tomar para el módulo de elasticidad el valor medio de 100 000 kg./cm.² Huelga encarecer la necesidad de armonizar las fatigas admisibles con la calidad del material y así, por ejemplo, en la madera de fibras reviradas, en las coníferas livianas con grandes anillos anuales, y en casos semejantes, se rebajarán convenientemente las cifras anteriores. Lo mismo cabe decir de las maderas muy húmedas, para las que se recomiendan reducciones del

(1) Véanse los ensayos de TRAUER en la revista *Eisenbau*, 1919, cuaderno 7, y LANG, *Das Holz als Baustoff*, 1915.

10 al 30 %, que, en las destinadas a obras hidráulicas, pueden llegar hasta el 40 %. Inversamente, cuando se trata, por ejemplo, de pino o de abeto, completamente secos (al aire) y exentos de nudos, pueden aumentarse los valores indicados hasta un 20 %, en números redondos. Desempeña igualmente un papel importante en la amplitud de las cargas admisibles la circunstancia de que la madera deba emplearse en instalaciones provisionales o en obras permanentes, pues en el primer caso son admisibles coeficientes de trabajo notablemente mayores (25 %). Tampoco carece de importancia, como se pone de relieve al tratar del ensayo de la madera, la disposición en que se encuentran los anillos anuales con respecto a la dirección de los esfuerzos. Esta influencia sube de punto cuando se trata de maderas curvadas y en las piezas sometidas a esfuerzos cortantes, perpendicularmente a las fibras. Mientras en el primer caso se alcanza la posición más favorable cuando el plano de las tensiones es tangencial a los anillos anuales y la menos conveniente cuando la zona extendida o estirada se halla en la región del núcleo, en los esfuerzos de cortadura perpendiculares a las fibras, la posición más favorable de la madera es aquella en la que los esfuerzos de compresión son directamente soportados por las fibras del corazón o por un perfil concéntrico. Por lo que respecta a las piezas sometidas a flexiones, conviene tener en cuenta que, en cierto modo, la madera está integrada por la yuxtaposición de dos materiales distintos: el tejido leñoso duro, de verano, y el tejido blando, de invierno, y que, por lo tanto la flexión será tanto más pequeña y la resistencia tanto más grande, cuanto mayor sea la cantidad de capas de madera dura orientadas según el plano de las fuerzas.

En términos generales, como resultado de experimentos especiales realizados en el Laboratorio Oficial

de Ensayo de Materiales de Berlín, si se asigna al coeficiente de ruptura por compresión de una clase de madera el valor 100, cabe admitir para los demás coeficientes de resistencia los valores siguientes :

Esfuerzos paralelos a las fibras	Tracción	Flexión	Cortadura
Haya común	400	200	29
Encina	270	177	26
Pinabete	210	160	22
Pino	270	163	23

o bien, como promedio,

Maderas de hoja caduca..	310	191	28
Maderas resinosas	230	162	22,5

Según Winkler, los coeficientes de resistencia a la cortadura, perpendiculares a las fibras, con respecto a los de la resistencia paralela, son 6,5 veces mayores para las coníferas, 3,3 para roble y encina y 4,8 para la madera de haya. Bauschinger indica que, para la madera de pino, dicha resistencia al cizallamiento puede tomarse 4,6 veces mayor que en el caso de ejercerse el esfuerzo en sentido paralelo a las fibras.

Así, pues, conocida una de estas resistencias puede tenerse una idea aproximada de la otra.

El coeficiente de dilatación térmica de la madera es muy reducido. El de dilatación lineal importa, en números redondos, 0,000 000 35, o sea, la cuarta parte del del hierro. Según esto, pueden considerarse generalmente despreciables los cambios de volumen de la madera debidos a las variaciones ordinarias de temperatura.

La durabilidad, o resistencia de la madera a la acción del tiempo, depende de su naturaleza y de la de las obras en que se aplica. Con respecto a la última cuestión, influyen en primer término las alternativas de humedad y sequedad, así como la circunstancia de que el material se halle empotrado en el suelo. Así, mientras resiste

bien en suelos de arcilla, se destruye pronto en terrenos arenosos y más aun cuando son calizos. En agua corriente, y siempre totalmente sumergidas, la madera de roble y el haya impregnada poseen una durabilidad casi ilimitada, el pino y el aliso resisten unos 100 años, haya y alerce unos 80 y el pinabete unos 50. Expuestas a la intemperie, puede asignarse a la madera de roble una resistencia de unos 100 años, de 75 al olmo, de 60 al pino y alerce, de 50 al abeto común, de 35 al haya y de 25 al aliso. Estas cifras se elevan cuando las maderas expuestas al aire libre se hallan protegidas, sobre todo para el pino y alerce (90 años) y haya (55), incrementándose todavía si se impregnan debidamente.

C. Destrucción de la madera y medios de prevenirla

La madera se destruye, por:

a) **Pudrición**, es decir, por descomponerse los componentes albuminoideos de la savia, probablemente a causa de ciertos microorganismos (hongos). Hay que citar, en primer término, la *pudrición azul*, producida por un hongo y que se manifiesta en los árboles apeados, cuando los troncos se conservan mucho tiempo sin descortezar. En el pino, la albura se torna azul, en el abeto rojo y pinabete, negra, y en la encina, parda. Esta clase de madera puede, no obstante, utilizarse en la construcción mientras se asierre seguidamente y se emplee en puntos secos y bien ventilados. Por lo regular, en estos procesos se distingue la pudrición húmeda (roja), en la que la madera se transforma en una masa blanda, húmeda y parda, y la pudrición seca (blanca) en la que se convierte en una masa clara, disgregable y humifera, transformación que se inicia al ponerse la madera en contacto con mortero o fábricas húmedas, y es comparable a la formación del lignito. La pudrición

roja ataca lo mismo los troncos vivos que la madera cortada, sobre todo cuando está expuesta a alternativas de humedad y sequía; muchas veces se inicia en el núcleo.

Prescindiendo de la necesidad de emplear sólo madera buena y seca y de mantenerla, en lo posible, alejada de la humedad durante su almacenaje, deben citarse las siguientes precauciones contra la pudrición:

α) Barnizado, con aceite de linaza; pinturas al oleo; alquitranes de madera o de hulla, con resina; alquitrán de madera mezclado con cal apagada, seca; carbolíneo (1 kg. basta para 4 a 6 m.²), antinonnina (masa amarillenta, grasa e inodora, que se emplea en soluciones al 2 %), isol (aislante líquido elástico, resistente a los ácidos y lejías). Antes de aplicar cualquier barniz la madera debe estar bien seca, pues en otro caso quedaría la humedad aprisionada y la madera « se ahogaría ».

β) Impregnación, con sales metálicas, aceite de creosota y materias análogas, practicada especialmente con haya roja y pino. Se emplean como preservativos:

Aceite de creosota (aceite de alquitrán conteniendo de 6 a 10 % de ácido fénico). En la madera de pino se consumen de 140 a 200 kg./m.³, unos 80 en la de encina, y unos 300 en la de haya. El creosotado se aplica mucho para traviesas de ferrocarril. El aceite se inyecta en las traviesas una vez secas y después de extraído el aire.

Cloruro de zinc. También de especial empleo para la protección de traviesas, las cuales se someten primero a la acción del vapor, luego a la del vacío y finalmente se impregnan con una solución de cloruro de zinc ($2 \text{Cl}_2\text{Zn} + 30 \text{H}_2\text{O}$), a 65° y a unas siete atmósferas de presión. Consumo: 180 kg./m.³.

Sulfato de cobre (procedimiento Boucherie). Solución: $1,5 \text{SO}_4 \text{Cu} + 100 \text{H}_2\text{O}$. La solución se infiltra

en los troncos recién cortados, por la coz o extremo de las raíces. Aunque poco, se emplea especialmente para postes telegráficos y objetos análogos.

Caparrosa verde y sulfato de alúmina, y luego cloruro cálcico y lechada de cal (procedimiento Hasselmann). Conveniente para traviesas.

Sublimado corrosivo (cloruro mercuríco al 1 por 150). Impregnación simple, tomando las debidas precauciones contra la toxicidad del producto; aplicable para traviesas de ferrocarril.

Se emplean además, aunque en proporción limitada y para fines especiales, soluciones de cloruro sódico, aguas madres de la industria de las sales potásicas, bórax, vidrio soluble, fluoruro sódico, fluosilicato de sodio y sales de hierro y de aluminio.

La impregnación hace la madera más dura y pesada.

En los últimos tiempos han alcanzado especial importancia los llamados *procedimientos económicos*, a causa del ahorro en el consumo de líquidos impregnantes que permiten alcanzar, gracias a que una vez realizada la impregnación se extrae de la madera el líquido superfluo. Deben citarse entre ellos los procedimientos de impregnación Heise y Rüping y los derivados de éste último, Rüping-Rütger, y Heidenstam-Rüping. El método de Rüping se funda en inyectar primero aire comprimido en los poros de la madera, y luego aceite a presión elevada, sin dejar escapar aquél. Finalmente, el aire arrastra de los poros de la madera el aceite en exceso. Los procedimientos derivados del de Rüping son aplicables también a la madera verde, sobre todo para pilotes. En el procedimiento Rütger se practica una desecación previa (calentamiento de la madera en aceite caliente, a baja presión, y vaporización del agua contenida), mientras que en el método de Heidenstam gracias a un breve enrarecimiento del aire de la caldera e inmediato relleno con aceite, el aire

comprimido escapa solamente de la albura, pero se mantiene en el duramen (1).

γ) *Carbonización* (usual para estacas de cercado, postas de transmisiones, etc.). El procedimiento es poco duradero y de discutida eficacia; se mejora revistiendo las superficies con arcilla, alquitrán, palastro, etc.

Finalmente, puede prevenirse la pudrición de la madera eliminando la savia por lixiviación o por vaporización. En el primer caso, los troncos descortezados se colocan en agua corriente, con el extremo de las raíces aguas arriba, de modo que por sí mismo pueda realizarse un lento enjuague de los jugos, mientras que en la vaporización, la madera en rollo o cortada a trozos se introduce en calderas y se deja expuesta a la acción del vapor comprimido hasta que el agua de condensación aparece completamente clara. De este modo se destruyen los gérmenes de putrefacción y la madera queda reblandecida hasta el punto de que fácilmente puede curvarse y prensarse — propiedad que, por ejemplo, se aprovecha en ebanistería.

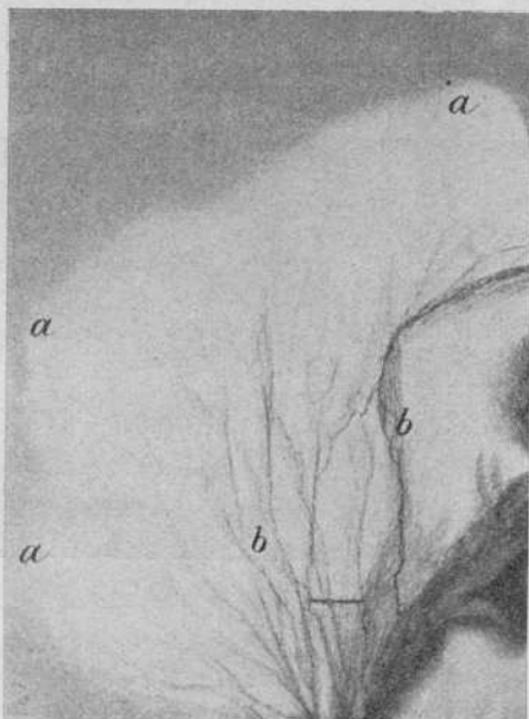
b) **Enmohecimiento de la madera de construcción**

El más peligroso de los enemigos de la madera, el moho, se debe a la acción de ciertos hongos saprofitos (*Merulius domesticus*, *M. lacrimans*). Tiene por resultado la completa destrucción de la madera y es tanto más de temer por cuanto se desarrolla rápidamente y su funesta acción sigue propagándose muchas veces aunque se separen las partes atacadas.

El moho se reproduce por esporas de color pardo rojizo, que pueden ser transportadas por el aire y germinan fácilmente en la madera, en particular cuando previamente ha sido ya atacada por otros hongos, aun siendo menos nocivos. De las esporas, cuyo poder germinativo dura cerca de un año, salen embriones fila-

(1) Véase TROSCHER, *Handbuch der Holzkonserverung* (Berlín, 1916), y MALENOVIC, *Die Holzkonserverung* (Hartleben, 1907).

mentosos (*hifas*), que se introducen en las células del tejido leñoso y penetran en el interior de la madera donde se desarrollan (fig. 39) formando un tejido membranoso — el *micelio* — que se extiende continuamente,



a, Límite exterior del micelio fino. *b*, Vetas ramificadas

FIG. 39. Moho de la madera

aun por las mismas juntas de muros y bóvedas, llegando a atravesar el hormigón. El micelio se desarrolla a menudo en forma de abanico y en todos los casos forma vetas ramificadas, donde la vitalidad es más intensa. Mientras las partes finas y hojosas del micelio requieren para subsistir la presencia de aire húmedo

y mueren con la sequedad, las vetas ramificadas resisten largos períodos de sequía y son causa de la gran vitalidad del moho. Cuando el moho se encuentra en la oscuridad o en sitios mal iluminados alcanza el estado de madurez, formando a modo de gruesas erupciones de variadas formas, casi siempre de color pardo amarillento con bordes blanquecinos (fig. 40). Las condicio-



FIG. 40. Erupción de moho en estado de madurez

nes que favorecen el desarrollo del moho son la humedad, la carencia de luz y la falta de ventilación. Al descomponer la celulosa el moho produce agua, con lo que se humedece la madera, creándose a sí mismo un medio favorable. Como su desarrollo se acelera por los álcalis, conviene evitar que la madera se moje con orina. El reconocimiento del verdadero moho es difícil y el juzgar sobre su presencia incumbe propiamente al botánico. Sin embargo, han de estimarse como *síntomas*, la aparición, en la madera sin barnizar, de pequeños puntitos negros con eflorescencias mohosas, o de manchas vellosas (generalmente de color amarillento) en la ma-

dera pintada a la cola ; el sonido sordo del material ; la facilidad con que se flexa por compresión ; el abarquillamiento de los entarimados ; la contracción desmesurada ; grandes resquebrajaduras y, en particular, la intensa humidificación de los locales, acompañada de un fuerte olor cenagoso y nauseabundo. De las condiciones para la vida del moho se desprende que atacará con preferencia las cabezas de viga que no se encuentren ventiladas ; las vigas durmientes ; el maderamen a proximidad de estufas (sobre todo, si los entablados se han colocado sobre obras húmedas) ; las partes de madera empotrada, en lavaderos, cuadras, etcétera. Asimismo, obran de modo muy perjudicial el empleo de ripio en el relleno de pisos, el revestimiento demasiado rápido de los entarimados con materias impermeables al aire (linoleo, azulejos, barnices continuos), y el caldeo intenso de viviendas todavía húmedas.

Como *medios preventivos* del enmohecimiento se recomienda en primer término evitar que en las obras pueda encontrar condiciones de vida y, en segundo lugar el empleo exclusivo de maderas sanas, secas y compactas, y en ciertos casos lixiviadas o impregnadas ; prevenir el contagio con maderas atacadas ; excluir materiales peligrosos en el relleno de solados ; ventilar, disponiendo cámaras de aire, la parte inferior de los entarimados, las cabezas de viga, las vigas durmientes, particularmente en las partes más expuestas, y, cuando ello no sea posible, sustituir la madera por el hierro o por materiales mixtos ; evitar el prolongado estancamiento del aire ; desecar las obras a conciencia, etc.

Una vez el enmohecimiento se ha manifestado debe combatirse por todos los medios. Como el moho sólo resiste temperaturas de hasta unos 50°, en caso de pequeña formación de hongos puede ensayarse su des-

trucción por corrientes de aire caldeado a 100°. Es más eficaz descubrir por completo las partes atacadas, descarnando la madera enferma hasta encontrar el tejido sano; repicando los revoques alrededor; rascando las juntas de los muros y lavando las obras de fábrica con ácidos clorhídrico o fénico diluïdos o pintándolas con isol, preolita y productos análogos; enluciendo con



FIG. 41
Coniophora cerebella

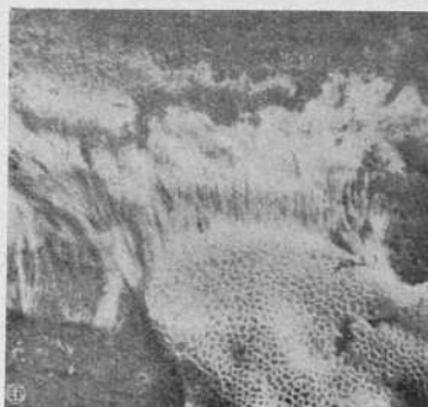


FIG. 42
Polyporus vaporarius

mortero de cemento, y — particularmente con esponjosidades extensas y fábricas de mala calidad — sustituyendo la mampostería circundante por fábrica de ladrillo cocido a gran fuego (klinker) y mortero de cemento y, finalmente, sustituir la madera atacada por otra en perfecto estado, seca, impregnada o protegida de otro modo. Para proteger a ésta sirven, en primer lugar, los medios preservativos de la putrefacción citados en la página 166: aceite de creosota, alquitrán de hulla, antinonnina, isol y carbolíneo. Siempre es necesario poner el mayor cuidado en el exterminio de los hongos productores del moho: la madera atacada

se destruirá por el fuego ; las herramientas empleadas en su trabajo y los carros que hayan servido para su transporte deberán desinfectarse.

Entre las demás clases de *hongos peligrosos* para la madera, hay que mencionar :

α) El *Coniphora cerebella* (fig. 41) o moho de las bodegas. Es frecuente en los edificios y ataca la madera previamente enferma o picada ; reconocible por su color pardusco. Forma ulteriormente un moho de color gris blanquecino o amarillento, a menudo muy ramificado, a manera de polípero, que, por último, se transforma en una costra o excrecencia algodonosa.



FIG. 43. Leucites

β) El *Polyporus vaporarius* (fig. 42) o moho esponjoso. Se desarrol-

la con preferencia en la madera atacada por el anterior, la cual destruye por completo originando una masa parda, turbácea, dividida por fendas longitudinales y transversales, que se desmenuza fácilmente. En este aspecto es análogo al moho propiamente dicho, al que sigue en potencia destructiva.

γ) El *Merulius sylvester* y el *Merulius minor*. Determinan la pudrición seca de la madera, siendo mucho menos nocivos que el *Merulius lacrimans*.

δ) Los *leucites* (fig. 43), de distintas especies, que atacan la madera al aire libre y en los almacenes y pueden introducirse en las obras con las maderas de construcción ; se desarrollan en el interior de maderas — en

particular de abeto — cuyo aspecto parece perfectamente sano.

c) **Acción del fuego.** Hasta la fecha no se ha conseguido otorgar a la madera una incombustibilidad perfecta. Proporciona una buena protección contra el ataque del fuego el acepillado fino de la madera y el redondeamiento de las aristas (se aconseja en la construcción de almacenes), así como un revestimiento con cartón de amianto de 8 mm. de espesor o con mortero, sobre todo armado con tejido de alambre cerámico (véase pág. 247). Entre los barnices que dificultan la inflamación de la madera o que sólo permiten su carbonización, deben citarse: vidrio soluble mezclado con creta o arcilla; óxido cálcico apagado con una solución de cloruro de calcio; soluciones saturadas de sulfo, fosfato o borato amónicos, etc. También se puede introducir la madera bien seca en calderas llenas con lechada de cal e impregnarla con ácido sulfuroso a elevada presión (procedimiento Moores). Por último, pueden citarse el producto ignífugo de Hulsberg y C.^a (Charlottenburgo), y el procedimiento Gautschin.

Naturalmente, cabe asimismo proteger la madera con distintos revestimientos, tales como revoque Rabbitz, ladrillos huecos, placas de yeso duro, etc. En caso de siniestro, las maderas susceptibles de desprender gases combustibles, como las coníferas muy resinosas, aumentan más el daño que las maderas duras. El roble y la madera de teca arden con dificultad y las maderas duras australianas — aun sin estar protegidas — poseen elevada resistencia al fuego.

d) **Carcoma.** Las larvas de gran número de insectos (coleópteros, ortópteros, himenópteros, etc.) viven en la madera de los árboles y algunos en la madera apeada, de construcción o de ebanistería. La albura es la parte que tiene mayor propensión a ser atacada, por contener mayor cantidad de almidón, subs-

tancia que constituye el alimento principal de las larvas. Como especialmente nociva debe citarse la larva de la carcoma, que forma en el interior de vigas, muebles, etc., ramificadas coqueras, respetando la superficie (1). Contra el ataque de las larvas puede recurrirse a barnizar las maderas con carbolíneo, isol y antinonina.

Un temible enemigo de la madera empleada en construcciones marítimas es la *broma* (*Toredo navalis*), pequeño molusco que se incrusta en la superficie de los maderos, desde donde perfora profundas canales que cercenan su resistencia y conducen a su destrucción. Como remedios se indica la impregnación de las piezas con aceite de creosota o con *sotor* (también por el procedimiento Rüpíng), el relleno con sulfato de cobre de las canales inclinadas perforadas en los pilotes y su taponamiento, y, finalmente, el revestir la superficie de las maderas con clavos de hierro de cabeza ancha. En Alemania, donde la *broma* aparece en la costa del mar del Norte sin presentarse en las desembocaduras de los ríos, los medios indicados para detener la acción del parásito (especialmente el producto *sotor* y el procedimiento de claveteado) se han mostrado eficaces.

D. Breve reseña de las maderas más importantes en la construcción

1. Maderas resinosas

a) *Pino albar* o de *Balsain* (*Pinus sylvestris*), llamado en Cataluña *melis del Nord*. Excepcionalmente

(1) Para destruir las larvas en los muebles, lo mejor es impregnar las coqueras con ácido clorhídrico o barnizarlas repetidamente con agua de jabón y sal común. También pueden introducirse las piezas sueltas en un depósito cerrado y someterlas a la acción de vapor de bencina, procedimiento que, en todo caso, hay que practicar con precaución extrema por el peligro de incendios y explosiones.

llega a alcanzar hasta 50 m. de altura, con troncos de 1 m. de diámetro. La madera, muy resinosa, se caracteriza por la franca acusación de los anillos anuales, a causa del color rojo de la madera de verano. Muy adecuada para construcción y carpintería; de empleo general para entramados, aunque a causa de su excesiva elasticidad no se presta para vigas de gran luz y tampoco conviene para marcos de ventanas, por ser demasiado resinosa. Da buen resultado en obras hidráulicas y cimentaciones y para traviesas de ferrocarril. En estado seco los gusanos la atacan con facilidad.

Son variedades, las especies que se citan a continuación:

Pino resinoso o *pitch-pine* (P. resinosa), procedente del Canadá. Madera compacta, de elevado peso específico, resistente al desgaste y de crecimiento muy regular. Se emplea ventajosamente en el revestimiento interior de edificios (entaramados, escaleras, puertas, ventanas, etc.), así como para entarugados, traviesas, postes de líneas aéreas, etc.

Pino amarillo o *yellow-pine* (P. Strobus). Lo mismo que la madera anterior, se aplica con ventaja para entaramados, sobre todo si han de estar sometidos a un tráfico intenso. Como el pino resinoso, proporciona un buen sustituto de la madera de encina.

Pino del Oregón o *cochin-pine*. Madera uniforme, caracterizada especialmente por suministrar grandes escuadrías.

b) *Abeto del Norte* o *rojo* (Abies excelsa). Alcanza hasta 60 m. de altura, con diámetros de unos 2 m. El árbol vivo está expuesto a la pudrición seca. Da madera clara, blanquecina, blanda, fácil de hendir, poco permeable al agua (aun en la albura); resiste bien en seco o completamente cubierta de agua, pero no admite alternativas; madera de construcción de empleo general utilizada también en abanistería.

c) *Abeto común o pinabete* (*Abies pectinata*). Se presenta en muchas variedades. Alcanza alturas hasta 40 m. con diámetros hasta 2,5 m.; presenta análogas propiedades y posee las mismas aplicaciones generales que el anterior. Se encuentra en el Montseny, de donde reprobables talas van eliminándolo, y en los Pirineos.

d) *Alerce* (*Larix europea*). En tamaño y propiedades se aproxima al pino albar, con madera roja en el corazón y amarilla en la albura, de fibras apretadas, dura y tenaz, no atacable por los gusanos y de gran durabilidad (aun expuesto a regímenes variados, aproximándose a la encina). Madera de construcción excelente pero poco abundante, que ha dado los mejores resultados en las construcciones antiguas.

Como maderas de ebanistería y aun para trabajos de escultura o talla artística pueden citarse: cedro, ciprés y tejo. Esta última es extraordinariamente dura, fina, compacta, resistente y pesada, por lo que a menudo se utiliza para sustituir el ébano en la construcción de pianos, empuñaduras, etc.

2. Maderas no resinosas

a) *Roble*. Existen entre otras muchas dos variedades principales que, en conjunto, presentan propiedades semejantes: el roble pedunculado (albar, en Asturias), con hojas lisas, y pedúnculos cuya longitud no alcanza la semi anchura de la hoja (*Quercus pedunculata*) y el roble común (albar, en Santander), con hojas pilosas en su cara inferior, largos pedúnculos y madera algo más dura (*Q. sessiliflora*). Altura hasta 40 m. y diámetro hasta 3. La madera, de color pardo (algo más claro en el roble pedunculado), es muy dura, resistente, tenaz, densa, poco alterable y susceptible de ser labrada con facilidad, pero es cara, se resquebraja y es atacable por los gusanos. Se conserva bien en todas condiciones,

aun con alternativas de sequía y humedad. Las secciones al hilo presentan espejuelos de brillo claro. Es la más apreciada madera de construcción para obras hidráulicas, sumergidas o no, construcción de puentes, etc. Para las construcciones ordinarias (vigas, etc.) resulta demasiado cara y se reemplaza por maderas resinosas.

b) *Haya común* (*Fagus selvatica*). Hasta 30 m. de altura y 2 de diámetro. Da madera dura y pesada, de color pardo rojizo, que resiste mal las variaciones, está expuesta a la carcoma y se pudre (aparición de manchas amarillentas) y alabea fácilmente. Se conserva bien en seco o debajo del agua; se aplica en carpintería, tornería y ebanistería y, una vez impregnada, también para entablonado de puentes, traviesas, entarugados. Se usa asimismo en construcciones hidráulicas y marítimas, para las que es tan valiosa y resistente como el roble, pudiendo adquirirse a precio notablemente inferior.

c) *Aliso* (*Alnus glutinosa*). Alturas hasta 30 m. y diámetros hasta 65 cm. La madera rojiza se conserva muy bien dentro del agua, donde resiste casi tanto como el roble, pero no dura tanto en seco o expuesta a alternativas. Se utiliza para trabajos de cimentación y obras hidráulicas y, a causa del pulimento que puede adquirir y de su bella coloración rojo parda, se aplica en ebanistería para sustituir la caoba.

d) *Olmo o álamo negro* (*Ulmus campestris*). Alturas hasta 30 m. con 1 m. de diámetro. Madera compacta y tenaz, de largas fibras, con duramen pardo rojizo y albura amarillo clara, muy resistente, aun expuesta a alternativas. Por sus múltiples aplicaciones compite con el roble y es además apreciada madera de ebanistería por razón de su bello color. Ciertas variedades, con decorativas aguas, constituyen excelente madera para parquets.

e) *Ojaranzo* o *haya blanca* (*Capinus betulus*). Hasta 12 m. de altura, pero con excepcionales diámetros de más de 60 cm. Madera blanco amarillenta, muy compacta y de estructura uniforme, de notable dureza, tenaz, se contrae poco y no se resquebraja, pero su labra es difícil, particularmente cuando está seca. Se aplica para trabajos de torno y carretería, aunque poco en la construcción.

f) *Fresno* (*Fraginus excelsior*). Duramen pardusco y albura clara. Madera dura, tenaz, muy elástica y de buena labra; se aplica principalmente en carretería y ebanistería.

g) *Chopo* o *álamo blanco* (*Populus alba*). Madera blanca y blanda, empleada sobre todo en carpintería (entarimados, tablones, parquets, etc). El ramojo es excelente para enfajinados.

h) *Tilo* (*Tilia parvifolia*). Madera muy blanda que sólo se conserva en seco; como se alabea poco, sirve para asiento de parquets, tableros de dibujo, mesas, etcétera.

i) *Arce campestre* (*Acer campestre*). Semejante al tilo, poco abundante en España. Se utiliza para trabajos de escultura y ebanistería. Esta madera se labra y pule muy bien; es de color claro y a menudo con llamados y veteados.

j) *Abedul común* (*Betula verrucosa*). Madera de poca duración y de valor secundario en aplicaciones técnicas. Su corteza, semejante al corcho, es impermeable y puede utilizarse como apoyo aislante de las vigas en los muros. Se destina de ordinario a combustible.

k) *Sauce* (*Salix viminalis*). Para fines constructivos se utilizan en primer término verdascas y ramojos en enfajinados y zarzos. Como esta madera se hincha mucho, las cuñas secas sirven para hendir o quebrantar grandes bloques de piedra o descuajarlos de los macizos rocosos.

b) *Falsa acacia* (*Robinia pseudoacacia*). Madera fina, de hermoso color, muy duradera y tenaz. Excelente para carpintería, pero poco empleada en construcción, generalmente en obras hidráulicas y fundaciones. Como, aun en terrenos áridos, estos árboles se desarrollan muy aprisa y sus raíces se extienden notablemente, se emplean para plantaciones de consolidación, en diques de arena, dunas, etc. y en vallados.

m) *Castaño* (*Castanea vulgaris*). La madera blanco amarillenta, con aguas azules agrisadas, es blanda y esponjosa, hallando aplicación en trabajos de carpintería y escultura.

n) *Plátano* (*Platanus orientalis*). La madera, parecida a la del abedul, se emplea casi exclusivamente en carpintería.

ñ) *Arboles frutales*. La generalidad de estas maderas se destinan a trabajos de ebanistería :

α) *Nogal* (*Juglans regia*). Albura blanco agrisada, duramen rojo amarillento a pardo negruzco. Madera resistente, compacta, de fibra corta, caracterizada por su pulimentabilidad. Pertenece a las maderas finas más apreciadas para fabricar muebles y halla adecuado empleo en artesonados y arrimaderos.

β) *Cerezo* (*Cerasus nigra*) y *ciruelo* (*Prunus domestica*). Excelentes maderas para moblistería, de color amarillo, claro o rojizo, respectivamente.

γ) *Peral* (*Pyrus communis*). Por su textura muy uniforme se utiliza para tallas, moldes, modelos, etc.

ο) *Maderas exóticas*. Exceptuando las maderas duras de Australia, la generalidad se emplean casi exclusivamente para trabajos de ebanistería artística. A continuación se mencionan algunas de estas clases finas :

El *sándalo amarillo* (madera de ámbar), con vetas rojas; el *sándalo rojo*, con duramen rojo amarillento y albura rojo oscura; el *palo campeche*, de color sangui-

neo a negruzco (las dos últimas clases empleadas como palos tintóreos); el *ébano*, de madera compacta, negra y dura, cuyos anillos anuales no se distinguen (preciosa para trabajos de tornería y ebanistería artística, empuñaduras, pianos, taraceados, etc.); el *palo santo*, pardo verdoso con fajas negras, muy duro, empleado para cojinetes, mangos, rodillos, martillos, etc.; la *jacaranda* o *palisandro*, a menudo parda, roja y negra, preciosa madera para muebles; la *caoba*, de color amarillo rojizo cuando verde, que pasa a rojo oscuro por pulimentación, una de las maderas más estimadas para ebanistería, en sus múltiples variedades; la *teca* (madera de un roble índico), de color pardo, claro oscuro, excelente sustituto del roble, inatacable y muy duradera; la madera llamada *hickory*, de una especie de nogal americano, excelente para carretería, ebanistería y fabricación de herramientas, y, finalmente, los *eucaliptus* exóticos y clases parecidas, que no conviene confundir con los eucaliptus aclimatados en nuestro país, de importancia secundaria, cuya madera se usa sólo para postes, entibaciones, y, algunas clases, para traviesas y vigas. Las especies procedentes de Australia e islas oceánicas, son sumamente duras, poco desgastables, libres de nudos, no rajables, elásticas, durables en cualquier situación y de hermoso pulimento, se utilizan en ebanistería y carpintería para parquets, escaleras, etc., y hallan empleos técnicos en entarugados, traviesas, etc. Como clases más conocidas pueden citarse: *Karri*, *Jarra*, *Tallow* y *Moa*. Los datos siguientes permiten apreciar la superioridad mecánica de estas maderas, sobre el roble común, por ejemplo:

	Resistencia a la compresión	Desgaste por frotamiento
Roble	500 kg./cm. ²	6,9 cm. ³
Moa	950 "	1,2 "
Tallow	860 "	2,9 "

E. Labra de la madera de construcción y formas comerciales

La buena madera de construcción debe ser seca, de tronco sano, sin fibras reviradas, libre de pudriciones y partes deleznable, y poco nudosa; además, debe dar sonido claro, no tener resquebrajaduras ni manchas y presentar anillos anuales de aproximada regularidad (la alternativa de anillos anchos y estrechos es un carácter desfavorable). Conviene tener en cuenta en este punto que la relativa independencia de los árboles y su crecimiento en terreno duro y seco ejercen una influencia propicia en la resistencia y durabilidad de la madera.

El *trabajo de la madera* se realiza primero groseramente, con auxilio del hacha o la *azucla*, descortezándola tan sólo (madera rolliza o en rollo) o bien con cantos desbastados (escuadrada en bruto). Cuando la labra por las cuatro caras es más perfecta se dice *madera de hilo*. La ulterior división por secciones planas se efectúa a brazo o mecánicamente con auxilio de sierras (*madera de sierra*) de bastidor (vertical u horizontal, según la dirección del corte), de cinta o bien circulares. Para la labra de rebajos, ranuras, espigas, etc., se emplean *punteros* y *escoplos* (formón, gubia, escoplo de carretero, pie de cabra, etc.), los primeros conducidos con la presión de la mano y los segundos golpeando su cabeza con el martillo o la maza de madera. En la labra mecánica de molduras, canales, machihembrados, etc., se emplean fresadoras o máquinas *toupie* con herramientas de forma especial. El acepillado mecánico se realiza con auxilio de las llamadas *máquinas de regruesar* y otras clases de acepilladoras, utilizándose además taladradoras, máquinas de reproducir (que copian exactamente un modelo por medio de una transmisión de

palancas que obra sobre la cuchilla), de endentar ensamblables, de machihembrar, tornos, raspadoras, etc.

El color, las aguas y el brillo de la madera se realzan sobre todo con la *pulimentación*. Para ello se hace uso de sustancias resinosas, disueltas en alcohol, por ejemplo, que se extienden a capas ligeras, y con cuyo auxilio se logra un abrillantado especular. La pulimentación, que se hace preceder de un frotado con polvo de piedra pómez, hasta completa lisura, se efectúa con una pelota de lana envuelta en un trapo de hilo, a través de cuyos poros pasan los polvos de bruñir. El pegamiento de esta *muñeca* durante el frotamiento se evita empapándola a menudo con aceite de linaza. Para pulimentar con brillo se adopta por lo común una solución de una parte de goma laca en 7 a 8 de alcohol, con pequeña adición de almáciga, para aumentar la dureza de la capa, mientras que la pulimentación mate se alcanza con 10 partes de cera, 4 a 7 de aceite de trementina y 2 de alcohol.

Para *restaurar* una pulimentación deslucida o mate sirve una solución de 2 partes de ácido esteárico y 3 de aceite de trementina, que se frota sobre la superficie con trozos de seda.

Maderas de construcción. La madera de construcción se encuentra en el comercio sin labrar, en forma de rollos, postes o trozas, de troncos descortezados, y escuadrada. La madera de las vigas escuadradas con el hacha, con cantos más o menos redondeados, se designa comercialmente con el nombre de madera de hilo, llamándose de sierra la que, escuadrada con este instrumento presenta aristas vivas o llenas. Las vigas procedentes de un tronco completo se llaman enterizas, existiendo también vigas de media sección y de un cuarto. La sección más favorable a la resistencia de las vigas (momento flexor máximo) corresponde a la siguiente relación entre el lado l y la altura a :

$$l : a = 1 : \sqrt{2}, \quad \text{o sea} \quad l \cong 0,7 a.$$

Marco de Castilla o de Cuenca

Nombres de las piezas	Dimensiones en metros			Volumen en metros cúbicos
	Largo	Tabla	Canto	
Madera de hilo				
Media vara doble	3,34	0,575	0,418	0,755
	a 8,57			1,870
Media vara sencilla	3,34	0,418	0,279	0,390
	a 8,57			1,000
Pie y cuarto doble.....	3,34	0,505	0,348	0,590
	a 8,57			1,500
Pie y cuarto sencillo	3,34	0,348	0,244	0,283
	a 8,57			0,730
Tercia	3,34	0,279	0,209	0,192
	a 8,57			0,500
Genua	6,97	0,226	0,157	0,247
Vigueta	6,13	0,226	0,157	0,218
Media vigueta	3,34	0,226	0,157	0,118
Madero de seis	5,02	0,174	0,139	0,116
Medio madero de seis	2,79	0,174	0,139	0,068
Madero de ocho	4,46	0,139	0,104	0,064
		y 0,157		0,072
Madero de diez	3,90	0,211	0,087	0,071
		y 0,139		
Machones	1,67	0,418	0,418	0,290
	a 4,18			0,713
Troza de tercia	1,99	0,279	0,209	0,116
	y 2,51			0,144
Troza de ripia	1,95	0,209	0,209	0,875
Madera de sierra				Docena
Alfarjías del machón o troza	1,67	0,139	0,104	0,288
	a 4,18			0,732
Media alfarjía del machón o troza	1,95	0,104	0,070	0,173
	y 2,51			0,216
Terciados del machón o troza	1,95	0,104	0,052	0,127
Portadas	2,51	0,418	0,052	0,640
Portadillas	2,51	0,348	0,052	0,540
Tablas de gordo	1,95	0,279	0,033	0,218
	a 2,51			0,276
Tablas de pulgada	1,95	0,279	0,026	0,172
	a 3,34			0,288
Camera	1,95	0,244	0,026	0,152
Tableta	1,95	0,279	0,017	0,072
	a 2,51			0,092
Hoja	1,95	0,279	0,013	0,072
	a 2,51			0,096
Ripia	1,95	0,209	0,013	0,065
	a 3,34			0,109

Maderas de hilo y de sierra. El conjunto de las dimensiones normales, más o menos fijas, que presentan las maderas comerciales en cada región constituyen en España los llamados *marcos*. Cada marco o sistema de unidades define cierta serie de piezas por su longitud (largo), ancho (tabla) y grueso (canto.) Variando el marco entre límites extensísimos al pasar de una a otra región y aun de una localidad a otra, se indica sólo, como más difundido, el marco castellano (pág. 184).

Maderas extranjeras. También varían notablemente de unos países a otros las dimensiones normales de las maderas cortadas. A título de ejemplo, se transcriben a continuación los tipos normales de Alemania, establecidos en 1898, por la Asociación alemana de Maestros de Obras (*Verband deutscher Baugewerkmeister*):

α) *Maderas de hilo* (trozas, machones, quiciales, puentes, árboles, etc.).

Canto en cm...	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Tabla en cm...	8	10	12	14	16	18	20	28	24	25	28
		10	12	14	16	18	20	22	26	28	30
			14	16	18	20	22	24	30		
					20	22	24	26			

β) *Madera de sierra* (para tablas, tablones, planchas, vigas, cuarterones, cuartizos, barras, ripias, costeros, etc.).

Longitudes : 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 7,0 y 8,0 m.

Espesores : 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0, 9,0, 10,0, 12,0 y 15,0.

En la practica se encuentran también difundidas las siguientes designaciones y medidas :

Enterizas (13/18, 16/18 y 16/21 cm. o bien 5/6, 6/7 y 7/8 pulgadas); cuarterones o cuartas (8/8, 8/10, 10/10, 12/12, 10/13, 13/13 y 13/16); medias (8/16, 10/16, 8/18, 8/20 y 10/20); virotillos (12/12, 12/14, 14/14 y 14/16); alfarjías (10/12, 12/12, 12/14, 12/16 y 16/18); jabal-

cones (12/16, 14/16, 16/18, 18/18 y 20/20); pies derechos principales (12/12, 14/14, 16/16, 18/18 y 20/20); pies derechos secundarios (10/12, 12/14, 12/16, 14/16 y 16/18); carreras (12/14, 12/16, 14/16, 16/18 y 16/20); vigas enterizas (16/24, 18/20, 18/21 y 18/22); durmientes (9/20, 9/22, 9/24, 10/24, 10/26 y 11/26); jácenas (20/20, 22/26, 22/28, 24/30 y 26/30); correas (10/12, 12/16, 14/16, 16/18 y 18/20); cabios (10/12, 12/14, 12/16, 14/18 y 14/20.

Las longitudes de tablones y maderos oscilan de ordinario entre 5 y 7 m., aumentando por decímetros pares; son usuales largos de 5,2, 5,4, 5,6, 6,2 y 6,4 m.

Bajo el nombre de *tablones* se distinguen maderas de sierra de 5 a 10 cm. de espesor, designándose, según su situación en el árbol, con los nombres de copa o de tronco; los últimos son los mejores. Los tablones destinados a formar tableros de puente son generalmente de roble y de haya; los primeros se recomiendan cuando hay poco tránsito (pues sólo en este caso puede sacarse partido de su larga duración), y los segundos, en caso de tráfico intenso (ya que así su desgaste corre parejas con su destrucción por los agentes meteóricos).

Las *tablas* tienen de 1,5 a 4,5 cm. de canto; los tableros, de 2,0 a 2,5 cm. La escuadría de las latas varía entre $7/3$ y $5/2$ cm.

Entre las *maderas de raja* (obtenidas hendiendo los troncos con cuñas o con el hacha), se utilizan en construcción chillas y tabletas para tejar, de empleo raro en nuestro país. En Alemania se emplean chillas de 40 a 60 cm. de longitud, según el intervalo de las latas, con gruesos entre 4 y 6 cm. y anchuras variables, en concordancia con el espesor. Triple recubrimiento. También se recurre al machihembrado lateral.

Maderas del Norte (Flandes). La unidad comercial es la llamada *docena regular*, integrada por 12 tablones normales. Los *tablones regulares* tienen escuadría de

3/9 pulgadas, con 14 pies ingleses de longitud. Una docena regular equivale a 168 pies. El *standard*, unidad superior, vale 5/21 docenas regulares.

Los *precios* de las maderas varían notablemente, sobre todo en función de los gastos de transporte y la naturaleza del acarreo, así como de la longitud de los maderos. Los precios de la madera de abeto (que oscilan entre 125 y 150 ptas.) acostumbran a ser 10 a 20 % menores que los del pino, los cuales, a su vez, vienen a ser la mitad de los del roble.

Exceptuando las calidades Flandes, abeto y melis, en la práctica de la construcción todas las demás se designan con el nombre de *maderas finas* y su unidad comercial es el metro cúbico.

Entre las maderas para aplicaciones especiales convendrá citar:

Traviesas de ferrocarril. Las dimensiones más corrientes en España son las siguientes: 2,80 m. de longitud por 25/14 a 26/15 cm. en las traviesas escuadradas, de primera clase (M. Z. A.); 2,75 m. por 22/14 a 23/14 centímetros en las de segunda y 2,75 m. por 22/13 cm. en las de tercera. Las traviesas para ferrocarriles económicos (vía de 1 m.) tienen de 1,60 a 1,80 m. de largo, por 15 a 20 cm. de tabla y 10 a 12 cm. de canto.

Tablones de puente. Roble o haya y, raramente, pino o pinabete.

Tarugos. En cada tramo de calle se emplearán sólo tarugos de igual calidad y naturaleza. Clases de madera: Pino, pinabete, haya, pitch-pine, yellow-pine y las clases australianas citadas en la página 181, creosotadas (conviene para la impermeabilidad de los pavimentos) o tratadas con cloruro de zinc. Dimensiones: Son muy variadas, pues se emplean anchos de 7 a 10 cm., alturas de 12 a 18 cm. y largos de 18 a 30 cm. Los tarugos se colocan sobre un subsuelo de hormigón, impermeable y convenientemente aplanado, que se cubre

primero con un estrato de alquitrán caliente o de asfalto y las juntas, de 5 mm. de ancho, se toman con alquitrán, asfalto o mortero de cemento de 1 : 2. Para precisar la regularidad de las juntas, en los Estados Unidos es corriente separar las hiladas de tarugos con pequeños listones colocados en el fondo.

Postes para conducciones aéreas. Comúnmente, madera de pino, con 4 a 6,5 m. de longitud y 10 a 12 cm. de diámetro en la cogolla. Las dimensiones reglamentarias de los postes de pino, señaladas por la Dirección General de Correos y Telégrafos de España, son las siguientes :

Longitud.....	7	8	9	10	12	14	m.
Diámetro en la cogolla.	10,2	11,4	12,1	12,1	14	14	cm.
Diámetro en la coz ...	16,5	18,1	19,1	19,7	22,3	22,3	cm.

Ramojo para enfajinados. Se recomienda la madera de sauce o de álamo, de 5 cm. de diámetro máximo. Si han de estar siempre cubiertos de agua puede usarse también madera resinosa.

Postes para cercados ordinarios. Rollos de pinabete de 1,5 a 2,5 m. de longitud por 12 a 14 cm. de diámetro.

F. Ensayo técnico de la madera de construcción

En primer término se ensayan las condiciones mecánicas de la madera, luego se determina su densidad relativa y por último se examinan los procesos de contracción e hinchamiento. Por lo regular, el ensayo mecánico se efectúa sobre madera secada al aire. La *resistencia a la compresión* se determina con probetas cúbicas, procurando que su diagonal coincida con un diámetro del tronco, siempre que se trate de conocer la resistencia media de éste. Cuando duramen y albura presentan propiedades distintas, se ensayan separadamente con auxilio de pequeñas probetas, en forma de

dato, las cuales se cortan de modo que dos lados de las superficies comprimidas sean, en lo posible, tangenciales a los anillos anuales.

Para determinar el *módulo de elasticidad* se utilizan prismas de sección cuadrada, de altura tres veces mayor que el lado de la sección. Las deformaciones elásticas se miden sólo en el tercio medio, con objeto de eliminar las influencias perjudiciales, de naturaleza local, que se presentan en los extremos de los prismas a causa de la fuerza de adherencia y de la blandura del material leñoso.

Para determinar la *resistencia a la flexión* se emplean barras prismáticas, de sección cuadrada; en el ensayo se procura que la intersección del plano de las fuerzas con la sección transversal coincida con la dirección de la tangente a los anillos anuales, para evitar el desgarramiento gradual de las capas y con ello el falseamiento de la prueba. La barra se coloca apoyada sobre dos rodillos y se somete a la acción de una carga concentrada en el punto medio, hasta llegar a la ruptura; la fatiga específica o coeficiente de ruptura se calcula por la teoría de Navier, es decir, bajo la hipótesis de que las secciones planas antes de la carga permanecen planas después de la deformación y de que el módulo de elasticidad es constante. El *ensayo a la cortadura* o cizallamiento se efectúa en pequeñas probetas, empotradas por una cara, y con dos cortes: uno radial y otro tangencial a los anillos anuales; para eliminar en lo posible los efectos de flexión, aceleradores de la ruptura, el ancho de las cuchillas no excederá de 1 cm. En el *ensayo a la tracción* se utilizan barras prismáticas de sección cuadrada y cabezas reforzadas, y la prueba se conduce cuidando que, en la medida posible, la dirección del esfuerzo coincida con la de las fibras. Sólo en contados casos se ejecutan ensayos de tracción con probetas cortadas transversalmente. Es también importante el

ensayo de la dureza de las maderas, es decir, la determinación de su resistencia a las presiones perpendiculares a las fibras, proceso que en muchos casos constructivos desempeña un papel de especial significación. En la práctica, los ensayos correspondientes a este caso se realizan sometiendo una probeta, larga o cuadrada, a la acción de una estampa, que obra de arriba abajo, determinándose el límite de presión de las deformaciones elásticas y luego la presión necesaria para producir una deformación permanente o llegar a la destrucción del material. Para investigaciones de carácter más científico se ha propuesto recurrir también aquí al ensayo con la bola de Brinell (1).

En el *ensayo del comportamiento de la madera con la humedad* se trata de investigar (de modo análogo a la investigación de los coeficientes de resistencia normales), la reducción que experimenta la resistencia de la madera al absorber agua y luego sus fenómenos de contracción e hinchamiento. Los coeficientes relativos a estos últimos se obtienen por mediciones lineales, bien sobre la longitud de los cantos de barras prismáticas previamente medidas con exactitud, bien sobre la distancia entre dos trazos determinados, forma preferible.

La determinación de la *densidad relativa* (o peso específico del material sin deducir los poros naturales), importante por el hecho de que, a igualdad de resistencia mecánica y con maderas de igual naturaleza, el material más ligero es preferible al más pesado, se realiza estereométricamente o bien recurriendo al método de inmersión, en que se mide el volumen de agua des-

(1) Hay que citar en este punto los experimentos de JANKA (JANKA, *Die Härte des Holzes*, Viena, 1915), que han permitido establecer la siguiente ley:

$$D = 2\sigma - 500,$$

siendo D la dureza y σ el coeficiente o carga de ruptura por compresión.

alojado. En este caso convendrá practicar el ensayo con rapidez, a fin de que la probeta no pueda absorber agua, o barnizar convenientemente sus superficies.

Hasta el presente no ha sido posible idear un procedimiento práctico y exento de crítica para investigar la mayor o menor tendencia de la madera a la pudrición. Se ha propuesto «vacunar» la madera, por así decir, con hongos destructores, enterrarla en terrenos distintos, parcialmente infectados, etc. Como todos estos ensayos, así como el comportamiento de la madera en los puntos de empleo constructivo, dependen siempre de las condiciones locales, no cabe esperar que tales investigaciones conduzcan a normas oficiales y, aunque éstas llegaran a establecerse, no es probable que en la práctica se generalizaran.

4. Metales empleados en la construcción

A. Hierro

1. Mineralés y fundentes

Todo el hierro empleado en la técnica constructiva se obtiene, mediante procesos de fusión, del beneficio de *minerales ferriíferos*. Los más importantes entre éstos son los que se citan a continuación :

Oxido magnético. Es el óxido ferrososférico ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4$) uno de los minerales más difundidos. A menudo contiene más del 60 % de hierro, siendo de ordinario reducido el contenido de Si y de P. Su coloración varía del negro pardusco al negro verdoso, con franco brillo metálico. Los yacimientos más importantes se hallan en el norte de Checoslovaquia (Bohemia), Noruega (Arendal), norte de Suecia (Grängersberg, Dannemora, Gellivara), Rusia (Urales), Canadá y Estados Unidos. Se encuentra también en distintas regiones de Alemania (Turingia, Harz, Erzgebirge y Silesia), y en España (Barcelona, Málaga, Asturias, Madrid, etc.).

Hematites roja. Oxido férrico anhidro (Fe_2O_3), de color rojo de sangre, más o menos oscuro (de cuya particularidad deriva su nombre), conteniendo raramente más del 60 % de Fe. Se presenta en forma cristalina, compacta o terrosa. *Variedades:* La cristalizada gris con brillo metálico, la nodular, la de interior fibroso y la oolítica, que es la más importante y extendida. En

la ganga se encuentra a menudo cuarzo, caliza, apatito y a veces pirita. *Yacimientos*: Los del norte de España son famosos por su exiguo contenido de fósforo, siendo los de Somorrostro (Vizcaya) los más importantes, aunque existen notables criaderos en muchas otras provincias. Existen también en el norte de Africa, Bélgica, Luxemburgo, Alsacia, Alemania (demarcaciones del Sieg, Dill y Lahn), Inglaterra, Isla de Elba y Estados Unidos (la región minera del Lago Superior es la más importante para la siderurgia norteamericana).

Hematites parda. Peróxido de hierro hidratado ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$), ordinariamente muy fosforado, cuya riqueza, en general, no excede del 45 %. *Yacimientos*: Se encuentran en España, Alpes austríacos, Luxemburgo, Lorena, Alta Silesia, Siegerland, norte de Africa, Estados Unidos, etc. *Variedades*: *Mena de los pantanos*, mineral compacto o térreo, muy fosforado, procedente de Lorena, Luxemburgo, Francia (Brié) y Bélgica. La hematites parda se beneficia casi siempre por el procedimiento Thomas. Color pardo rojizo. La *limonita*, que se forma constantemente por precipitación de aguas ferruginosas, pertenece a este grupo de minerales. Se encuentra en estratos someros, cuya potencia o espesor no pasa por lo regular de 0,5 m., sobre todo en las llanuras bajas del norte de Alemania. En los criaderos de las Provincias Vascongadas el mineral de limonita se conoce con el nombre de *rubio* y se presenta mezclado con hematites rojas (*vena* y *campanil*).

Siderosa. Hierro espático u óxido de hierro carbonatado (CO_3Fe), conteniendo casi siempre menos del 40 % de Fe. Este estimado mineral se encuentra en España (Vizcaya, Logroño, Granada), Francia, Cárpatos, Siegerland, Estiria, etc. Es de color pardo amarillento, con raya amarillo claro. *Variedades*: Hierro arcilloso (*esferosiderita*), mezclado con arcilla; se encuentra en Inglaterra, Francia, Alemania, etc. Hierro de las hu-

lleras (*blackband*), mineral de color negro mate, mezclado con carbón; se encuentra en Inglaterra, Escocia, Westfalia y Renania.

Por lo general, los minerales se entregan a los altos hornos en la misma forma que salen de las minas, sólo algunas veces se trituran, o se eliminan los trozos más pobres y, cuando contienen azufre en cantidad notable, se someten a una *tostación*. Terminado este tratamiento, en algunas explotaciones se procede a almacenar los minerales después de mezclarlos con los fundentes, operación que, por lo regular, no se efectúa hasta el momento de cargar los altos hornos. La adición de fundentes tiene por objeto formar con las gangas de los minerales y las cenizas de los combustibles, compuestos fácilmente fusibles conocidos con el nombre genérico de *escorias*. Son raros los minerales cuyas gangas, sin añadir fundentes, formen escorias adecuadas.

Entre los fundentes más empleados, hay que citar los siguientes:

Fundentes calizos (y magnésicos), que se adoptan cuando los minerales contienen sílice o arcilla en exceso. Se usa la piedra calcárea lo más pura posible (*castina*) o los minerales ferrosos con ganga caliza, cuyo hierro se aprovecha al mismo tiempo.

Fundentes siliciosos (o arcillosos), cuando los minerales son muy ricos en cal o magnesia. Sirven para este objeto, la arcilla, la pizarra arcillosa, las areniscas y también escorias y minerales de composición adecuada.

Escorias de alto horno, procedentes de la misma explotación, cuando por ser los minerales muy ricos es de temer la marcha demasiado «seca» del alto horno.

Fundentes manganésiferos (y otros), destinados a modificar (reducir) el punto de fusión de las escorias. La misma finalidad puede alcanzarse también proporcionando adecuadamente la cantidad de castina, arcilla y sílice.

Fundentes destinados a comunicar al hierro propiedades determinadas (escorias, minerales de manganeso, fosfatos, etc.).

A la mezcla de minerales y fundentes se agrega finalmente el combustible para formar la *carga* de los altos hornos. El combustible más generalizado es el coque metalúrgico.

2. Las distintas clases de hierro y su obtención

El hierro empleado en la construcción puede clasificarse en dos grupos principales : a) *fundición* y b) *hierro maleable* (1).

Fundición. Con los nombres de fundición, arrabio, hierro de primera fusión y lingote de hierro, se designa el producto obtenido directamente en el proceso de los altos hornos ; contiene más del 2 % de carbono, funde a temperaturas relativamente bajas (1075 a 1275° C.), es frágil, no es forjable y es fácilmente fusible. Según su color, se distinguen dos clases de hierro colado : a) *fundición gris* y b) *fundición blanca*. Durante el enfriamiento de la clase primeramente citada, una parte mayor o menor del carbono se separan en forma de grafito, por lo que la fractura varía del gris al negro ; en la fundición blanca, por el contrario, el carbono permanece disuelto en el hierro, en forma de « carbono de temple », apareciendo la fractura de aspecto blanquecino. La fundición gris es más siliciosa y dulce que la fundición blanca y menos dura que ésta, fundiéndose también con mayor facilidad. La fundición blanca — siempre con un contenido mayor o menor de manganeso — es muy dura y agria y, a causa de la poca fluidez que alcanza una vez fundida, no se presta para el

(1) Conviene no confundir los conceptos *hierro maleable* y *fundición maleable*, como viciosamente hacen algunos prácticos.

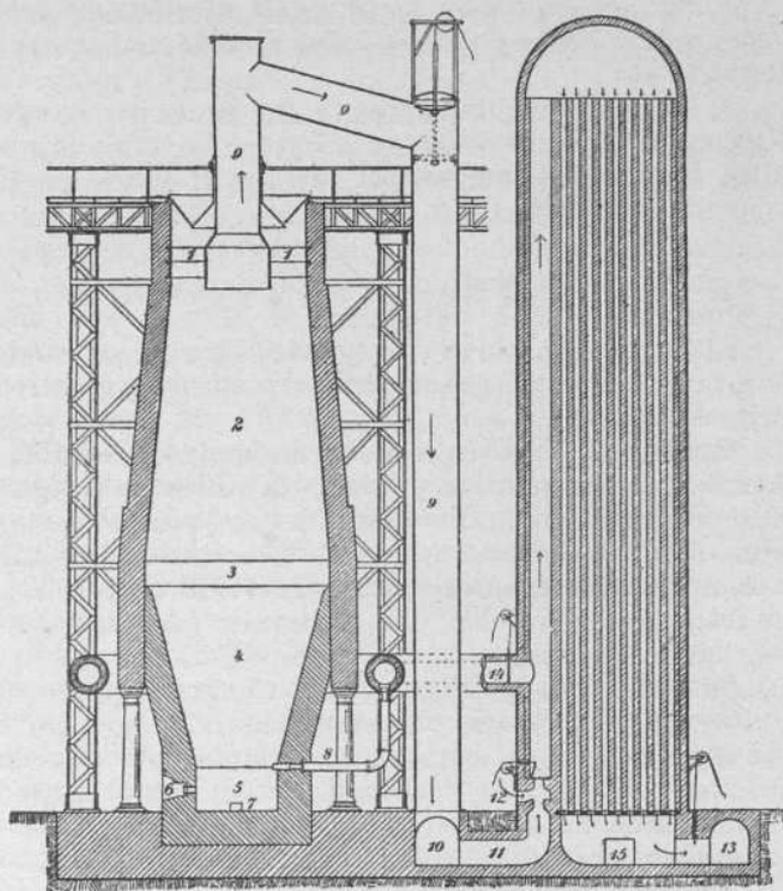


FIG. 44. Alto horno con estufa Cowper

moldeo; se produce para transformarla en aceros y hierros dulces.

La llamada *fundición atruchada* representa un estado intermedio entre las dos clases citadas; en su fractura se ponen de manifiesto al mismo tiempo el grafito y la masa blanca.

Por el aspecto de la fractura, se hacen otras divisiones. Así, por ejemplo, entre las fundiciones blancas se distingue la variedad mate (no cristalina), la radiolar, y el hierro especular, llamado vulgarmente *spiegeleisen*. Entre las fundiciones grises se distinguen la variedad clara, de grano fino con escamas de grafito muy pequeñas, y la variedad gris oscura, de gruesos cristales. Atendiendo al combustible empleado en los altos hornos se distinguen: la fundición al carbón vegetal, la fundición al coque y la fundición a la hulla. Según su empleo ulterior, se clasifica la fundición en: lingote de moldeo, lingote Bessemer, lingote Thomas, lingote de pudelado, etcétera.

Con el nombre de *fundición de segunda fusión*, o simplemente *hierro colado*, se designa de ordinario la fundición gris — excepcionalmente también la atruchada — que se emplea en la fabricación de objetos moldeados. Esta clase de material, junto a la resistencia necesaria, posee las propiedades de ser fácilmente fusible, de dilatarse en el acto de la solidificación rellenando de esta forma los más delicados contornos del molde, y de presentar una dureza moderada que lo hace propio para el trabajo de las herramientas.

Para la construcción, donde se exige al hierro elevada resistencia, debe emplearse tan sólo el lingote de moldeo con poco fósforo (lingote hematites con 0,1 % de fósforo, como máximo). Cuanto más fósforo contiene el hierro tanto más frágil resulta, siendo más blando cuanto menos fosforoso es. La temperatura de fusión aumenta al disminuir la proporción de carbono.

El lingote se obtiene con el auxilio del *alto horno* (figura 44), especie de horno de cuba de considerables dimensiones; los hay hasta de 30 m. de altura, aunque generalmente son bastante menores. Sus elementos principales son: la boca, tragante o cargadero 1, la cuba 2, el vientre 3, el etalaje 4, y el crisol 5. La alimen-

tación de los hornos se realiza por medio de montacargas verticales o inclinados (generalizándose últimamente el empleo de estos últimos), que echan las cargas en el tragante, cerrado con una doble tolva movible (*cup and cone*, de los ingleses). La tolva central, a modo de embudo invertido, se halla atravesada por el tubo 9 de escape de los gases. Los hornos se alimentan con aire intensamente caldeado, que proporcionan los llamados regeneradores o estufas «Cowper» (2 a 4 por horno), cuyo calentamiento se realiza aprovechando el calor de los gases del tragante, constituidos principalmente por CO_2 , CO y SO_2 . Saliendo del alto horno pasan éstos por el tubo 9, atraviesan una torre rectangular donde con una lechada de cal se purgan de carbónico y de productos destilados, y penetran en el *regenerador* (fig. 44). Los regeneradores consisten en torres cilíndricas, de ladrillo refractario, en las que se encienden los gases del tragante y calientan hasta el rojo el material que rellena las estufas. Cuando llega este momento se dirigen los gases del tragante a otro regenerador, mientras se impulsa a través del primero —en sentido contrario— aire atmosférico que se calienta fuertemente y, a través de una canal circular que envuelve el horno, situada al nivel medio de los etalajes, penetra en su interior a presión a través de las toberas 8 terminadas en sendos bocines.

En los etalajes, al aire quema el carbono del coque, dando anhídrido carbónico (CO_2) que al ascender hacia las capas incandescentes superiores se transforma en CO y reduce los óxidos minerales, apoderándose de su oxígeno, para transformarse de nuevo en CO_2 . Inicialmente se forma hierro reducido, esponjoso y puro. Simultáneamente con la reducción que experimenta el CO se produce otro proceso químico, en el cual dos moléculas de este compuesto se transforman en $\text{C} + \text{CO}_2$. El carbono puesto en libertad se deposita, finamente di-

vidido, sobre el hierro incandescente y es lentamente absorbido por éste. Con esto se forma una aleación hierro-carbono cuyo punto de fusión se halla situado a temperatura considerablemente más baja que la de hierro puro, la cual gotea hacia las capas inferiores. Este proceso, propiamente de fusión, acompañado de la formación de escorias se prosigue hacia la parte inferior del etalaje y hasta la región superior de la obra (*zona de fusión*). Las gotas de hierro, que se van derramando a una temperatura de unos 1200° C., se encuentran constantemente envueltas por las escorias, aunque francamente separadas de éstas, y pasan a acumularse al fondo del cristal. El caldo del alto horno queda protegido de la ulterior oxidación del viento de las toberas por la capa de escorias más ligeras que flotan sobre el metal líquido.

En la parte superior de la cuba, las cargas frescas introducidas experimentan un precaldeo hasta 180 a 300° C. (a expensas del calor de los gases ascensionales) con lo que se vaporiza el agua contenida. El *proceso de reducción* propiamente dicho se realiza en el vientre o parte central de la cuba, en el etalaje y en la región superior de la obra. El caldo obtenido se sangra de vez en cuando (cada 4 a 6 horas), por la *piquera* 7, vertiéndose en pequeñas regueras de arena dispuestas a modo de peine en una era o plataforma inmediata al alto horno, donde el hierro se solidifica formando largas barras de las que se obtienen los lingotes. Las escorias a su vez, y tan pronto como alcanzan el nivel del rebo-sadero 6, llamado *bigotera*, se van derramando ininterrumpidamente, para solidificarse, ya formando bloques, en vagonetas de transporte, o ya en forma granular, si se vierten en agua fría; algunas veces se transforman también en la llamada *lana de escorias*, por la acción de un chorro de vapor. Su composición, como se comprende, va íntimamente ligada con la naturaleza del

mineral tratado; pueden ser ricas en sílice y arcilla (*escorias ácidas*) o contener elevada proporción de cal y magnesio (*escorias básicas*). Las escorias ácidas, se solidifican por lo regular con mayor lentitud, pasando por un estado pastoso; las básicas, por el contrario, experimentan una solidificación brusca. Las escorias normales son de color gris, azulado o azul verdoso; las que contienen mucho manganeso son de verde oliváceo; cuando contienen gran cantidad de protóxido de hierro (lo que conviene evitar) su coloración varía del verde oscuro hasta el negro.

Cuando el *hierro colado* se destina al moldeo de piezas (en cuyo caso, como ya se ha dicho, se adopta casi siempre la fundición gris y raramente la fundición atruchada), conviene someterlo a una segunda fusión para alcanzar mayor pureza y uniformidad. Este proceso se realiza en los llamados *cubilotos*, consistentes en hornos de cuba, a modo de cilindros de palastro, roblonados, revestidos interiormente con material refractario. Cargados con lingotes, combustible y cierta cantidad de castina, permiten obtener con facilidad, mediante el auxilio de un ventilador, hierro líquido de gran fluidez y pureza, el cual se transporta directamente a las salas de colada valiéndose de vagones-calderos, calderos, cucharas, etc.

El *lingote* constituye la primera materia para la elaboración de las dos clases principales de *hierro maleable* caracterizadas por su contenido de carbono: a) *hierro dulce* y b) *acero*. La proporción de carbono del primero es muy reducida: del 0,04 hasta el 0,06 %, como máximo, mientras que el acero contiene de 0,06 a 1,6 % de carbono. Los hierros y aceros se dividen ambos en dos grandes grupos, según que se obtengan en estado sólido o bien en estado líquido. Los hierros y aceros del primer grupo se conocen con los nombres

de *soldados*, *batidos* o *forjados*; los del segundo, con los nombres de hierros y aceros *de fusión* u *homogéneos*.

El *hierro dulce* es forjable, soldable y fusible (a 1500° o más), pero su tenacidad es limitada. El *acero* posee una dureza mucho mayor, sobre todo cuando por su brusco enfriamiento (*temple*) se rebasa la temperatura crítica a partir de la cual, con enfriamiento lento y moderado contenido de carbono, se originaría la formación de carburo de hierro (*cementita*). Con el temple, la cantidad total de carbono queda íntimamente mezclada con la masa de la aleación, por lo que se conoce con los nombres de «carbono de temple» o «carbono disuelto». Si el acero templado se caldea de nuevo y se deja enfriar lentamente (*recocido*), el carbono disuelto se combina con el metal para formar cementita y la dureza se reduce en proporción con la temperatura alcanzada durante el caldeo (*revenido*). La temperatura de fusión del acero está situada entre 1400 y 1500° C.

Como el límite en el cual el temple se manifiesta o deja de manifestarse es generalmente difícil de establecer, y como además tampoco es fácil determinar la proporción de carbono contenido, es corriente en el lenguaje técnico distinguir los hierros y aceros por la resistencia a la tracción que presenta el material. En este sentido, pueden llamarse *aceros*, por lo regular, aquellos hierros carburados cuya resistencia a la tracción es igual o mayor que 45 kg./mm.², siendo *hierros dulces* todos los demás.

Los hierros *soldados*, *batidos* o *forjados*, se obtienen por el procedimiento llamado *pudelado*, establecido en 1784 por el inglés Henry Cort. Se emplea generalmente fundición blanca, pues el proceso requiere menos tiempo que si se trata lingote gris y el gasto de combustible es notablemente más reducido. El pudelado de la fundición gris sólo se concibe en aquellos puntos en

que, por ser los minerales demasiado pobres en manganeso, es difícil la producción de fundición blanca.

Como durante el proceso, especialmente a partir desde la mitad, la temperatura del horno no alcanza el punto de fusión del hierro (a causa de disminuir la proporción de carbono), el hierro se obtiene en forma de pequeños cristales, que se van acumulando por soldadura produciendo las llamadas *bolas* o *lobos*. El pudelado de la fundición consiste esencialmente en la oxidación de su carbono, silicio, manganeso, fósforo, etc., que se separan en parte en forma gaseosa y en parte constituyendo escorias. Este proceso toma el nombre genérico de «afino».

El pudelado se realiza en un horno de reverbero (figura 45, *a* y *b*), en el cual el hierro se pone sólo en contacto con las llamas del hogar, pero no con el mismo combustible, como ocurre en los cubilotes. El hierro colado que se introduce (unos 300 kg. en cada carga) se encuentra con cierta cantidad de escorias calientes, remanentes de la operación anterior, y, lamido por las llamas que atraviesan el altar, se va oxidando, empezando por quemarse el silicio contenido. Agitando la masa mediante espetones, se consigue luego oxidar también el manganeso, una parte del hierro y, finalmente, el carbono. A medida que avanza el proceso de descarbonación, el hierro va perdiendo su fluidez hasta que, elevándose su punto de fusión sobre la temperatura reinante en el laboratorio, el metal, como ya se ha dicho, empieza a solidificarse formando lobos. La necesaria uniformidad de toda la masa se alcanza agitándola y removiéndola. Por último, haciendo rodar las bolas juntamente se consigue aglomerarlas en forma de *goas* o *zamarras*, las cuales, fuertemente caldeadas, se someten a la acción de martinets de vapor (*cingladura*) para expulsar las escorias aprisionadas, y se entregan finalmente a los *laminadores* para la formación de perfiles.

A veces, antes de esta operación, las goas cingladas en forma de llantas se reúnen en *paquetes*, que se llevan a los hornos de soldar. El metal resulta dulce y fibroso. Cuando se trata de obtener aceros, es decir, hierros rela-

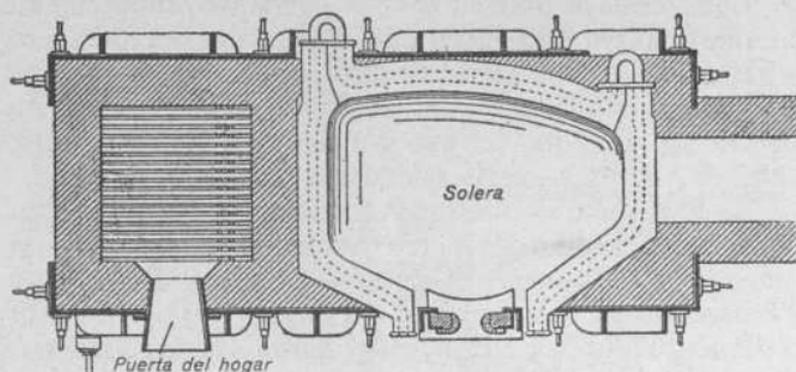


FIG. 45, a. Horno de pudelado (planta)

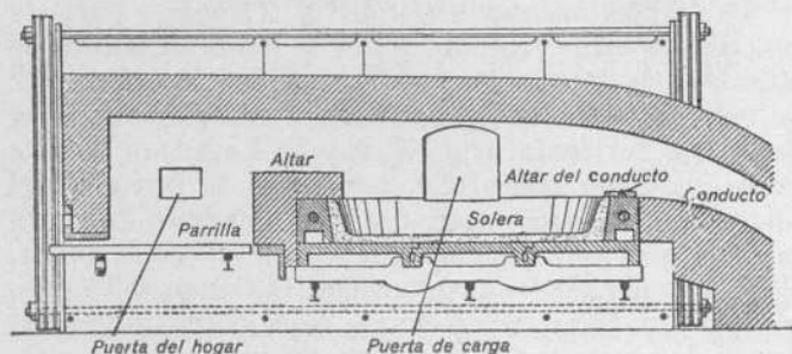


FIG. 45, b. Horno de pudelado (alzado)

tivamente ricos en carbono, no se lleva tan adelante el proceso de descarburación. En este caso, la segunda fase del trabajo (remoción o pudelado) deja casi de realizarse o, cuando menos, se reduce considerablemente; por las mismas razones se forman también las goas

debajo de una capa de escorias. Como las escorias ricas en silicio y manganeso hacen más lento el proceso de descarbonación, en el pudelado de acero se emplea también la fundición gris, o mezclada con spiegeleisen (manganesífero).

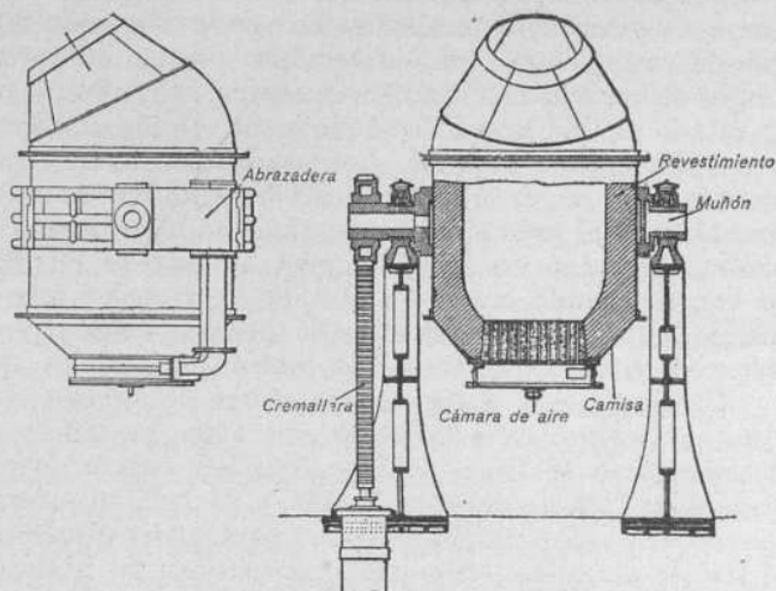
Los hornos de pudelar del tipo corriente proporcionan en veinticuatro horas hasta 2000 kg. de excelente acero o hasta 4600 kg. de hierro fibroso para carriles, mientras que los nuevos hornos dobles llegan a producir hasta 10 000 kg. por día. El proceso descrito permite, pues, obtener *hierros y aceros soldados o batidos*.

La obtención de *hierros y aceros de fusión* se efectúa por refusión o afinado del hierro colado: a) con el empleo de *convertidores Bessemer* y por los procesos *Bessemer* o *Thomas*, según la naturaleza del lingote; b) por los procedimientos *ácido* o *básico*, en el *horno Martín-Siemens*; c) en *crisoles*, y d), finalmente, con el uso del *horno eléctrico*.

a) *Procedimientos Bessemer y Thomas*. Para la práctica de estos procedimientos se emplean hornos de palastro, en forma de pera, revestidos interiormente de material refractario, que pueden bascular alrededor de un eje horizontal (fig. 46, a y b). La altura de este horno, llamado *convertidor*, en el que se introduce el hierro fundido, oscila entre 6 y 8 m., siendo su diámetro interior igual aproximadamente a un tercio de su altura. Por lo regular, en las instalaciones Bessemer y Thomas se emplean tres convertidores, cuya carga individual puede llegar hasta 30 toneladas de hierro. En el procedimiento Bessemer propiamente dicho, se trata fundición siliciosa y libre de fósforo, mientras que el procedimiento Thomas opera partiendo del lingote básico y fosforoso.

A pesar de que ya en julio de 1855 *Bessemer* presentó su método para la obtención de acero en masa a una sociedad de técnicos ingleses, transcurrieron casi dos

lustros antes de que todas las dificultades ofrecidas por el establecimiento práctico de un procedimiento general pudieran allanarse. El procedimiento, difundido hoy en todas las regiones de industrias siderúrgicas, permite, con una sola carga del convertidor y en períodos de unos 20 minutos, transformar masas de fundición de 10



Figs. 46, a y b. Convertidor Bessemer

y 30 toneladas, en hierro maleable o forjable. El aire caliente, que se inyecta a presión a través de las canales existentes en el fondo del convertidor, va quemando las sustancias que acompañan el hierro colado, especialmente el silicio y el manganeso, y el mismo calor producido en la combustión sirve para mantener el metal en estado líquido durante todo el proceso, con lo que al final puede verterse o « colarse » directamente en lingoteras para la obtención de bloques o *tochos*. Estos

últimos se entregan luego a los talleres de laminado o de forja. La temperatura del convertidor oscila durante el proceso entre 1580 y 1640° C.

El arrabio se toma directamente a la salida del alto horno o bien se refunde primero en cubilotes alimentados con coque. En los últimos tiempos, entre los altos hornos y los convertidores, se acostumbra a intercalar los llamados *mezcladores* u hornos de mezclar, a modo de grandes recipientes basculantes que pueden admitir cargas de arrabio de 250 a 600 toneladas, conservándolo en estado líquido para ir llevándolo a la sección de afino a medida que se requiere. Los mezcladores permiten alcanzar una mejor ordenación del trabajo, mayor uniformidad en el producto, y, además, una reducción del azufre contenido en el caldo, pues durante su reposo se van separando escorias sulfuradas y ricas en manganeso. Ultimamente esta clase de mezcladores se equipan con hogares o aparatos de caldeo.

El *revestimiento* de los convertidores Bessemer consiste en ladrillos refractarios ácidos, como los ladrillos de cuarcita o de Dinas (constituídos por cuarzo puro, con adición de un poco de arcilla y de cal), mientras que en el procedimiento Thomas, para poder eliminar el fósforo del metal, se emplean revestimientos básicos de ladrillos de dolomita, que se preparan calcinando la dolomía, para eliminar su anhídrido carbónico, y moldeándola a presión elevada, después de añadir arcilla. Antes de poner en servicio los convertidores deben quemarse los componentes fluidificables de la arcilla (1).

(1) Tanto el convertidor como el horno MARTIN, no permitían al principio eliminar el fósforo que a menudo contenía el lingote y, en consecuencia, se obtenían hierros maleables fosforosos, « agrios », los cuales — sobre todo con elevadas dosis de carbono — no eran aplicables para fines constructivos, a causa de su fragilidad. Por este motivo, también para el procedimiento del convertidor, se utilizaba solamente lingote sin fósforo como el que, por ejemplo, se obtenía con mineral de Inglaterra, España, Portugal y norte de Africa. La desfosforación del hierro con el con-

En ambos procesos, se acostumbra primero a descarburar el hierro por completo y a añadirle luego la cantidad deseada de carbono, generalmente en forma de hierro colado (*recarburación*). Como elementos adicionales se emplea casi siempre en el procedimiento Bessemer, spiegeleisen, y, con hierros muy dulces, ferromanganeso. En el procedimiento Thomas se emplea spiegeleisen o carbón en estado sólido, ya sea en forma de polvo o de briquetas. Según que la recarburación sea más o menos enérgica, los hierros y aceros resultan respectivamente más o menos dulces.

Con el nombre de *procedimiento del pequeño convertidor* se conoce la elaboración del acero destinado al moldeo de piezas, con auxilio de pequeños convertidores, de capacidades comprendidas entre 0,5 y 2,0 toneladas de hierro colado.

b) *Procedimiento Martin-Siemens* (1). Contrariamente a los dos procedimientos citados, el llamado comúnmente *acero Siemens*, se obtiene en la plaza de un horno Martin (fig. 47, a a c), provisto de regeneradores Siemens (2), por fusión simultánea de fundición y de hierro maleable, constituido en primer término por desperdicios (*chatarra*) de los talleres mecánicos. En este caso, se disuelve un metal con poco carbono en un baño que lo contiene en elevada proporción, al mismo tiempo

vertidor no se consiguió hasta el año 1878, gracias a los trabajos del inglés THOMAS (procedimiento básico), quien encontró un revestimiento a base de dolomía susceptible de combinarse, durante el proceso de afino, con los compuestos fosforosos del caldo.

(1) En el año 1865, MARTIN, en los talleres franceses de Sireuil — en reverberos provistos de regeneradores SIEMENS — consiguió fabricar excelente acero por mezcla de arrabio y hierro maleable; el concurso de ambos inventores explica la doble designación del procedimiento.

(2) La elevada temperatura que se alcanza en el laboratorio o cámara de fusión se explica por la circunstancia de que tanto el gas combustible como el aire comburente llegan a ella precalentados en los regeneradores, a expensas del calor de los gases de escape.

que los gases de las llamas del laboratorio queman una parte no despreciable del citado elemento. Según que el horno trabaje con soleras y revestimientos básicos

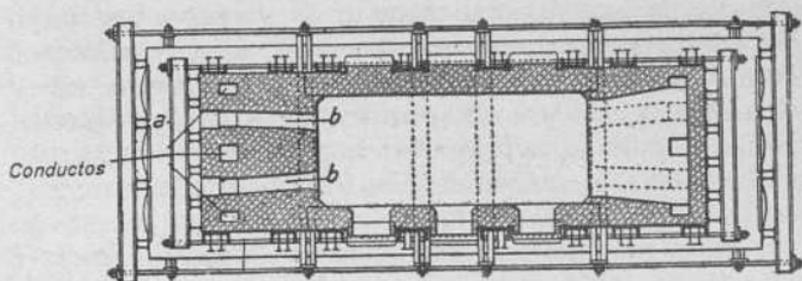


FIG. 47, a

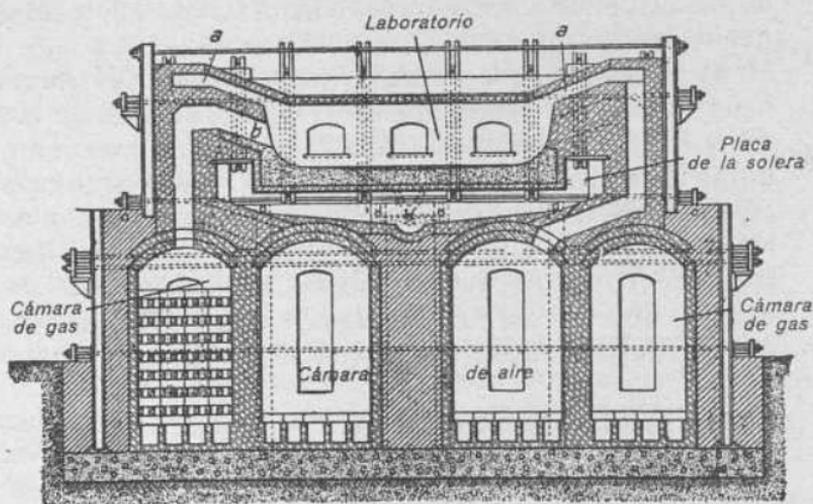


FIG. 47, b. Horno Martin-Siemens

(dolomita o magnésita) o ácidos (silicio o cuarzo) se obtienen hierros Siemens *básicos* o *ácidos*. También aquí se acostumbra a conducir el proceso hasta obtener un baño muy pobre de carbono, que seguidamente se

recarbura en menor o mayor grado, con adición de spiegeleisen o de ferromanganeso, para convertirlo en acero, más o menos dulce.

El procedimiento *ácido* se limita casi siempre a la fabricación de acero moldeado. Para la obtención de hierro dulce se emplean casi exclusivamente soleras

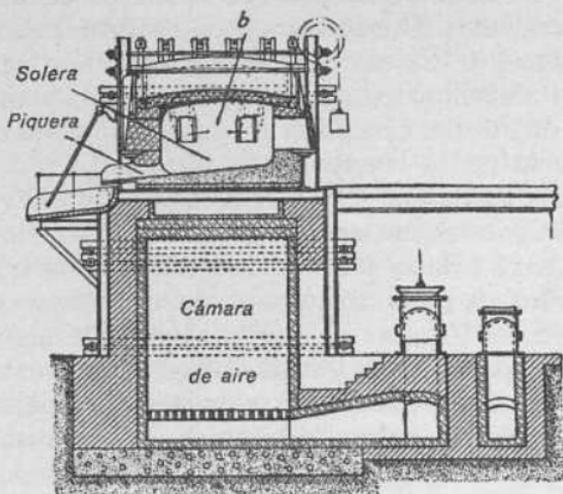


FIG. 47, c. Horno Martin-Siemens

básicas, revistiendo la obra refractaria del horno con una capa de ladrillos de magnesita o de hierro cromado.

En el método ordinario de preparación de hierros y aceros *básicos*, se empieza fundiendo en el horno una parte del metal, la fundición, con simultánea adición de escorias y luego, en una o varias veces, se va añadiendo la chatarra de hierro maleable. Como, tratándose de grandes cargas, el proceso exige largo tiempo y en veinticuatro horas sólo pueden realizarse de tres a seis operaciones, se ha tratado de encontrar métodos de trabajo más económicos, especialmente, cuando se emplean grandes proporciones de hierro colado. Convendrá

citar en este punto los procedimientos Bessemer-Martin, arrabio-hematites, Bertrand-Thiel, Talbot, Molnell, Surczycki y Hoesch.

Los hierros y aceros obtenidos en estado líquido son los más importantes en la construcción metálica, siendo los más empleados los producidos por los procedimientos básicos. Se explica esto por dos razones: de una parte por hallarse más difundidos en la naturaleza los minerales fosforados y de otra, y sobre todo, por las propiedades del metal básico que, en general, es más puro, uniforme y dulce que el ácido, propiedades todas de suma importancia en la construcción metálica.

c) Los llamados *aceros al crisol* (1) se obtienen refundiendo en crisoles especiales acero ordinario o mezclas de hierro colado y hierro maleable. El sistema proporciona los mejores aceros normales, aunque también los más caros. Para aumentar su dureza se les añade a menudo en proporciones estudiadas, tungsteno, cromo, níquel, vanadio, molibdeno, etc., resultando los llamados *aceros especiales*, entre los cuales los *aceros rápidos* ocupan el primer lugar para la fabricación de herramientas.

En las pequeñas instalaciones los mismos crisoles, de grafito y arcilla refractaria, montados con armazones convenientes, constituyen por sí mismos hornos basculantes (*hornos de crisol*), mientras que en las grandes explotaciones se dispone una cantidad considerable de crisoles (de 50 a 100) en el laboratorio de un horno de reverbero en forma de canal, alimentado con regenera-

(1) La idea de dar homogeneidad al acero refundiéndolo en crisoles pertenece al inglés BENJAMÍN HUNTSMAN — hacia el año 1730 — quien, no obstante, se limitó a la producción de pequeños bloques. No fué hasta principios del siglo XIX que KRUPP, en los talleres de Essen, incorporó el procedimiento a la grande industria. El ulterior desarrollo del método — por fusión simultánea de arrabio y hierro maleable — tuvo origen en el año 1851 en la acerería de Bochum (Alemania).

dores Siemens. En estos grandes hornos, empleando crisoles de 30 kg. de capacidad, llegan a obtenerse hasta 7,5 toneladas del mejor acero en una jornada de trabajo.

Existe otro procedimiento especial para obtener el llamado *acero de cementación*. Mientras que en los procedimientos descritos hasta aquí, se parte del arrabio, a cuya descarburación se procede, en el método presente se sigue una marcha opuesta, es decir la carburación de hierros dulces. El *acero de cementación*, tan empleado en la construcción de máquinas-herramientas, se obtiene empaquetando barretas o delgadas piezas de hierro forjable, en cajas refractarias llenas de polvo de carbón, lo más puro posible (se emplean también mezclas cementantes especiales), las cuales se cierran herméticamente y se mantienen durante diez o doce días a la temperatura de 1200° C. en *hornos de cementar*. Durante este tiempo el hierro se *carbura* gradualmente convirtiéndose en acero. Como la distribución del carbono no alcanza una uniformidad completa, el acero de cementación se refunde en crisoles o se somete a un caldeo seguido de una laminación.

Si el proceso descrito se limita a unas doce horas (o menos) el hierro maleable se cementa o endurece tan sólo superficialmente, sin que se modifique la naturaleza de la masa de las piezas.

d) Los *hornos eléctricos*, fundados en la conversión de la energía eléctrica en térmica por distintos procedimientos, tienen empleos variados en la producción de hierros y aceros, ya para la reducción de los minerales, ya para los procesos de refusión, ya para obtener la aleación de aceros con diversos elementos (cromo, titanio, níquel, tungsteno, etc.). Hay que citar aquí en primer lugar los *altos hornos eléctricos* (1) — de los que

(1) Véase *Gemeinfassliche darstellung des Eisenhüttenwesens*, 9.ª edición, 1915, pág. 116. La producción del lingote en el horno eléctrico sólo puede resultar práctica donde se dispone de energía hidráulica a bajo precio.

funcionan algunos en Suecia — para la producción del lingote, y los *hornos de arco* y *de inducción* para fabricar acero (tipos Stassano, Herault, Girod y Keller, entre los primeros y Kjellin y Rochling-Rodenhausen, entre los segundos; el horno Nathusius constituye un tipo intermedio).

En todos estos procesos de fusión, la energía eléctrica obra exclusivamente como manantial de calor, con la ventaja de las elevadísimas temperaturas alcanzables y el alto grado de pureza de los productos obtenidos. El proceso de la obtención de acero en el horno eléctrico es en un todo semejante, en cuanto a sus principios, al procedimiento Martín básico. Unas veces se funde metralla o chatarra y en otros casos se emplean cargas de hierro líquido, afinado ya en hornos Martín-Siemens o en convertidores.

La cuestión del coste del procedimiento depende en primer grado, como se comprende, del consumo de energía. Las condiciones económicas son especialmente favorables cuando se emplean cargas de fundición líquida. Estos aceros, conocidos vulgarmente con la impropia designación de «eléctricos», adquieren muchas veces un coeficiente de ruptura muy elevado y una extraordinaria tenacidad; su fractura es uniforme, son forjables en alto grado, ya sea con laminadores o con martillos pilones, y su soldabilidad es excelente.

3. Elaboración del hierro

Los hierros empleados en el arte del constructor se obtienen principalmente por los métodos de *funderta* y *forja*, comprendiendo en esta última el trabajo de las prensas y de los laminadores. La fabricación de los perfiles comerciales se realiza casi siempre por las mismas explotaciones de altos hornos, mientras que la preparación de las distintas piezas, cuyo ulterior ensamble

o montaje da lugar a las estructuras metálicas, se efectúa en talleres mecánicos independientes.

a) En fundería se trabaja el hierro por **moldeo**, procedimiento general para la obtención de objetos y piezas, vertiendo o colando metales líquidos en moldes, donde se enfrían y solidifican. Como antes se ha indicado, para la obtención de piezas de *hierro colado* se emplea por lo regular el lingote gris. Requiriéndose en la construcción hierros de elevada resistencia, debe emplearse tan sólo hierro colado que contenga poco fósforo; el más apreciado procede del lingote hematites.

Los dos métodos principales para la *preparación de moldes* de arena o barro, se fundan en el empleo de *modelos* o en el de *terrajás*. El material empleado para la construcción de los moldes se halla constituido de ordinario por arenas especialmente preparadas; deben ser húmedas, algo plásticas (arcillosas) y poseer la necesaria permeabilidad para permitir el escape de los gases que se producen durante la colada. Para la obtención de piezas grandes y complicadas, especialmente las de acero moldeado, la arena no es a propósito. En este caso se emplea una materia refractaria, designada vulgarmente con el nombre de barro o *masa*, constituida por una mezcla de ladrillos refractarios y arcilla grasa refractaria, sin cocer.

Los *modelos* son reproducciones de las piezas que se tratan de obtener; se hacen generalmente de madera, pero los de empleo más frecuente son de metal. Al confeccionar los modelos hay que tener en cuenta la contracción que experimenta el hierro al enfriarse en los moldes. Como promedio, la contracción longitudinal del hierro, en todas direcciones, puede estimarse en $\frac{1}{100}$; la del acero oscila alrededor de $\frac{1}{80}$.

Si se comprime un modelo sobre la capa de arena que forma el piso de la sala de colada se obtiene una cavidad que, una vez rellena de metal, reproducirá las

formas laterales e inferior del molde, pero que en su parte superior presentará una superficie plana más o menos rugosa. Este método de trabajo se conoce con el nombre de *moldeo en un lecho*. Cuando la forma de los modelos requiere moldes cerrados, se preparan de ordinario dos medios moldes en bastidores de hierro rellenos de arena que luego se superponen convenientemente, dando lugar a lo que se llama *moldeo en caja*. Los dos bastidores (chassis) correspondientes, se adaptan de modo exacto por medio de cierto número de guías o *pitones*, orejas y pasadores. Muchas veces, para asegurar mejor el mantenimiento de la arena de moldeo dentro de los bastidores, van éstos provistos de nervaduras, costillas y otras disposiciones de sujeción. La forma de proceder en los casos ordinarios es como sigue: Se empieza colocando la mitad del modelo sobre un tablero, designado con el nombre de *tabla de moldear*, se rodea el modelo con un bastidor que se apoya sobre la misma tabla y se va comprimiendo la arena entre el modelo y las paredes del bastidor, ejerciendo durante el apisonado una presión moderada. Se invierte entonces el conjunto formado por el bastidor, arena y modelo, a fin de poder retirar este último; en la misma forma se procede para moldear la otra mitad del modelo. Esta forma de trabajo constituye el *moldeo con modelo dividido*. Para poder introducir el hierro líquido es preciso disponer un *bebedero*, durante la ejecución del molde. La fundición que después rellena dicho conducto queda formando un apéndice metálico adherido a la pieza, vulgarmente llamado *colada*, que hay que cortar luego. También hay que dejar en el molde agujeros cilíndricos o cónicos que atraviesen sus paredes, para permitir la salida del aire, expulsado por la fundición al penetrar en el interior, así como los gases que se desprenden durante la colada. Tales agujeros se conocen en la práctica con los nombres de *albricias* y *rebosaderos*.

Sobre las superficies interiores de los moldes se esparce carbón de leña pulverizado (con una bolsita de tela, llamada *cisquero*) o bien se barnizan con una emulsión de grafito y agua (u otros *untos*), con objeto de evitar que la arena se suelde a las piezas. Cuando éstas han de presentar orificios o cavidades, es preciso insertar en las cajas núcleos o *machos*, en correspondencia. Tales machos, designados a menudo con el barbarismo *noyos* (del francés *noyaux*), se confeccionan con *masa* o tierras especiales y, generalmente, para darles la rigidez necesaria, llevan en su interior armaduras de hierro o *linternas*. Atendiendo al empuje del hierro líquido, es preciso asegurar la posición de los machos con respecto a las paredes y tapa de molde, mediante adecuados soportes de hierro (*soportes de macho*). Cuando los moldes se rellenan de metal sin someterlos a un secado previo, el moldeo se dice que es *en arena verde*. Cuando las paredes de los moldes se barnizan con untos líquidos es indispensable que antes de la colada se proceda a su desecación, la cual de ordinario se realiza en cámaras o estufas a propósito, teniéndose en este caso el *moldeo en arena de estufa*. Después de todas estas operaciones, y cerradas las cajas convenientemente, se procede a verter el metal en los moldes, efectuándose lo que se llama la « colada ».

Con los nombres de *fundición endurecida*, *templada* y también *acerada*, se conocen las piezas que se obtienen en moldes total o parcialmente de hierro (*conchas* o *coquillas*). Al contacto con las paredes metálicas del molde, la fundición, gris o atruchada, se enfría rápidamente transformándose en fundición blanca de dureza mucho mayor. El emblanquecimiento resulta más o menos profundo según el espesor de las conchas. Este material se emplea para el moldeo de laminadores, ruedas, placas de blindaje, corazones de agujas de desvío, etcétera.

Los cuerpos de revolución pueden moldearse con el auxilio de *terrajas*, consistentes en el árbol sujeto en una *rangua* y provisto de un brazo giratorio que lleva una *plancha de aterrajado*, la cual reproduce el perfil generatriz del cuerpo que se trata de moldear. En este caso se aglomera la arena (1), remedando groseramente el contorno de la pieza, y se le da la forma precisa expulsando el exceso por medio del calibre o *terraja*. En el moldeo en barro o en masa de grandes piezas, tales como cuerpos de estufa, calderas, etc., se empieza formando un macho con obra de albañilería y se recubre, a modo de revoque, con una capa de barro, a la que se dan las dimensiones precisas por medio de la *terraja*. Una vez aterrajado y seco el macho, se recubre con una *falsa camisa* (de espesor correspondiente al de la pieza) cuya superficie se aterraja de nuevo, utilizándose el conjunto como un modelo ordinario, para moldear en la forma conocida la parte exterior de la pieza. Después de secar ésta, se separan cuidadosamente las distintas partes, se retira la falsa camisa y se monta de nuevo la envoltente exterior, quedando el molde dispuesto para la colada. Este procedimiento, que permite una ejecución exacta aunque es algo entretenido y costoso, puede simplificarse aterrajando independientemente el macho y el molde. En la actualidad se emplea casi exclusivamente para el moldeo de complicadas piezas de maquinaria, campanas, etc.

Según el material empleado en la fabricación de *piezas y objetos moldeados* se distingue :

1. *Hierro colado*. Procedente en general de lingote gris y raras veces de fundición atruchada. La fun-

(1) Se emplean : arenas o tierras de moldeo, masa o barro de moldeo (mezcla de barro y arenas magras con paja, pelo de vaca, estiércol de caballo, etc.). Con la enérgica desecación de los moldes de barro se carbonizan las materias orgánicas y dejan poros que facilitan el escape de los gases.

dición endurecida citada anteriormente constituye una variedad : las partes en contacto con las conchas duras quedan emblanquecidas, mientras que el interior de las piezas se conserva gris, blando y tenaz.

La *fundición maleable* se obtiene transformando las piezas que se han obtenido con fundición blanca, mezclada acaso con pequeña cantidad de hierro dulce, una vez terminadas, en otras de naturaleza blanda, tenaces y forjables. El proceso, llamado *cementación oxidante*, consiste en descarburar las piezas por ulterior oxidación, aunque sólo es prácticamente aplicable para espesores de hierro de unos 25 mm. Las piezas que se han de tratar se empaquetan con polvos de hematites roja (o batiduras de fragua) y se someten al calor rojo durante varios días, fuera del contacto del aire. La oxidación se inicia por las capas superficiales y avanza poco a poco hasta el interior de las piezas reduciendo su contenido de carbono de modo tal que, siendo duras y agrias al principio, se convierten en otras susceptibles de ser forjadas. Como la cementación oxidante se ejerce exclusivamente sobre el carbono disuelto pero no sobre el grafito separado, se comprende que sólo pueda practicarse con piezas procedentes de lingote blanco. La adición de hierro dulce a la fundición tiene por objeto, de una parte, reducir considerablemente el peligro de que las piezas se rompan y de otro diluir la proporción de carbono a fin de poder abreviar la duración del proceso.

2. *Hierro moldeado*, es decir, hierro dulce de fusión convertido en piezas por moldeo y colada.

3. *Acero moldeado* o *colado*. Piezas obtenidas como en el caso anterior pero empleando aceros de fusión.

Para las *piezas de acero colado* (prescindiendo de los aceros de herramientas, de cañón, etc.) se emplea casi exclusivamente acero dulce de fusión, ya obtenido en

el horno Martin-Siemens, ya por medio de pequeños convertidores. Los moldes se confeccionan casi siempre con barro o *masa*.

Entre los *productos comerciales de hierro colado* se han de mencionar:

1. *Columnas*. Las de pequeñas dimensiones vienen fundidas de una sola pieza y las mayores en tres trozos separados (basa, fuste y capitel). Los fustes o columnas propiamente dichas pueden moldearse estando los moldes en posición horizontal o vertical. Por lo regular se prefieren las columnas fundidas verticalmente, por razón de que presentan menos sopladuras, que el propio peso de la fundición da mayor compacidad al metal y que no son de temer, además, empujes laterales que modifiquen la posición del macho. No obstante, la fusión vertical resulta más costosa. No impidiéndolo exigencias especiales, la colada de las columnas se efectúa en moldes horizontales, pues, con una ejecución cuidadosa, se obtienen también buenos productos.

2. *Tubos*. Se emplean dos clases de tubos, los *de enchufe y cordón* y los *de platinas*; para ambos, en los distintos países, existen series normales. Las normas alemanas establecidas por el « Verein deutscher Ingenieure » (Asociación de Ingenieros Alemanes) y el « Verein deutscher Gas- und Wasserfachmänner » (Asociación de Técnicos del Gas y del Agua) han sido adoptadas por las Sociedades Españolas « Aurrera » y « Duro-Felguera ». Los espesores normales corresponden a los tubos de conducción de agua para una presión de servicio de 10 atmósferas, ensayados a doble presión. Para las cargas hidrostáticas más corrientes (4 a 7 at.) pueden emplearse tubos de menor espesor de pared, siendo necesario, naturalmente, emplear espesores más fuertes cuando las tuberías han de estar sometidas a más duras condiciones de trabajo. Los diámetros exte-

riosos son fijos y las modificaciones en el espesor de pared se obtienen variando el diámetro interior. En los pliegos de condiciones, tratándose de tubos rectos, se toleran diferencias de peso del 3 %, en más o en menos.

3. *Piezas de enlace para tubos de enchufe y cordón.* Existen normalmente las siguientes (1):

PIEZAS A y B (*injertos, o acometidas*). Presentan derivaciones laterales, perpendiculares al eje, terminadas con platina (A) o con enchufe (B). También se encuentran en el comercio tubos AA y BB, con dos derivaciones simétricas.

PIEZAS C y CC (*acometidas oblicuas*). Con bifurcaciones a 45°.

PIEZAS E (*enchufes-hembras*) para el enlace de tuberías con platinas y tuberías de enchufe y cordón

PIEZAS F (*enchufes-machos*) para el mismo enlace que las piezas anteriores.

PIEZAS J (*codos*). Tubos rectos con enchufe acodillado según ángulos variables.

PIEZAS L (*curvas*). En los diámetros a partir de $D = 300$ mm., el radio de curvatura es igual a 5 D.

PIEZAS R (*reducciones*) para el enlace de tuberías de distinto calibre.

PIEZAS U (*manguitos*) para el enlace de tubos rectos por el extremo opuesto al enchufe.

4. *Piezas de enlace para tubos de platinas.* Hay que citar entre éstas las curvas de 90°, las T con diámetro constante, las T con reducción, las cruces, etc.

Todas las piezas al salir de los moldes han de ser debidamente limpiadas o *desbarbadas*. En el taller de rebarba destinado a este objeto, se quita la arena adherida a las piezas, se arrancan las *mazarotas*, albricias, coladas, costuras, etc., empleando algunas veces, para cortar, el soplete oxiacetilénico (piezas de acero).

(1) Véase «Hütte», Manual del Ingeniero, trad. española, 1926, pág. 924 y siguientes.

Seguidamente se da a las piezas un desbastado superficial, sirviéndose de limas, máquinas de chorro de arena (areneras), cinces y martillos neumáticos, etc. Conviene que las piezas fundidas se reciban sin pinturas para poder apreciar los defectos superficiales; entonces se ennegrecen por lo común sólo con grafito y se limpian con cepillos de púas de acero.

Muchos objetos de hierro colado, especialmente tubos de conducción de todas clases y piezas para canalizaciones, se barnizan posteriormente con alquitrán de hulla o con una mezcla de asfalto y brea, que se aplica en caliente (100°C.) sobre los tubos caldeados a 200°C. Para neutralizar su acidez, se recomienda añadir al alquitrán (ocho partes) cierta cantidad de cal viva pulverizada (dos partes); la fluidez se aumenta con la adición de aceite de trementina (una parte) o petróleo.

b) Una segunda forma de trabajo de hierro consiste en el empleo de los métodos de **forja**, que, junto con los pequeños artículos de cerrajería de obras, forjados a mano, comprende la fabricación de grandes piezas con el empleo de martillos-pilones y prensas de forjar. Generalmente es preferido el forjado a la prensa, tanto por la precisión y economía del trabajo como por la más perfecta acción compresora. Los tratamientos de forja mejoran la naturaleza del material, pues en los hierros de pudelado permiten eliminar las partículas de escoria eventualmente aprisionadas, y, en los hierros de fusión hacen el metal más compacto y fibroso.

Por lo regular las piezas forjadas tienen en la construcción un empleo secundario, destinándose sobre todo a formar enlaces de barras especiales (particularmente hierros redondos roblonados), articulaciones, piezas de unión acodilladas y otras análogas.

Para el forjado con *prensa* se emplean máquinas o mecanismos especiales, generalmente prensas hidráulicas.

licas. El trabajo se realiza con auxilio de *estampas* y *punzones*, uno móvil, sujeto a la platina superior y otro fijo en la inferior.

Las piezas obtenidas con martinets y prensas presentan caracteres análogos a las que se obtienen por *laminado*, el último y más importante de los trabajos de forja de hierro.

c) Por medio del **laminado**, procedimiento que permite a un tiempo aumentar la compacidad del metal,

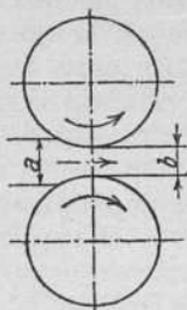


FIG. 48, a
Laminador dúo

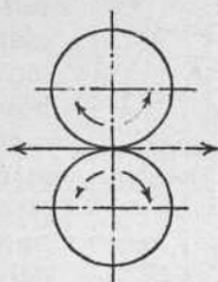


FIG. 48, b
Laminador reversible

someterlo a un estirado y darle una forma determinada, se fabrican los elementos de mayor importancia en la construcción de hierro. Según que los laminadores tengan superficies cilíndricas lisas, o estén provistos de gargantas, se obtienen por el laminado chapas (palastro), hierros planos y perfiles. Cabe distinguir, pues, el laminado de planchas y el laminado de barras.

Entre los laminadores se distinguen: el laminador integrado por dos cilindros, llamado *laminador dúo* o *tándem* (fig. 48, a) el cual, después de cada pasada, obliga a hacer volver la pieza por encima del cilindro superior, a fin de poderla entregar a la máquina siempre en el mismo sentido. Con objeto de evitar el gasto de trabajo y la pérdida de tiempo que esto representa,

se disponen a veces estos laminadores con marcha reversible (fig. 48, b), de modo que a cada paso de las barras se invierte el sentido de rotación de los cilindros y pasan aquéllas por el laminador en sentido contrario. En este caso el laminador no puede equiparse con volantes, por cuya razón el funcionamiento resulta más

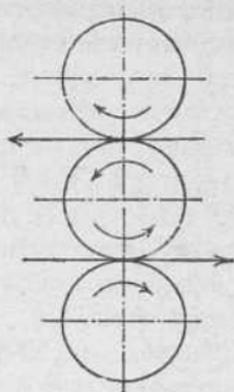
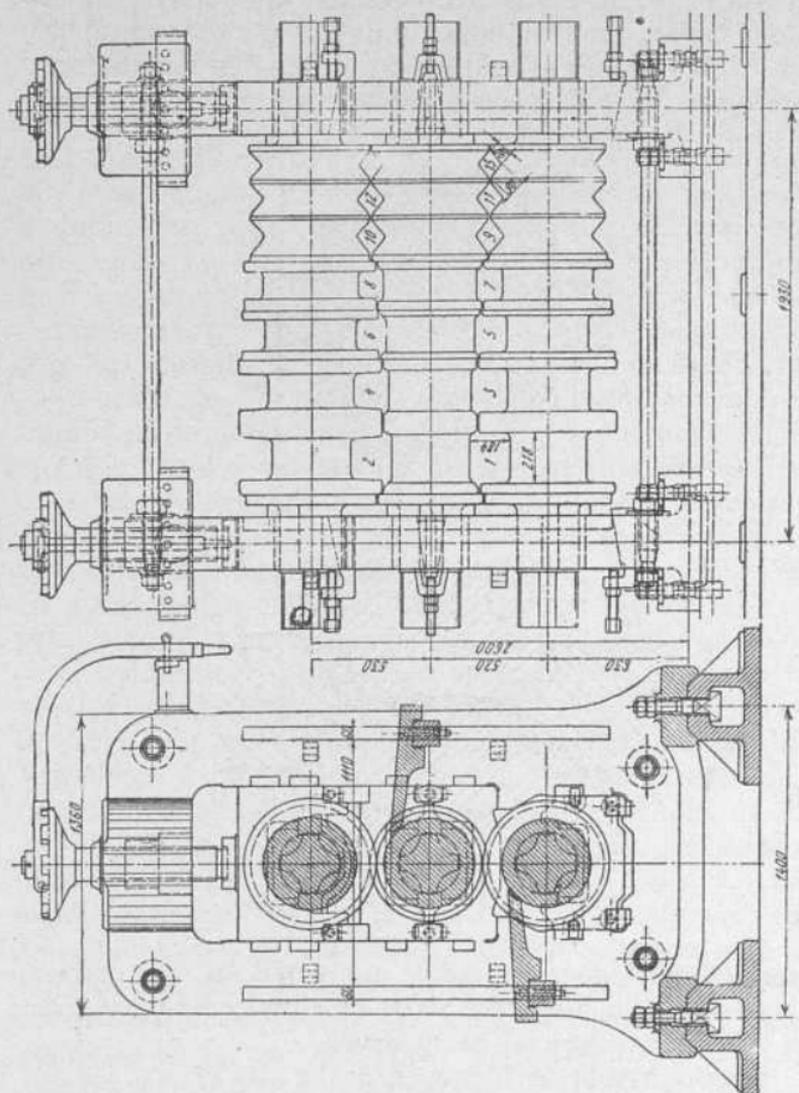


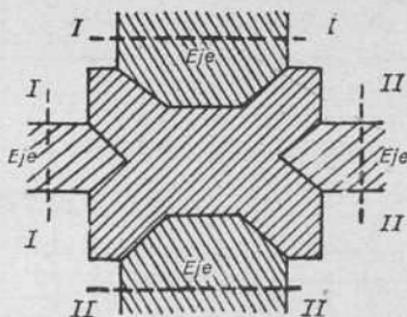
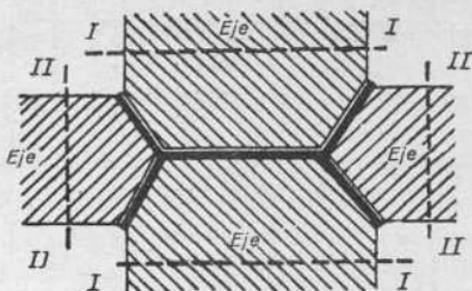
FIG. 49
Laminador trío

costoso y se pierde todavía algún tiempo en los cambios de marcha. El empleo de los laminadores reversibles se limita casi siempre al tratamiento de grandes bloques, cuya maniobra en otro caso resultaría muy difícil. De ordinario se emplean hoy laminadores trío (figs. 49 y 50, a y b), en los cuales las barras que se trabajan son laminadas ora entre el cilindro medio y el superior, ora (durante el retroceso) entre el cilindro medio y el inferior. Como en este caso el sentido de rotación de los cilindros permanece constante, pueden acoplarse a las máquinas pesados volantes que mejoran el rendimiento mecánico. Por medio de los laminadores universales, y de los tipos que de ellos se derivan, se consigue una segura regulación de los perfiles laminados. Los primeros, empleados en el laminado de barras y chapas, consisten en dos grupos de cilindros, dispuestos uno inmediatamente tras de otro, el primero con eje horizontal y el segundo vertical, de modo que permiten calibrar las dimensiones de las piezas en las dos direcciones principales. Se apoya sobre el mismo principio el laminador Grey, empleado para la confección de perfiles doble T de ala ancha: los dos primeros cilindros empiezan a desbastar del bloque el alma y las aletas



Figs. 50, a y b. Trio para barras de acero

mientras que los segundos comprimen los cantos y regularizan el perfil. Entre los otros hay que citar el laminador Göbel, para viguetas doble T de aletas paralelas (fig. 51, *a* y *b*), con el cual los dos grupos de laminadores contiguos, de ejes perpendiculares (I y II), permiten

FIG. 51, *a*FIG. 51, *b*FIGS. 51, *a* y *b*. Laminador Göbel

desarrollar el bloque dándole un perfil >—< cuyas aletas se hacen luego normales al alma, con auxilio de un laminador especial de acabado.

Se comprende perfectamente que con el proceso de laminación, especialmente para perfiles complicados, el tránsito de la barra o bloque primitivo hasta la sec-

ción final tendrá efecto por medio de una serie de fases. Para las secciones sencillas basta con un solo laminador (véase fig. 50, *a* y *b*), pero para las complicadas se requieren varios, constituyendo lo que se llama un *tren de laminado*. En la figura 52 puede verse esquemáticamente el proceso de elaboración de un perfil normal I n.º 20, partiendo de un bloque cuadrado de 290 mm. de lado. En este caso se trabaja con tres laminadores trío (dos desbastadores y uno de acabado) ofreciendo un conjunto de 17 calibres. Los números que se indican en las figuras corresponden a la serie de pasadas sucesivas. El grabado de la página 227 (fig. 53) muestra la instalación de un tren de laminado, compuesto de dos laminadores trío, para barras perfiladas de tamaños medianos. Como se observa en el ejemplo citado, cuando los tochos han de convertirse en secciones muy desplegadas, el paso entre la sección cuadrada original y el perfil definitivo debe realizarse gradualmente, en múltiples pasadas sucesivas (10 a 20, en general). No obstante, el proceso se realiza en una sola *calda*, si bien es cierto que en los perfiles pesados se necesitan dos, es decir, que es necesario calentar otra vez los perfiles durante el proceso. Se comprende con lo dicho que en los primeros cilindros, llamados *desbastadores*, la reducción de perfil obtenida entre dos pasadas sucesivas puede ser mucho mayor que hacia al final de la operación, pues al principio, hallándose el hierro más caliente, es susceptible de soportar presiones más elevadas o laminados más enérgicos. En las dimensiones de los calibres ulteriores ha de tenerse muy en cuenta que las distintas partes del hierro no se encuentren desigualmente estiradas o que no sean comprimidas de forma muy diversa; para ello se procura compensar en cierto modo ambos factores de trabajo haciendo que en las zonas de los cilindros en que es mayor la velocidad periférica y por ende es de esperar

un estirado más enérgico, la presión de los cilindros sea más pequeña. Esta cuestión adquiere especial importancia cuando se trata de perfiles \square y I muy altos. El laminado de esta clase de perfiles, presenta aún otras dificultades, de una parte porque, por razón del

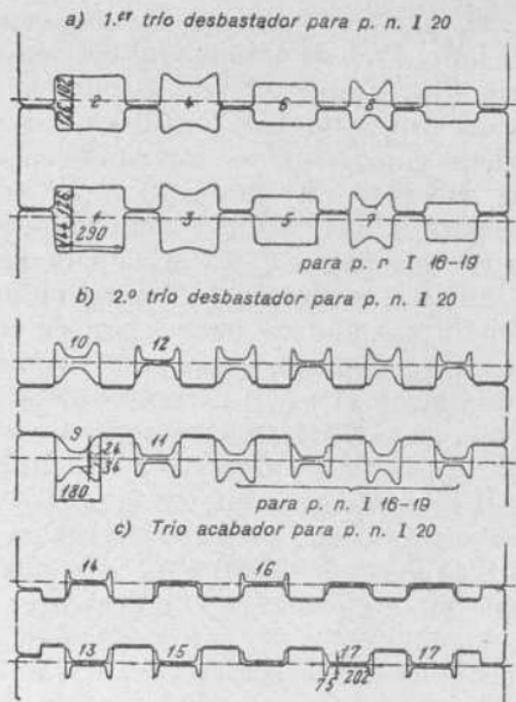


FIG. 52

desgaste, tan sólo es posible obtener presiones suficientes de los laminadores en sentido horizontal y, además, porque, a causa del enfriamiento gradual de las barras, disminuye la relación entre el ensanchamiento y el alargamiento obtenidos. Para contrarrestar tales efectos se recurre a los calibres de recalado, que comprimen por la parte superior (por ejemplo, haciendo

que las canales sucesivas tengan sus ejes perpendiculares) y también disponiendo suplementos en las partes verticales de los calibres, con objeto de que la presión lateral se mantenga con un valor suficiente.

En el *laminado de chapa* con cilindros lisos (fig. 54) la distancia entre éstos se va reduciendo en correspondencia con la disminución del espesor de las planchas

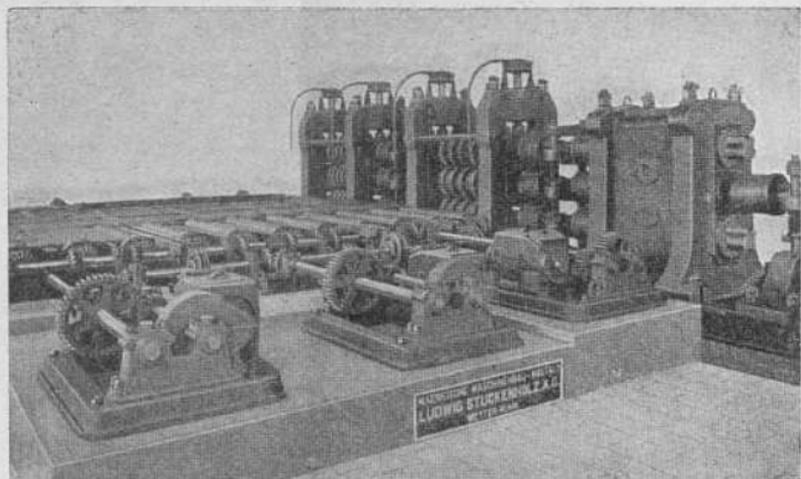


FIG. 53. Tren-trío para barras y perfiles medianos

que quiere obtenerse a cada pasada. Según se trate de palastro grueso (a partir de 5 mm. de espesor) o de chapa delgada (hasta 4 o 5 mm.), el laminado se realiza en dos o tres laminadores. Se trabajan hoy bloques hasta de un metro de altura. El material obtenido es excelente para las finalidades de la construcción (chapas para nudos, cubrejuntas, partes de membruras, vigas armadas de alma llena, etc.)

Según la naturaleza de su producción los laminadores pueden clasificarse todavía en *laminadores de chapa ondulada*, *laminadores de alambre* y *laminadores*

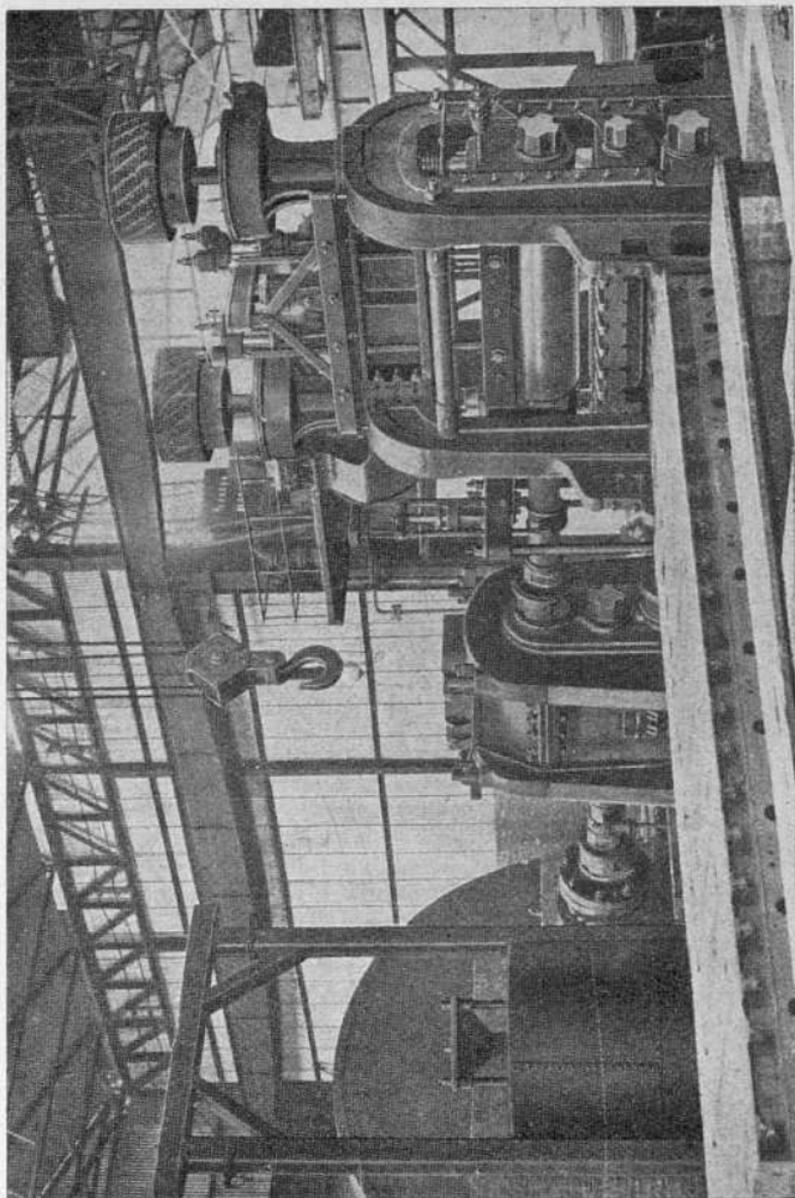


Fig. 54. Laminador para chapa

de tubos. En los primeros (por lo regular tándems), las dimensiones de las chapas onduladas se fijan con una sola pasada, si bien por lo regular se laminan sólo chapas delgadas y pequeñas. Las chapas gruesas y muy desarrolladas, es decir, con surcos profundos, se fabrican con prensas hidráulicas. Los laminadores de alambre consisten en largos cilindros que giran en contacto uno de otro y presentan en su superficie ranuras o canales en correspondencia, cada vez de sección más reducida. La varilla o alambre va pasado por ellas de modo sucesivo convenientemente guiado por canales a propósito. Se parte de barras cuadradas calentadas al rojo blanco y la operación se realiza con una sola calda. Al salir del calibre final, el alambre aun caliente se enrolla sobre un tambor formando mazos. Con el laminado se obtiene sólo alambre hasta de 3 mm. de diámetro y por lo regular sólo de 5 mm. (*fer-machine*). Los alambres más delgados se obtienen partiendo de éstos por el trabajo de *tréfileria* (1) obligando a los alambres a pasar por agujeros de formas embudadas cada vez más delgados, abiertos en placas fijas de acero, llamadas *hileras*. La operación de estirar se realiza generalmente en frío y como el alambre se va endureciendo es preciso recogerlo después de cada cinco o seis pasadas. La velocidad con que los alambres atraviesan las hileras es relativamente grande, hallándose comprendida entre 25 y 80 metros por minuto.

Los *laminadores de tubos* permiten obtener tubos sin soldadura, por estirado periférico del bloque que se trabaja (procedimientos Mannesmann, Ehrardt, etcétera).

(1) Del francés *tréfilage*, de *tirer* y *filer*. Los que practicaban esta operación se llamaban antes en español *tiradores* de metal.

HIERROS COMERCIALES

Los productos de hierro fabricados por los grandes talleres metalúrgicos pueden clasificarse en dos grupos *A* y *B*. Los primeros se adquieren directamente en los talleres productores (1), mientras que los segundos se encuentran en el comercio. El grupo *A* comprende los semiproductos (tochos, palanquillas, llantones, etc.) y el conjunto de material de vía empleado en ferrocarriles (carriles, traviesas, bridas, placas de asiento, etc.), mientras que el grupo *B* está integrado por barras redondas y cuadradas, perfiles, chapa, fer-machine, tubos, roblones, pernos, clavos, cables, etc.

1.º **Barras y perfiles.** Se incluyen aquí todos los obtenidos por laminación, a saber: **L** (angulares o cantoneras); **T** (viguetas **T**); **I** (viguetas doble **T**); barras o hierros redondos, cuadrados, exagonales; pasamanos, hierros universales, etc.

Los perfiles normales varían en los distintos países. Los empleados en Alemania y adoptados por algunas empresas siderúrgicas de otros Estados (en España, parcialmente, por « Altos Hornos de Vizcaya », « Basconia » y « Duro-Felguera »), fueron propuestos en 1881 por los profesores Heinzerling e Intze, de Aquisgrán.

Los distintos perfiles normales se designan por números que indican su dimensión principal o altura (y, algunas veces, altura y ancho) en centímetros, como en el caso de las viguetas **I**. Convendrá citar entre ellos:

a) *Hierros en ángulo* o **L**, de alas iguales o desiguales, estando en este último caso en las relaciones $1 : 1 \frac{1}{2}$ y $1 : 2$.

b) *Hierros T*, de ala ancha, en los que la altura del nervio es igual a la semianchura, y de ala estrecha, en los que aquélla y ésta son iguales.

(1) La generalidad de los de España están sindicados para las ventas (« Central Siderúrgica »).

c) *Hierros Zorés*, utilizados especialmente en la construcción de tableros de puentes y también, aunque con menor frecuencia, para el montaje de lucernarios acristalados.

d) *Hierros Z.*

e) *Hierros* 

f) *Hierros* , en alturas de hasta 60 cm., con una inclinación de la cara interna de las aletas igual al 14 % y radio de enlace entre las alas y el alma igual al espesor de ésta. Estos perfiles normales, de los que la siderurgia española lamina la generalidad de los tipos hasta el número 32, tienen anchuras de alas (totales) poco mayores que el tercio de la altura del nervio, especialmente en los números más grandes, por cuyo motivo no son siempre ventajosos cuando han de estar expuestos a cargas o empujes inclinados. En este respecto reciben su complemento con las viguetas  de ala ancha (fuera de la serie normal), llamadas también viguetas « B », *viguetas Grey* o *Differding*. Se laminan en Alemania con alturas hasta un metro. En los perfiles inferiores al número 31, el ancho total es igual a la altura ; la inclinación de la cara interna de las alas es del 9 %.

Otro perfil, desarrollado dentro del mismo orden, es el de las *viguetas Peiner*, o viguetas  de alas anchas y paralelas, en las que las caras internas de las alas son paralelas a las externas hasta inmediata proximidad de la arista de enlace con el alma. Estos hierros tienen la ventaja de prestarse a toda clase de empalmes y uniones, con facilidad para los roblonados o el enlace con pernos. Con respecto a su anchura puede repetirse aquí lo dicho para las viguetas Grey.

g) *Hierros cuadrantes*, cuya sección abraza un cuarto de circunferencia enlazado por ambos lados con aletas radiales ; eran muy empleados antes para el montaje de columnas.

h) *Hierros tableados o planos, cuadrados, exagonales y redondos.*

i) *Pasamanos, para barandillas.*

k) *Perfiles especiales y hierros para decoración,* citándose entre aquéllos, en primer lugar, los hierros para cubiertas acristaladas, ventanas, puertas metálicas, etc., y entre los segundos los que fabrica la sociedad «Eisenwerk Mannstädt», de Troisdorf (Colonia), en gran número y variedad de formas.

l) *Hierros para tablestacados,* de múltiples sistemas (Larsen, Roteerde, etc.)

2.º **Chapas.** Se obtienen por laminación de pletinas y tochos.

a) *Chapa lisa.* Según se ha dicho ya en la página 227, se distingue la *chapa fina* (hasta 5,0 mm. de espesor) y la *chapa gruesa* (de 5 a 25 mm.)

Los sucesivos espesores de las distintas clases o números de chapas finas se regulan según galgas variables de unos países a otros. Las más extendidas son la galga inglesa («*Birmingham wire gauge*», también para alambre), la alemana y la francesa o galga de París. En esta última, adoptada en España, el núm. 1 corresponde a la chapa de 0,6 mm.; los números sucesivos hasta el 11 van aumentando cada uno en una décima de milímetro; en los números siguientes los saltos varían, siendo de 2, 3, 4, 5 o 6 décimas. Con un aumento sobre el precio de base, las fábricas proporcionan chapas cortadas a medidas exactas. La dimensión máxima más corriente en las chapas finas es la de 2 x 1 m. El ancho de las chapas gruesas laminadas por «Altos Hornos de Vizcaya» varía de 10 en 10 cm., desde 1 a 2 m., con longitudes que oscilan entre 4 y 13 metros, en función de las otras dos dimensiones.

Para preservarlas de la oxidación, se fabrican también *chapas galvanizadas* y *chapas emplomadas*, que se utilizan, sobre todo, para revestir techumbres, cons-

truir depósitos, canalones y tubos de bajada de aguas. Para el peso de la capa protectora hay que contar, como mínimo, con 0,5 kg./m.². « Altos Hornos » y « Basconia » producen chapa galvanizada de 2×1 m.; la chapa emplomada de esta última sociedad es de $1,2 \times 0,6$ m.

Las chapas de hierro ordinarias, es decir, sin ningún revestimiento, se llaman *negras*.

b) *Chapas estriadas*. Son generalmente de acero dulce Martin-Siemens; las estrías salientes, con relieves de $1 \frac{1}{2}$ a $2 \frac{1}{2}$ mm., se cruzan diagonalmente dibujando rombos. Su peso excede en 4 a 4,5 kg./m.² el de las chapas lisas. « Altos Hornos » proporciona chapa estriada con espesores comprendidos entre $5 \frac{1}{2}$ y 10 mm., y anchos de 750 a 1250 mm.; « Duro-Felguera », chapa de 5 a 12 mm. de grueso por 600 a 1400 mm. de ancho. Se emplean para revestimientos y pisos de toda clase. La *chapa raspa* (llamada también « apezonada ») puede servir para el mismo objeto.

c) *Chapa desplegada* (metal *deployé*). Se obtiene partiendo de chapas lisas recocidas en las que se producen una serie de cortes dispuestos al tresbolillo, es decir, en líneas paralelas interrumpidas alternadamente. Estirando entonces las chapas por ambos lados, se abren las hendiduras y resultan a modo de rejillas con mallas romboidales. Se aplican en primer término para armar losas o placas de hormigón, para soportar revocos y para formar rejillas.

d) *Chapas curvadas* (bovedillas invertidas o colgantes). Planchas de acero dulce (de fusión o de pудelado), combadas según arcos rebajados con flechas de $\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{12}$. Por lo común, su longitud está comprendida entre 0,5 y 3,0 m., su anchura entre 0,5 y 2,0 m. y su grueso entre 5 y 10 mm. Las mayores tienen 4 m.² de superficie y su grueso varía de 5 a 10 mm. Tienen dos rebordes planos, en el sentido de las cuerdas, de 60 a 80 mm. de ancho, para su roblonado. Se emplean

generalmente en tableros de puentes (Metropolitano elevado de París, por ejemplo), con la convexidad hacia abajo.

e) *Placas embutidas*. Constituyen a modo de casetones, rectangulares, cuadrados o trapeciales, enmarcados por sus cuatro lados, cuya parte central se halla embutida formando una bovedilla rebajada, de rincón de claustro. Flecha: de $\frac{1}{10}$ a $\frac{1}{15}$; ancho de los rebordes: 40 a 80 mm. Su longitud y anchura se hallan comprendidos entre 0,5 y 1,8 m. Sirven para formar tableros de puentes metálicos, disponiéndose casi siempre con las bovedillas colgantes.

f) *Chapa ondulada* (véase pág. 227). Las chapas finas con ondulaciones poco pronunciadas se obtienen de ordinario por laminación; las placas gruesas y las de relieves profundos se forjan con prensas. Según su perfil se distinguen las *chapas onduladas sencillas* o rebajadas (fig. 55, a) y las *chapas onduladas para carga* (fig. 55, b). En las primeras el ángulo que abraza las ondas (parabólicas) es menor que 180° , mientras que el perfil de las segundas está constituido por dos series de semicircunferencias mutuamente invertidas, enlazadas por segmentos de recta. También en estas clases existen series normales. Las chapas galvanizadas son de uso muy frecuente; su peso excede en un kilogramo, próximamente, el de las chapas negras. Todas estas planchas se encuentran también en el mercado curvadas en sentido longitudinal, en cuyo caso reciben el nombre de *planchas combadas*. Con carga uniformemente repartida, las chapas onduladas para carga, combadas según flechas de $\frac{1}{12}$ a $\frac{1}{10}$, son susceptibles de soportar cargas de 8 a 10 veces mayores que las que se admiten en las chapas onduladas rectas.

Las *chapas Knutson*, patentadas, de ondulación doble o triple, constituyen perfiles derivados del anterior (fig. 55, c a e). En la *chapa doble* los nodos sucesivos

de la chapa normal se hallan alternativamente dirigidos hacia arriba y hacia abajo (fig. 55, *c* y *d*); en la *chapa triple*, la inversión se presenta en nodos y vientres, uno cada tres (fig. 55, *e*). Con esto resultan chapas onduladas que, con la misma cantidad de material, o sea, con el mismo peso, poseen alturas dos o tres veces

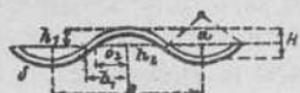


FIG. 55 a
Chapa ondulada sencilla

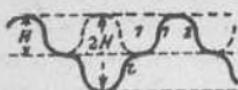


FIG. 55 c

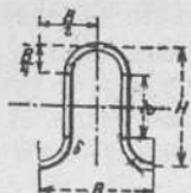


FIG. 55 b. Chapa ondulada para carga

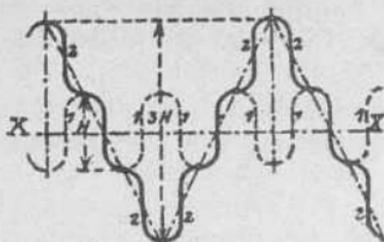


FIG. 55, e

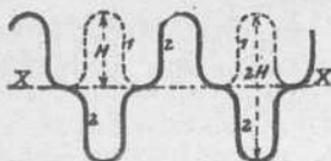


FIG. 55, d

FIGS. 55, c, d y e: Chapas Knutson; generación

mayores que las de las chapas onduladas ordinarias. Los módulos o momentos resistentes de las chapas dobles — tanto las de ondas rebajadas como las otras — experimentan un aumento aproximado del 65 % con respecto a las chapas onduladas ordinarias, aumento que en las chapas triples alcanza el 130 %. Además de esta notable superioridad, los nuevos tipos de chapas onduladas presentan sobre los antiguos la ventaja de hacer posible el empleo de chapas más delgadas alcanzando mayor rigidez. Se emplean en el forjado de techos, tableros de puente, tejados, cubiertas de naves sin apoyos intermedios (para luces moderadas, son más

económicas que las cubiertas con cuchillos de armadura metálicos), etc. (1).

3.º **Roblones, pernos y clavos.** a) *Roblones.* Según la forma de la cabeza, se distinguen los roblones ordinarios o de *cabeza hemisférica* y los roblones o remaches de *cabeza perdida, plana o avellanada*. Los roblones de cabeza perdida que en lugar de ser plana es ligeramente convexa, se llaman *de gota de sebo*. Los roblones se suministran con una cabeza hecha. La que sirve para cerrarlos se remacha en la obra sobre la caña saliente, introducida al rojo en el agujero. Los diámetros de las cañas de los roblones normales varían de 6 a 26 mm. aumentando de dos en dos, aunque muchas veces se utilizan también roblones de 13 y 23 mm. de diámetro.

Resulta práctico indicar en los dibujos de proyectos los roblonados de fuerza más usados con los símbolos siguientes :

13 mm.	φ	20 mm.	○	26 mm.	⊗
16 »	⊕	23 »	∅		

Cuando la cabeza superior del remachado deba ser avellanada se indica encerrando el signo dentro de otro circulito ; cuando lo es la cabeza inferior, el círculo se dibuja de trazos. Si son perdidas ambas cabezas los dos círculos se trazan con líneas interrumpidas. De modo análogo se representan las uniones con pernos, pero pintando el círculo negro.

b) *Pernos de unión.* Constan de un tornillo, con la cabeza fija, una arandela y una tuerca. En cuanto a las roscas, existen varios sistemas de empleo diverso,

(1) Las chapas Knutson son fabricadas por los talleres siderúrgicos « König » y « Laura » (Alta Silesia), con alturas máximas hasta 22 cm. y espesores desde 2 a 3 mm. en adelante. También se fabrican combadas.

siendo los perfiles Withworth y el llamado «internacional», los más difundidos (1).

c) *Clavos*. Con referencia a su modo de obtención se distinguen tres clases de clavos: forjados, cortados y de alambre.

Los *clavos forjados* se fabrican generalmente a mano, partiendo de varillas cuadradas llamadas cuadradillos. Para la unión de maderas se utilizan también clavos de tornillo, forjados y roscados.

Los *clavos cortados o de chapa* (escarpías) se producen mecánicamente cortando en frío tiras de palastro y formando varillas rectangulares cuyas puntas cuneiformes se dirigen alternativamente a uno y otro lado de las tiras. El material comprendido entre dos puntas sirve para formar las cabezas acodilladas. Miden de ordinario de 7 a 13 cm., pero se usan hasta de 50 cm. Sirven para clavar alfajías, tablas y postes.

Las *puntas de París*, cuyas longitudes se hallan comprendidas entre 0,6 y 24 cm. se fabrican de alambre (redondo o cuadrado), estirado en frío y sin recocer, empleando máquinas de gran producción que al mismo tiempo que forman las cabezas, enderezan la espiga y cortan la punta.

4. *Cables*. Por razón del uso a que se destinan se clasifican en dos clases: cables tractores (para máquinas de extracción, grúas, etc.) y cables portantes (construcción de puentes).

a) *Cables tractores*. Se componen por lo común de alambres de acero de 1 a 3 mm. de diámetro. Los alambres se enrollan primero sobre almas de cáñamo o de acero dulce, para formar cordones, obteniéndose los cables por la reunión de varios de éstos. Para evitar la tendencia a destorcerse, en el colchado de los cables

(1) Para más detalles consúltese *Manual del constructor de máquinas*, por el Prof. H. DUBBEL. EDITORIAL LABOR, S. A., Barcelona.

se enrollan los cordones en sentido contrario a aquel en que se hallan retorcidos los cordones (*colchadura cruzada*).

b) *Cables portantes*. Un tipo de empleo general está constituido por los *cables cerrados* que, a diferencia de los anteriores, no están compuestos por la reunión de cordones, sino colchados por enrollamiento directo de alambres de perfil especial sobre un alma de alambres redondos. Los sucesivos enrollamientos en espiral van dispuestos en sentido contrario. Los perfiles de los distintos alambres están estudiados de modo que la sección del cable contenga la mayor cantidad posible de metal, es decir, procurando que entre ellos exista el máximo contacto. Los pequeños intersticios que quedan, la misma máquina que forma el cable los va rellenando con algún producto antioxidante (por ejemplo, minio). También los cables cerrados, cuya superficie es relativamente lisa, conservan la flexibilidad necesaria para poderlos enrollar en grandes tambores y expedirlos en esta forma. Los inevitables empalmes de los hilos que componen los cables se realizan por soldadura, a medida que van siendo necesarios. Se ha visto experimentalmente que esto no perjudica la resistencia de los cables, pues su valor total equivale siempre a la suma de las resistencias parciales de los distintos alambres. Este resultado es fácil de explicar, toda vez que, por la presión que la colchadura determina entre los distintos hilos, se desarrollan resistencias de rozamiento que imposibilitan los deslizamientos individuales.

5. *Cadenas*. Las empleadas para ataduras, amarras y suspensión de cargas, se forjan generalmente partiendo de varillas y barras redondas. Las cadenas cuyos eslabones están afianzados con un *mallete* diametral, soldado transversalmente, ofrecen algunas ventajas.

4. Principales propiedades de los hierros empleados en construcción

ELASTICIDAD Y RESISTENCIA

a) **Contenido de carbón.** En términos generales, puede decirse que la resistencia del hierro a la tracción está en razón inversa de la cantidad de *carbono*. Dosificaciones ordinarias: Hierro colado, 2,0 %; acero, de 0,5 a 1,6 %; hierro dulce, 0,5 % (de 0,1 a 0,5 % en los hierros martillados, batidos, de pudelado y de paquete y de 0,05 a 0,25 % en los hierros de fusión). El *fósforo* es generalmente perjudicial, pues aunque da mayor fluidez a la fundición hace los hierros agrios y « quebradizos en frío ». Igualmente perjudicial es el *azufre*, pues disminuye la resistencia y la soldabilidad y hace los hierros « quebradizos en caliente ».

Los aceros duros, con 1 % de carbono, conservan todavía, en cierto grado, propiedades de maleabilidad y soldabilidad, pero, con 1,6 % de C, no pueden forjarse ni soldarse a la fragua. El *silicio* obra en forma análoga sobre la forjabilidad, mientras que el *manganeso* la eleva cuando se halla en proporciones inferiores al 1 % y la reduce cuando su dosificación es mayor. El *manganeso* obra desfavorablemente sobre la soldabilidad a la fragua; tratándose de hierros con poco carbono su dosificación no debe exceder del 0,5 %, manteniéndose siempre por debajo del 1 % aunque se trate de hierros muy carburados. La influencia del silicio sobre la soldadura de fragua es poco sensible; no obstante, no conviene que los hierros que deban someterse a esta clase de trabajo contengan más de 0,2 % de silicio.

La *tenacidad* del hierro aumenta, en general, al crecer la cantidad de elementos secundarios, pero sólo hasta determinado límite, rebasado el cual disminuye con rapidez. En este respecto es el carbono el componente

de influencia esencial. La máxima tenacidad se presenta de ordinario con el 1 % de carbono, mientras que el alargamiento proporcional disminuye a medida que la tenacidad aumenta. De modo análogo, aunque con intensidad menor, obra el manganeso y lo mismo cabe decir del silicio, aunque todavía en menor escala.

Se ha citado ya la acción perjudicial del *fósforo* y del *azufre*. Tratándose de hierros forjables, el contenido de cada uno no ha de llegar al 0,1 %, si bien de ordinario el azufre se mantiene por debajo de 0,05 %. El níquel, el cromo, el vanadio, el molibdeno y el tungsteno, en proporciones determinadas, ejercen una influencia muy ventajosa sobre las propiedades del hierro, empleándose para la obtención de los llamados *aceros especiales* (*aceros al níquel, al cromo, al vanadio, etc.*).

b) **Puntos de fusión.** La fundición gris se funde entre 1200 y 1300°; la blanca entre 1100 y 1200°. Los hierros dulces de pudelado entre 1500 y 1600°; los de fusión entre 1350 y 1450°, y el acero entre 1300 y 1400°C.

c) **Coefficientes de rozamiento.** Fundición sobre fundición: 0,15; hierro dulce sobre fundición: 0,18; hierro dulce sobre hierro dulce, en reposo: 0,25; ídem ídem en movimiento: 0,13; hierros laminados sobre guijo y arena: 0,44 (valores medios).

d) **Coefficientes de contracción.** Hierro colado: $\frac{1}{96}$; hierro en barras: $\frac{1}{55}$ a $\frac{1}{72}$, según que la finura del grano sea menor o mayor; acero de fusión: $\frac{1}{64}$ a $\frac{1}{72}$.

e) **Elasticidad y resistencia.** En el estado de la página siguiente se indican las relaciones entre la elasticidad y la resistencia de las clases de hierro de uso corriente.

El *acero-níquel* (Krupp) presenta las siguientes características mecánicas:

Módulo de elasticidad	2 090 000 kg./cm. ²
Límite de elasticidad	4 000 a 5 000 kg./cm. ²
Límite de fluencia	1 800 a 2 200 kg./cm. ²
Coefficiente de ruptura	6 000 a 7 000 kg./cm. ²

COEFICIENTES MECÁNICOS

Clase de hierro	Fundición	Hierro batido	Hierro de fusión	Acero Siemens	Unidad
Módulo de elasticidad ...	1 000 000	2 000 000	2 150 000	2 200 000	kg./cm. ²
Límite de elasticidad ...	{ 660 (tracción) 1 500 a 1 900 (compresión) }	1 300 a 1 700	2 000 a 2 400	2 400	—
Módulo de elasticidad transversal.....	290 000 a 400 000	770 000	830 000	850 000	—
Límite de proporcionalidad	—	1 300	1 800	2 500 a 5 000	—
Límite de fluencia.....	—	>1800(2200 a 2800)	>2000(2500 a 3000)	> 2 800	—
Alargamiento.....	—	>10 a 12 % (20 %) Palastro > 7 %	> 15 % (25 %) Palastro > 18 %	> 10 % (22 %)	—
Carga de ruptura { tracción (1) ... compresión (2). ruptura { cortadura ...	1 200 a 1 800 7 000 a 8 500 1 000 a 1 100	3 300 a 4 000 > 2 200 > 2 000	3 400 a 4 500 > 2 500 > 3 200	4500 a 8000 y más > 2 800 sin temple > 4 500 templado > 4 000	kg./cm. ²
Coefficientes de trabajo { tracción ... compresión ... de trabajo { cortadura ..	250 500 a 800 200	800 a 1 000 750 a 1 000 600 a 800	{ 1000 a 1200 (1400) (3) 800 a 1 000 (4) }	1 200 1 000	kg./cm. ²
Coefficiente de dilatación } por 1° C	0,0000111 a 0,0000106	0,0000124 a 0,0000118	0,0000121 = 1/8118	{ 0,0000108 a 0,0000124 según temple	—

(1) Carga de ruptura del alambre de acero: 8 000 a 20 000 kg./cm.²; id. del alambre de hierro, sin recocer: 5 500 a 6 500 kg./cm.².
 (2) En este caso se toma a menudo el valor del « límite de fluencia ».
 (3) En el cálculo de armaduras de cubierta y para la tensión máxima teórica resultante de la simultaneidad de todas las cargas posibles, se llega hasta 1 600 kg./cm.².
 (4) *Roblonados*: Cortadura, 1 000 kg./cm.²; presión sobre las paredes del agujero hasta 2 000 kg./cm.²; carga de ruptura por tracción: 3 600 a 4 200 kg./cm.²; alargamiento > 22 %.

Para los aceros dulces, al níquel, puede admitirse, en cifras redondas, una resistencia a la tracción de 5000 kg./cm.², un límite de elasticidad de 3500 kg./cm.² y un límite de fluencia de 2200 kg./cm.² o sea el 60 % del coeficiente anterior.

5. Protección del hierro contra la herrumbre y el fuego

a) **Herrumbre.** El peligro de oxidación del hierro aumenta al disminuir la cantidad de carbono. El hierro forjado ordinario se oxida con menor intensidad que el obtenido por laminación; la misma relación existe entre los hierros soldados o de paquete y los hierros de fusión y entre el acero templado y el acero sin templar. La *herrumbre* u *orín* — resultado de la lenta transformación del hierro en óxido hidratado — tiene lugar por la acción simultánea del aire y del agua y se halla favorecida por la presencia de ácidos y bases (por ejemplo, la cal, mientras que el cemento conserva bien el hierro).

Para que la protección del hierro resulte eficaz es necesario *limpiarlo* previamente, ya de modo mecánico (frotándolo con cepillos de púas de acero o sometiéndolo a la acción del chorro de arena), ya químicos (introduciendo el hierro en baños de ácido diluído, para su desoxidación o «decapado», lavándolo luego con agua de cal y secándolo). Es muy conveniente proteger las piezas de hierro limpiadas por métodos químicos, lo más pronto posible, con una capa de barniz (pintura al óleo, aunque se desconcha fácilmente y es mejor un barniz de minio) y conservarlas resguardadas hasta que estén bien secas. Si se frotan los hierros, después de limpiarlos, con trapos empapados de aceite de linaza se consigue luego mejor adherencia de la pintura al óleo. Entre los medios existentes para preservar el hierro del orín cabe citar los siguientes :

a) *Pinturas*. Al óleo, en dos manos; son higroscópicas, permeables al agua y a los gases. Para evitar las sopladuras de la capa superficial, por absorción de agua, conviene aumentar la cantidad de aceite de linaza y emplear colores de acción neutra.

La primera mano — *capa de fondo*, aparejo o imprimación — se aplica en los talleres mientras que las manos siguientes se dan una vez se halla terminada la construcción. Las superficies que han de quedar luego recubiertas por otras, se protegen antes del montaje con una sola capa superficial.

Capas de fondo o de aparejo. Aceite de linaza con ocre (minio de hierro) o mejor minio de plomo; últimamente se recomienda, como impermeable al agua, la pintura *pearlgrund*.

Capas superficiales. Pinturas al óleo a base de blanco de plomo y de zinc con adición de colores minerales. Pertenecen a éstos los colores: diamante, platino, *bessemer* (1) (conveniente también para la capa de aparejo, pues cunde más que el minio), grises de metal, de hierro (color de plomo), colores de silicato, de zinc, etcétera. Se aconseja la aplicación de tres manos de pintura superficial con intervalos de unos ocho días.

Los colores deben secar rápidamente (la lluvia no debe perjudicarlos después de 24 horas) y ser muy flúidos. Las pinturas demasiado espesas no cubren suficientemente las desigualdades de la superficie del hierro y dan lugar a la formación de ampollas y desgramamientos. Sólo deben emplearse colores molidos.

Pinturas especiales. Las siguientes se emplean tanto para las capas de aparejo como para las manos superficiales: composición *Rathjens*, barniz al alcohol, muy secante, que se aplica sobre aparejos de minio o análogos (2); pinturas *panzer* (3), bastante resistentes,

(1) Rosenzweig & Baumann, de Cassel. (2) D. Decken, Flensburg. (3) Dr. Graff & Co., Berlín.

como aparejo o sobre capa de minio. El *isol* (1) y el *siderosteno-lubrose* (2), resisten los ácidos y las lejías, son perfectamente impermeables y forman una película uniforme y gomosa aplicable sobre viejas pinturas al óleo y sobre minio. *Preolita* (3), muy resistente; *resistol* (4), se cita como duradera y económica; *ferrubrón* (5), ha dado buen resultado en grandes construcciones metálicas. Pinturas *zonca* (6), resistentes y antipútridas; *durabo* (7), para aparejos y capas superficiales. *Inertol* (8), lo mismo que el *isol* (1), muy adecuado para conducciones de agua y depósitos. *Daubolina* (9), sustituto del minio, cubre mejor que éste y seca muy aprisa. Pinturas *dauer* (10), *rubol* (11), *risolina* (12), *meissner* (13), *ueberzugoel* (13), etc. También puede emplearse el alquitrán de hulla, si es flúido y exento de ácidos (composición aconsejable: 8 partes de alquitrán, 2 de cal viva y 1 de aguarrás o petróleo), aun en contacto con agua, sobre aparejo de minio.

β) *Metalización*. La protección del hierro recubriéndolo con delgadas capas de otros metales tiene vastas aplicaciones.

Zincado o galvanizado. Se reconoce por el jaspeado especial que presentan las superficies y que recuerda el aspecto de los cristales de nieve; constituye de ordinario una excelente protección. La capa de zinc pesa alrededor de 0,5 kg./m.². Se ejecuta por inmersión de las piezas en baños de zinc fundido, por procedimientos electrolíticos, por pulverización (procedimiento Schoop) o por *cherardización* (se forma una aleación superficial caldeando el hierro en contacto con polvo de zinc y

(1) Marelli & Fossati, Como. (2) A. G. Jeserich, Hamburgo. (3) A. Prée, Dresde. (4) Vernix-Werke, Berlín. (5) Ernst Gartzke, Berlín. (6) Zonca & Company, Kitzingen del Meno. (7) E. Simon, Dresde. (8) Dr. Rothes Inertol, Paul Lechler, Stuttgart. (9) Holzapfel, Hamburgo. (10) Münch & Röhrs, Berlín. (11) Ruberoid, Hamburgo. (12) Dessauer Rostschutzwerte, Dessau. (13) Meissners Farben, Heidenau-Dresde.

fuera de la acción de aire). El galvanizado se emplea especialmente para las chapas de cubrición y de revestimiento. Las chapas galvanizadas no han dado buen resultado en las cubiertas de las estaciones a causa de la acción corrosiva de los humos de las locomotoras. El *emplomado* ulterior aumenta la resistencia a los ácidos (cubiertas de fábricas de gas, de productos químicos, etcétera). Los recubrimientos con plomo solo, también pueden ser eficaces contra la herrumbre ; se caracterizan por el color gris azulado de las piezas.

El *estañado* ofrece una protección *deficiente* y por este motivo no se emplea en la construcción metálica. Las piezas quedan brillantes y pulidas, con el mismo aspecto de la hojalata. Bastan las más finas grietas capilares en la capa protectora para que la formación de pares galvánicos, susceptibles de descomponer el agua, dé origen a la rápida oxidación del hierro.

Para pequeños elementos constructivos (chapas de cubierta, etc.) puede emplearse también el hierro *cobreado*, excelente pero costoso (metal *Wackwitz*).

γ) La *oxidación artificial* del hierro, provocando la formación de una película envolvente de óxido ferroso-férrico, muy apreciada para determinados objetos de hierro, no se ha introducido todavía en la construcción metálica.

δ) *Cemento portland*. Proporciona una excelente protección del hierro y aun parece que en determinadas circunstancias reduce la herrumbre superficial. Las piezas de hierro se pintan con cuatro o cinco manos de una lechada de cemento puro ; en las superficies expuestas a la acción del aire conviene desleir el cemento con leche desnatada.

ε) *Esmaltado*. Los esmaltes fundidos comunican una perfecta impermeabilidad a las superficies del hierro y por lo tanto las protegen contra la herrumbre. El procedimiento se aplica de preferencia para objetos

usuales de fundición, limpiados previamente, al ácido o por métodos mecánicos. La capa de esmalte consta de dos partes, una masa fundamental o soporte, finalmente molida (cuarzo, bórax, feldespato y arcilla), que después de secar se cuece hasta su vitrificación, y una segunda capa análoga (cuarzo, bórax, sosa y óxido de zinc) que una vez fundida hace al soporte blanco, transparente, y completamente impermeable (esmalte).

b) **Protección del hierro contra la acción del fuego.** Ensayos realizados en Hamburgo, Bremen, Berlín y otras partes, han demostrado que sometiendo a temperaturas comprendidas entre 550 y 620° C. columnas de hierro forjado cargadas a razón de 1000 kg./cm.², pierden completamente su resistencia; el comportamiento de los hierros de paquete y de los hierros de fusión es análogo. La práctica de rellenar las columnas con hormigón proporciona tan sólo un aumento de resistencia insignificante (soportaron las cargas durante 15 minutos más), pero aumenta la flexión lateral al rociarlas. En forma parecida a la de las columnas se comportan todos los elementos resistentes de hierro maleable.

Las *columnas de hierro colado* sometidas exclusivamente a esfuerzos de compresión ($\sigma = 500$ kg./cm.²) no pierden su resistencia hasta 800° C. Si se hacen las paredes de mayor espesor la resistencia no crece proporcionalmente con el aumento de sección; también influye en la conservación de la resistencia la importancia de la carga.

Contrariamente al favorable modo de comportarse las columnas de hierro colado sometidas a altas temperaturas cuando se hallan comprimidas, resisten muy mal cuando se hallan expuestas a esfuerzos de tracción. Por esta circunstancia es preciso que las columnas de los almacenes, bazares, etc., y en general de aquellos edificios en que los perjuicios de un incendio pueden ser

considerables y de graves consecuencias, se construyan siempre de manera que, aun soportando los momentos máximos, todas sus fibras se hallen comprimidas.

Como *elementos de revestimiento* para la protección de las construcciones de hierro han de citarse: cemento; revoque *Rabitz*; hormigón armado (1); placas de yeso; cemento y amianto (2); placas de corcho, con capa interior aislante de tierra de infusorios, o sin ella; *xilolita*; *feuertrotz* (3). La *plutonita* ofrece una protección análoga a la del último revestimiento citado; consiste en la formación de una capa refractaria a base de amianto.

Cuando se revisten columnas con los citados medios de protección interesa todavía rodearlas de una camisa de palastro de 2 mm. de espesor para preservarlas de las acciones mecánicas. No conviene disponer cámaras de aire entre la camisa y la columna, pues la primera resultaría poco resistente; por el contrario, se recomienda adoptar tipos de columnas que dejen en su interior canales de aire.

En Norteamérica, para proteger las construcciones metálicas contra el fuego se emplean casi exclusivamente ladrillos refractarios huecos y placas de arcilla, a modo de terracotas, sujetos con grapas de acero. Esta protección ha dado excelentes resultados.

(1) Aplicable sobre la tela de «alambre cerámico» de la casa Stauss, de Cottbus (véase pág. 270).

(2) Chapas o placas con 75 % de amianto y 25 % de *kieselgur* (tierra de infusorios).

(3) Compuesto de tres capas: una inferior, mal conductora del calor — *kieselgur* —, otra intermedia carbonizable y, por lo tanto, susceptible de consumir calor — polvo de lana, aserrín, etcétera — y una exterior de arcilla, capaz de apelmazarse constituyendo una envolvente eficaz contra los chorros de agua.

6. Procedimientos especiales para la soldadura del hierro (1)

1. *Soldadura ferrofix.* Junto a la soldadura ordinaria por los métodos de fragua del hierro forjable (al rojo blanco) y del acero (al rojo naranja), hay que citar para el hierro colado el método de soldadura fundado en el empleo del producto *ferrofix*, substancia que, reaccionando químicamente con la fundición, la transforma en los puntos de contacto en hierro maleable. El ferrofix permite igualmente la soldadura del hierro colado con otros metales (cobre, acero, etc.), dando uniones muy resistentes.

2. *Procedimiento Goldschmidt.* Se emplea para soldaduras y reparaciones en piezas de hierro maleable y de acero moldeado. El procedimiento, cuya idea original pertenece al inventor catalán Narciso Monturiol, se funda en la combustión de una mezcla de óxidos metálicos (hierro) y aluminio. Una vez inflamada con cartuchos especiales (*cabezas de ignición*) arde con facilidad, con temperaturas de unos 3000°, dando metal líquido (hierro) y óxido de aluminio. En esta forma pueden desarrollarse grandes cantidades de calor concentradas en reducido espacio, lo que puede servir, de una parte, para soldar piezas de hierro puestas en contacto (por ejemplo, carriles de tranvía, extremos de tubos, etc.) o bien para reponer partes rotas en piezas de acero moldeado, colando el metal líquido obtenido; de este modo, según las substancias que se añaden al hierro líquido, pueden obtenerse aceros de las calidades que se deseen. La mezcla que proporciona hierro líquido, con desprendimiento de calor, se conoce en el mercado con el nombre registrado de *termita*.

(1) Para más detalles, véase HUGO KRAUSE y PAUL SCHIMPKE, *Trabajos de Taller*, EDITORIAL LABOR, Barcelona.

3. *Soldadura eléctrica.* En esencia, los distintos sistemas en uso se fundan ya en el empleo de corrientes de gran intensidad y pequeña tensión (procedimiento Thomson), ya de corrientes de pequeña intensidad y elevado voltaje (procedimiento Lagrange y Oho).

4. *Soldadura autógena.* Así llamada por ejecutarse por simple fusión de las partes en contacto, sin auxilio de fundentes ni metales distintos del que constituye las piezas que se sueldan. El caldeo de las piezas, hasta la fusión de los bordes que se han de reunir, se ejecuta por medio de sopletes, siendo los más difundidos el *soplete oxhídrico* y, sobre todo, el *soplete oxiacetilénico*. Con el primero, empleando hidrógeno y oxígeno comprimidos a 150 atmósferas, se obtiene una llama que proporciona una temperatura de unos 2400° (oxiacetilénico 3300°). Moviendo lentamente el dardo del soplete sobre los bordes de las superficies que tratan de soldarse, yuxtapuestas de modo adecuado, llegan a licuarse soldándose mutuamente. Esta forma de proceder por *soldadura a tope* se aplica sólo en chapas delgadas (hasta 3 mm. de espesor). Los palastros más gruesos se achaflanar previamente de modo que entre los bordes se forme una especie de reguera triangular que se rellena con el metal de una varilla que el operario va presentando delante del dardo a medida que mueve el soplete para calentar los bordes. El martillado de las soldaduras todavía calientes (del rojo blanco al rojo oscuro) aumenta su resistencia, sin que sea posible, no obstante, alcanzar la del palastro original. El soplete oxhídrico permite soldar palastros hasta 8 mm. de espesor, mientras que con el soplete oxiacetilénico se sueldan fácilmente planchas de 10 mm. (hoy se llega a gruesos muy superiores). De estos últimos sopletes existen variadísimos modelos que pueden reducirse a dos clases: sopletes *de baja presión* (oxígeno 0,5 a 3 atmósferas; acetileno a 0,015 atmósferas) y sopletes

de alta (oxígeno y acetileno a unas 3 atmósferas). La generalidad de los talleres acostumbra a producir el acetileno, partiendo del carburo de calcio, en gasógenos especiales; para los trabajos de reparación se usa de preferencia el acetileno disuelto en acetona, que las fábricas suministran en tubos *ad hoc* (reellenos de una substancia porosa, como el *kapock*), comprimido a unas 15 atmósferas.

Los sopletes de mezclas oxigenadas pueden utilizarse igualmente para cortar planchas y piezas de hierro y de acero hasta espesores considerables (500 mm.). Basta para ello calentar un punto determinado hasta iniciar la fusión; cerrando en este momento la entrada del gas combustible, el chorro de oxígeno quema el hierro líquido hasta horadar el metal y puede proseguirse el corte en la dirección deseada a expensas del mismo calor producido.

Datos comerciales: Oxígeno. En España existen fábricas de oxígeno en Barcelona (4), Madrid (2), Bilbao (2), Sevilla (2), Zaragoza (1), Málaga (1), Gijón (1), Manresa (1) e Inca (1). El producto se expende envasado a 150 at. en botellas de acero de 0,75, 1,5, 2, 2,5, 5,5, 6, 7 y 7,5 m.³. El precio medio del producto en España es de unas 2,50 ptas./m.³ (en Barcelona, 1,80 pesetas/m.³). La producción total de oxígeno en el año 1925 fué de unos 2 200 000 m.³, consumidos en su casi totalidad para alimentar sopletes oxiacetilénicos (Cataluña absorbió cerca de la mitad de esta producción).

Carburo de calcio. Las fábricas más importantes se encuentran en Berga, Flix, Corcubión, Boo, Esparraguera y Ribes del Fresser. La cotización varía esencialmente en función del tamaño de los trozos o granos. La clase superior A, llamada « gasómetro », está constituida por fragmentos que miden de 150 a 100 mm. de lado (precio medio: 650 ptas./ton.); la clase B, *lámpara*, se compone de trozos de 50 a 10 mm. (650 ptas./ton.). Existen además tres clases de carburo *menudo*, C. CC y CCC, con granos de 10 a 5, de 5 a 3 y de 3 a 1 mm., respectivamente, que se pagan alrededor de 500 ptas./ton.

Acetileno disuelto. Se produce en nueve fábricas distribuidas en Barcelona, Madrid, Bilbao, Valencia, Corcubión, Málaga, Gijón y Sevilla. Para la industria se expende en botellas de acero que, a 16 at., contienen 4 ó 5 m.³ de acetileno disuelto en acetona. Oficialmente se permite en España cargar las botellas hasta 20 at.; pero las presiones elevadas son sumamente peligrosas cuando las

botellas deben emplearse en regiones frías. El precio medio del producto es igual a 6 ptas./m.³, aproximadamente.

Hidrógeno. En la actualidad lo produce únicamente para el mercado la « Oxhídrica de Zaragoza ». Se expende en botellas, comprimido a 150 at. a 3,50 ptas./m.³.

7. Ensayo del hierro

En los distintos países existen pliegos de condiciones oficiales, donde se señalan las propiedades que deben reunir los productos siderúrgicos empleados para diversos fines. En este respecto son especialmente notables las prescripciones facultativas que rigen en Alemania para el suministro de hierros y aceros de construcción (1) y a ellas nos referiremos en primer lugar en el extracto que sigue.

a) **Hierro dulce**, de fusión (2). En las partidas sometidas a ensayo todos los trozos deben ir numerados. De cada partida se ensayan tres unidades, pero, a lo sumo, una por cada veinte. Cuando el ensayo de una partida no resulta satisfactorio, se procede a nuevo examen tomando 5 unidades por cada 100, aunque, como máximo, una pieza por cada 2000 kg. del mismo perfil laminado.

En ambos casos se procura estropear tan sólo las recortaduras de los extremos.

I. Cuando del simple aspecto exterior de los materiales no pueda inferirse su mala calidad (pues en otro caso se rechazarían de plano), se someten primero al siguiente *ensayo de ruptura por tracción* :

a) Las *barras* de 7 a 28 mm. de grueso, con secciones de superficie mínima igual a 200 mm.² (3), deben acusar una resistencia :

(1) *Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken- und Hochbau.*

(2) Los hierros de pudelado o de paquete casi no se usan en la construcción.

(3) Si la sección de la probeta es menor que 300 mm.², la longitud de ensayo puede calcularse por la fórmula $l = 11,3\sqrt{F}$.

	Mínima	Máxima
1. En sentido longitudinal .	37 kg./mm. ²	44 kg./mm. ²
2. " " transversal ..	36 " "	45 " "

Los alargamientos mínimos deben ser respectivamente iguales a 20 y 17 %.

β) Las *barras* de 4 a 7 mm. de grueso, con secciones por lo menos de 200 mm.², han de resistir cargas

	Mínima	Máxima
1. En sentido longitudinal .	37 kg./mm. ²	46 kg./mm. ²
2. " " transversal ..	36 " "	47 " "

Alargamientos mínimos: 18 % en primer caso y 15 % en el segundo.

Para roblones y pernos debe emplearse según esto un material dulce y muy extensible.

II. Los *hierros tableados* y los *perfiles* se someten además a los siguientes ensayos :

Prueba de doblado :

Cortando barretas, tanto *a*) en sentido longitudinal como *b*) en sentido transversal, calentándolas al rojo cereza y enfriándolas bruscamente en agua a 28°, deben poder doblarse completamente según arcos cuyo diámetro en el primer caso (*a*) sea igual al espesor de las barretas y en el segundo (*b*) sea igual al doble. El doblez de las barretas (*a*) no debe manifestar ningún agrietamiento y en las barretas (*b*) tan sólo grietas superficiales sin importancia.

Prueba de ruptura en caliente :

Una probeta forjada, de 6 mm. de espesor por unos 40 mm. de anchura, a la temperatura del rojo, debe poderse perforar con un punzón cónico de 80 mm. de longitud y 20 a 30 mm. de diámetro, sin que se produzcan resquebrajaduras, particularmente al ensanchar el agujero.

III. *Roblones y pernos.* En los ensayos de flexión se prescribe que las barras, calentadas hasta el rojo

claro y enfriadas bruscamente en agua a 28°, puedan doblarse sobre un arco cuyo diámetro sea igual a la mitad del espesor de las probetas, sin que se produzcan agrietamientos. En la prueba de aplastamiento se exige que un trozo del material, cuya longitud sea igual al doble de su diámetro, en caliente (temperatura correspondiente a la de empleo) pueda aplastarse o «recalcarse» hasta un tercio de su longitud, sin mostrar grietas.

IV. *Chapas de hierro maleable* (Martin-Siemens). Como se ha visto en la página 232, se distinguen las chapas finas, de menos de 5 mm. de espesor, y las chapas gruesas, y, por lo que respecta a empleo y aplicación: chapas para depósitos y chapas para construcción.

Para reconocer la bondad de las chapas de acero dulce, se ejecutan las pruebas siguientes:

1. Ensayo de ruptura y alargamiento. 2. Ensayo de dobladura. 3. Ensayo de forjabilidad. 4. Ensayo de punzonado.

1. *Ensayo de ruptura y alargamiento.*

Espesor de la chapa: 5 a 7,9 mm.			• 8 a 28 mm.			> 28 mm.		
<i>a</i>	<i>b</i>	Coefficiente \wedge de bondad de máxima suma $\frac{a+b}{a}$	<i>a</i>	<i>b</i>	Coefficiente \wedge de bondad de máxima suma $\frac{a+b}{a}$	<i>a</i>	<i>b</i>	Coefficiente \wedge de bondad de máxima suma $\frac{a+b}{a}$
36 a 43 kg/mm ²	18 %	57	35 a 42 kg/mm ²	20 %	58	34 a 41 kg/mm ²	22 %	59

Con la introducción en el cuadro anterior del concepto «coeficiente de bondad» trata de impedirse que se rehusen chapas que presenten al mismo tiempo el mínimo coeficiente de resistencia y el mínimo alarga-

miento proporcional; el coeficiente de bondad — y de ahí su nombre — corresponde a una calidad particular del material.

2. *Ensayo de dobladura.* Se calientan hasta el rojo oscuro cintas de palastro cortadas en la dirección del laminado o normal a ella y se enfrían bruscamente en agua a 28°. Seguidamente se pliegan sobre un mandril, cuyo diámetro es tres veces mayor que el espesor de la chapa, tratándose de palastros para depósitos, o dos veces mayor si el palastro es de construcción, pero con un diámetro mínimo de 25 mm.

El ángulo de dobladura de la probeta debe ser de 180°. Las chapas se consideran como prácticamente rotas cuando en la parte convexa y en el centro del doblado el metal muestra alguna fractura franca.

3. *Ensayo de forjabilidad.* Se parte de una tira de chapa de 50 a 60 mm. de anchura y se martillea en caliente hasta que su ancho aumente un 50 %; no deben presentarse agrietamientos en la superficie ni en los cantos.

4. *Ensayo de punzonado.* Se prescribe que, calentada una chapa al rojo, pueda taladrarse con el punzón a una distancia del borde igual al semiespesor de la chapa, sin que se desgarre la orilla. Este ensayo es de especial importancia, pues en el metal de fusión se presentan con facilidad grietas capilares.

b) **Acero de fusión.** Las piezas de acero (Bessemer o Martin-Siemens), fundidas o forjadas, deben presentar una resistencia mínima (carga de ruptura) de 45 a 60 kg./mm.² y un alargamiento del 10 % (1).

(1) Pliego de condiciones normales alemanas. Las nuevas prescripciones del *Verein deutscher Eisenhüttenleute*, exigen que la resistencia a la tracción, en general, según la aplicación a que se destinen las piezas, en el caso del *acero moldeado*, importe de 36 a 60 kg./mm.² con un alargamiento mínimo de 20 a 8 % (medido sobre una longitud de 300 mm.).

Este ensayo proporciona el mejor medio técnico para establecer el límite que distingue el acero del hierro maleable. Así, *los hierros cuya resistencia a la tracción es ≤ 45 kg./mm.², se consideran como hierros dulces y son aceros los que presentan una resistencia mayor.* Esta convención permite distinguir fácilmente ambas clases de hierro y con ella se han salvado las dificultades derivadas de otras normas para diferenciar dichos materiales, tales como, contenido de carbono y templeabilidad, etc.

En el caso de piezas fundidas, siempre que es posible, se aconseja que la colada de las probetas se realice en el mismo molde de las piezas y quedando enlazadas unas y otras; las probetas se cortan en frío de las piezas después de recocer. También pueden moldearse separadamente.

c) **Piezas de fundición.** Todavía hoy es frecuente apreciar la bondad de los hierros colados por el aspecto de su fractura, estimándose, en la *fundición gris*, el color oscuro y, los granos gruesos y, en la *fundición blanca*, la finura y homogeneidad de la cristalización. Si bien es cierto que un lingote de grano grueso es, por lo regular, rico en grafito, y como tal susceptible de soportar nuevas refusiones, y que un lingote oscuro puede ser silicioso, así como que, en el caso del lingote blanco, el aspecto de la fractura proporciona indicios sobre la dureza, contenido de manganeso, etc., no hay que olvidar que en el color y la textura, además de la composición del material, influyen otras muchas circunstancias.

Por la razón citada no es admisible hoy juzgar sobre la calidad de la fundición por el simple aspecto de su fractura. El examen correcto y exento de crítica sólo puede obtenerse por el análisis químico y debe completarse por algunos ensayos de fusión y colada.

En las piezas de *fundición gris, blanda* (siempre que no se trate explícitamente de las llamadas fundiciones

endurecidas, templadas o aceradas) se prescribe una resistencia mínima a la tracción de 12 kg./mm.². La blandura del material debe ser tal que al golpear una arista viva con un martillo quede una huella sin que el borde se descantille.

Una probeta de sección cuadrada, de 30 mm. de lado, colocada sobre dos apoyos a un metro de distancia, debe poder soportar una carga en el centro, que, elevándose gradualmente, llegue hasta 450 kg., sin romperse. Dicha carga corresponde a una resistencia a la flexión de 25 kg./mm.².

En el espesor de las paredes de las piezas huecas, cuya sección mínima alcance el *valor prescrito*, tratándose de columnas de hasta 400 mm. de diámetro exterior y 4 m. de longitud, se admitirán discrepancias máximas de 5 mm. En columnas de mayor diámetro y longitud, por cada 100 mm. de aumento en el diámetro y cada metro de exceso en la longitud, se aumentará la tolerancia en $\frac{1}{2}$ mm. No obstante, *en ningún caso el espesor de paredes será menor que 10 mm.*

Cuando las columnas deban ser fundidas con moldes verticales, se establecen prescripciones especiales.

Los pesos específicos-tipo, referidos al metro cúbico, son :

Hierro pudelado o de paquete	7800 kg.
Hierro dulce de fusión	7850 »
Acero	7860 »
Hierro colado	7250 »

B. Plomo, zinc y cobre

1. Plomo

El plomo se obtiene de ordinario beneficiando la galena. Es muy fusible y dilatado, fácil de doblar y resistente a los agentes meteóricos. Aleado con el antimonio en la proporción de 5 a 10 % se hace más duro

y resistente a la compresión, conservando, no obstante, cierta plasticidad. Esta aleación se conoce con el nombre de « plomo endurecido ». El plomo tiene para la construcción la ventaja de que cuando se halla cargado por encima de su coeficiente de resistencia a la compresión, se aplasta automáticamente (se dice que el metal « fluye ») y toma una superficie de carga en correspondencia con la fatiga experimentada.

Coefficiente de dilatación para 1° C.	$\frac{1}{351}$
Punto de fusión	376° C.
Peso específico	11,25 a 11,4

COEFICIENTES DE RESISTENCIA

	Tracción	Compresión	Cortadura
Plomo ordinario	150	125 a 300	75 kg./cm. ²
Plomo endurecido	300	500	120 kg./cm. ²

El coeficiente de seguridad se toma igual a $\frac{1}{5}$. El módulo de elasticidad del plomo ordinario es igual a 50 000 kg./cm.².

Aplicaciones: *Planchas laminadas* (las fábricas proporcionan planchas de 0,5 a 12 mm. de espesor, 3,0 a 10,0 m. de longitud, 1,5 a 3,0 m. de anchura y de 1200 kg. de peso máximo. Para cubrición de techumbres se emplean chapas de 1,5 mm. de espesor, 80 a 70 cm. de anchura y 10 a 15 m. de longitud. Se emplea asimismo para el revestimiento de muros, capas de bóvedas (acueductos de piedra), articulaciones de puentes (en el tercio medio de la juntura, de ordinario plomo endurecido), placas de apoyo destinadas a transmitir uniformemente las cargas de las vigas y, en general, siempre que en las estructuras de hierro son de tener cargas elevadas y desigualmente repartidas. Sabiendo que 1 m.² de plancha de plomo de 1 mm. de espesor pesa 11,5 kg., es fácil deducir el peso de cualquier revestimiento.

El *plomo fundido* se emplea para asegurar hierros, palomillas, grapas, etc., en la piedra (aunque para esta aplicación va cayendo en desuso), para rellenar los enchufes de las tuberías de hierro, etc. Los *tubos de plomo*, blando o endurecido, son de vasta aplicación en las conducciones de agua. Como las aguas de mina o de manantial contienen siempre CO_2 , ClNa , etc., y aun SO_3 , se forman en el interior de los tubos sales de plomo que los protegen contra su ulterior disolución y evitan el peligro de las intoxicaciones. No hay que olvidar, no obstante, que si por las tuberías que han conducido agua ordinaria se hace pasar agua de lluvia ésta puede disolver los revestimientos y dar origen a «cólicos saturnianos». La protección de las paredes de los tubos se alcanza asimismo haciendo pasar por ellos una solución de sulfato sódico, para provocar la formación de una capa insoluble de sulfato de plomo. El mismo objeto se persigue con el galvanizado. El diámetro interior de los tubos de plomo ordinario varía, por lo común, entre 10 y 80 mm. y en el plomo endurecido entre 15 a 200 mm. con espesores de pared comprendidos entre 2,5 a 3,0 mm. y hasta 30 m. de longitud.

También se encuentran en el mercado *hilos y varillas de plomo* de 1 a 15 mm. de espesor. Peso de 100 m. : 1 mm. diámetro, 0,9 kg. ; 3,0 mm., 8,0 kg. ; 6,0 mm., 32,2 kg. ; 9,0 mm., 72,5 kg. ; 12,0 mm., 128, kg. ; 15,0 mm., 200 kg.

$E = 70\,000$ kg./cm.². $K = 170$ (blando) a 220 kg./cm.². (endurecido).

Han de citarse en este punto las chapas aislantes «Siebel», consistentes en una plancha de plomo revestida por ambas caras con capas de fieltro asfaltado. Según los usos a que se destinan, se emplean con chapa de plomo sencilla (marca A), de $1\frac{1}{2}$ (B), doble (C), triple (D), etc. Para alcanzar una perfecta uniformidad en el espesor de las chapas de plomo, las hojas se lami-

nan hasta longitudes de un metro y se preparan rollos de 10 a 20 metros soldando varias hojas. Aplicaciones : a) para aislamiento de muros ; en anchos inferiores a 90 cm., rollos de 20 metros ; para anchos mayores, en rollos de 10 m. (la marca A, con chapa sencilla, pesa unos 6 kg./m.²) ; b) para el recubrimiento de grandes superficies (bóvedas puentes, tejados, depósitos, etcétera) en rollos de 1 m. de anchura y 10 m. de longitud, con chapa intermedia más gruesa que en el caso anterior. Las capas exteriores son de fieltro de lana impregnado con asfalto purificado y sometido a un tratamiento especial.

2. Zinc

Los minerales que se benefician ordinariamente son la *calamina* (carbonato de zinc, CO_3Zn , y a veces silicato o mezclas de ambos) y la *blenda* o sulfuro de zinc (SZn) por tostación y reducción.

El metal, de color gris azulado, es algo brillante, con fractura cristalina y escamosa. Entre 100 y 150° puede forjarse y se trabaja con facilidad ; en otro caso es quebradizo. En la atmósfera húmeda se recubre con una película protectora, muy tenue, de oxicarbonato. $d = 7,2$; $E = 150\,000$ kg./cm.². La resistencia a la tracción del metal laminado es igual a unos 1600 kg./cm.² en el sentido de las fibras, elevándose hasta 2500 kg./cm.² en dirección transversal ; $K_e = 1000$ kg./cm.², como término medio. El coeficiente de trabajo a la tracción, compresión y cortadura se toma igual a 200 kg./cm.², reduciéndose a 150 kg./cm.² para la flexión. El coeficiente de dilatación lineal es muy elevado, importando $\frac{1}{330}$. Esta circunstancia debe ser tenida muy en cuenta en todos los puntos en que la plancha de zinc se halla en contacto con otros metales. El zinc funde a 360°C.

Se aplica principalmente en la técnica constructiva en forma de planchas y también moldeado por fusión.

a) **Plancha lisa.** Para revestimiento de techumbres y cornisas, bajadas de aguas, canalones, etc. La galga alemana, adoptada igualmente por las fábricas españolas, francesas y belgas, comprende 26 números ($\delta = 0,1$ a $2,68$ mm.) siendo los más empleados en la construcción los calibres siguientes:

N.º	12	13	14	15	16
δ	= 0,6	0,74	0,82	0,95	1,08 mm.

Un metro cuadrado de chapa de 1 mm. de espesor pesa 6,8 kg.

Para el revestimiento de tejados se emplean los números 14 a 16; para tubos de bajada de agua, el núm. 12; para revestimiento de cornisas, los núms. 13, 14 y 15, y para canalones de tejado, el núm. 14.

Longitud máxima de las chapas: 3,0; anchura máxima: 1,65. La « Real Compañía Asturiana de Minas » (Avilés) suministra chapas de $0,80 \times 2$ m. y 1×2 .

b) **Plancha ondulada.** No es tan empleada como la plancha de hierro galvanizado. La « Real Compañía Asturiana de Minas » suministra un perfil cuya onda tiene 100 mm. de anchura por 30 mm. de altura, con las galgas 13 y 16. El largo corriente es de 2,25 m., con anchura constante, igual a 0,75 m.

c) **Lingote de zinc:** Se emplea para motivos arquitectónicos, a veces formando parte de construcciones de hierro, con objeto de evitar piezas complicadas de fundición y prevenir el peligro de tensiones internas. Para rellenar bien los moldes debe colarse muy fluido, pero no a temperatura demasiado elevada, pues en otro caso las piezas resultan porosas; conviene evitar que se impurifique con óxido de zinc, ya que si esto ocurre resulta quebradizo. Las grandes piezas se

forman acoplando por soldadura elementos de tamaño mediano. Conviene proteger el zinc moldeado contra las influencias atmosféricas por medio de barnices o pinturas.

3. Cobre

El cobre se obtiene por beneficio de sus minerales, sometiéndose de ordinario a una refinación electrolítica. El metal, rojo y muy brillante, puede forjarse, estirarse y batirse a la temperatura ordinaria; funde a 1050°C . No se presta para el moldeo, pues el cobre puro rellena los moldes con dificultad y las piezas resultan con sopladuras. $d = 8,9$. Con el recocido se oxida y ablanda, sin que se endurezca de nuevo por la rapidez mayor o menor del enfriamiento como ocurre en el acero; los colores de oxidación o revenido llegan hasta el azul oscuro. En el aire húmedo se recubre de una capa amarilla verdosa de carbonato básico, verdadera pátina que protege el metal de ulterior oxidación. Los gases de la combustión ennegrecen el cobre por dar origen a la formación de sulfuro.

El cobre se emplea en la construcción en forma de chapas, tubos y alambres.

a) **Plancha.** $L_{max} = 6,0$ m. $A_{max} = 2,5$ m. Los anchos más empleados oscilan entre 0,75 y 1 m., variando las longitudes corrientes entre 1,5 y 2,0 m.

Espesores ordinariamente adoptados para revestimientos de cubiertas, 1,0 a 1,25 mm.; para canalones, 0,75 mm.; para placas de apoyo destinadas a transmitir cargas, 1 a 2 mm. Un metro cuadrado de chapa de 1 mm. de espesor pesa 8,9 kg. Coeficiente de dilatación lineal para 100° : $\frac{1}{52}$. $E = 1150000$ kg./cm.² (tracción y compresión). La carga de ruptura a la tracción para la plancha batida sin recocer, es igual a 2700 (kg./cm.² en el cobre electrolítico llega hasta 3800).

El coeficiente de trabajo a la tracción y a la compresión se toma igual a 1400 kg./cm.^2 por término medio; a la cortadura, 600 kg./cm.^2 (chapa *martillada*). A la plancha laminada le corresponden, por el mismo orden, los coeficientes siguientes: 900, 700, 500 kg./cm.^2 , sin recocer, y 300, 200, 150 kg./cm.^2 , recocida.

b) **Tubos.** Se emplean tubos de cobre sin soldadura (preferibles siempre), obtenidos electrolítica o mecánicamente, y tubos soldados y estirados. Su ductilidad debe ser tal que, una vez recocidos y llenos de colofonia, puedan doblarse sobre un mandril cuyo diámetro sea tres veces mayor que el del tubo, sin agrietarse.

c) **Alambre.** La galga alemana comprende 62 números. Sabiendo que 1000 m. de alambre de 1 mm. de espesor pesan 7,07 kg., se deduce que el alambre de 2 mm. de diámetro y de igual longitud pesará 28,28 kilogramos; el de 5 mm., 178,2 kg. y el de 10 mm., 707 kg. $E = 1210000$. Límite de proporcionalidad: 1200 kg./cm.^2 . Coeficiente de trabajo a la tracción: 700 kg./cm.^2 .

4. Aleaciones

Las más importantes en la construcción son las siguientes:

a) **Latón** (cobre amarillo). Lo mismo que sus variedades, latón rojo, tumbaga y latón blanco, es una aleación de cobre y zinc, obtenida por fusión simultánea de ambos metales, cuyo color varía del rojo amarillento al blanco amarillento, según la composición. El latón ordinario (2 partes de cobre y 1 parte de zinc) se presta para la colada; es forjable, laminable y estirable en frío, más duro que el cobre y más difícilmente oxidable que éste $d = 8,6$. $E = 800000 \text{ kg./cm.}^2$. $K_e \cong 800 \text{ kg./cm.}^2$ y $K = 1400 \text{ kg./cm.}^2$ (promedio).

b) **Bronce.** Es una aleación de cobre y estaño con predominio del primero de estos dos metales (bronce de campanas, 78 : 22 ; bronce de estatuas, 93 : 7 ; bronce de medallas, 95 : 5).

Bronce moderno. Contiene cierta cantidad de zinc y algo de plomo.

Bronce fosforoso. Obtenido con adición de fosforo de cobre, que obra como reductor ; muy empleada para cojinetes.

Bronce de aluminio. Contiene ordinariamente 90 partes de cobre por 10 de aluminio. Su áureo aspecto lo hace muy apreciado para trabajos artísticos.

c) **Soldaduras blancas o blandas.** Son aleaciones de estaño y plomo. La empleada para trabajos de hojalatería funde a unos 200°.

d) **Soldaduras amarillas o fuertes.** Son aleaciones de zinc, cobre y estaño, empleadas para soldar objetos o piezas de hierro, acero, cobre, latón, etc.

II. Materiales aglomerantes y de unión

Se estudian en este punto todas aquellas sustancias y productos que sirven para aglomerar, tomar, unir, etc., los materiales de construcción. Hay que citar, en primer término, los morteros y las diversas clases de mástiques. El asfalto, aunque se utiliza de vez en cuando para finalidades análogas, se estudia especialmente en la tercera parte de este manual. El hormigón, en cambio, se estudia en este punto por su íntima dependencia con la producción y usos del mortero.

1. Morteros

Los morteros se emplean, en primer término, para reunir materiales pétreos (naturales o artificiales) en la construcción de fábricas de albañilería, para la ejecución de revoques sobre éstas y, en determinadas circunstancias, para enlucidos y objetos análogos. Extendidos en forma de pastas plásticas, los morteros se mantienen adheridos físicamente y, según su naturaleza, se endurecen por ulteriores procesos químicos o por acciones físicas, formando con las piedras y ladrillos un conjunto sólido. Si bien en muchos casos, especialmente en los morteros de cal y de yeso, la resistencia a la compresión de las probetas cúbicas es muy inferior a la de los materiales pétreos que con ellos se toman,

sobre todo en los primeros tiempos, se forman, no obstante, obras de fábrica cuya resistencia se aproxima a la de los sillares o ladrillos componentes, pues el mortero se encuentra extendido entre las juntas en forma de *tendeles* o capas delgadas, y es sabido que, a causa del desarrollo de rozamientos y tensiones secundarias, la resistencia a la compresión de los aglomerantes resulta notablemente elevada.

Según que los morteros sean susceptibles de endurecerse en el aire o bien debajo del agua se dividen en : *morteros aéreos* y *morteros hidráulicos*. Entre ambos se encuentran los materiales hidráulicos de adición que añadidos a los primeros les prestan propiedades de hidraulicidad, es decir, los hacen susceptibles de fraguar y endurecerse también debajo del agua. Se entiende por *rendimiento* de un material en mortero la proporción en que esta substancia influye en el aumento de volumen del mortero. Así, como el volumen de huecos de la arena importa un 40 %, su rendimiento ha de estimarse sólo en un 60 % del volumen. Según experimentos de Unna, el rendimiento de la cal grasa es igual a 1,00 ; el del cemento y trass importa 0,48 % ; el de la cal hidráulica, 0,28, y el del agua, 1,00. Por ejemplo, el rendimiento de un mortero compuesto de 1 volumen de cal grasa, 2 volúmenes de arena y 0,4 volúmenes de agua resulta ser : $1 + 2 \times 0,6 + 0,4 = 2,6$ volúmenes de mortero, y, análogamente, el de un mortero de cemento dosificado en la proporción de 1 : 4, con 0,3 de agua, es igual a $0,48 + 4 \times 0,60 + 0,3 = 3,18$ volúmenes.

Con el nombre de *masa aglutinante* de un mortero se entiende la suma de los volúmenes del material cementicio y del agua, entendiéndose por *compacidad del mortero* el cociente de dividir la masa aglutinante por el volumen de los huecos. En los morteros antes citados estos valores resultan como sigue :

Mortero de cal grasa:

$$\begin{aligned} \text{Masa aglutinante} &= 1,0 + 0,4 = 1,4 \\ \text{Volumen de huecos} &= 2 \times 0,4 = 0,8 \\ \text{Compacidad} &= \frac{1,4}{0,8} = 1,75 \end{aligned}$$

Mortero de cemento:

$$\begin{aligned} \text{Masa aglutinante} &= 0,48 + 0,3 = 0,78 \\ \text{Volumen de huecos} &= 4 \times 0,04 = 1,6 \\ \text{Compacidad} &= \frac{0,78}{1,6} = 0,488 \end{aligned}$$

Los morteros se califican de « compactos » cuando su compacidad $\geq 1,00$.

A. Morteros aéreos

Examinaremos entre éstos: a) el mortero de barro; b) el mortero de yeso, y c) el mortero de cal.

a) **Morteros de barro.** Prescindiendo de sus aplicaciones en obras agrícolas sencillas y del nuevo empleo en obras de tapia originado por la crisis del carbón, desempeñan solamente en la construcción un papel secundario, pues su endurecimiento, al que no cabe dar el nombre de fraguado, obedece tan sólo a procesos físicos (evaporación del agua), y constituyen un material aglomerante deleznable y de escasa resistencia a las acciones meteóricas. Para la preparación de morteros se escogen arcillas magras susceptibles de formar con el agua una papilla homogénea que se seque con relativa facilidad, sin cuartearse notablemente. Como el barro después de seco puede ser desleído de nuevo en agua (y eventualmente aprovechado otra vez), su aplicación está indicada tan sólo en paredes interiores. Su empleo en muros exteriores es admisible únicamente cuando los tejados presentan aleros bastante salientes para evitar la acción erosiva de las aguas

lloedizas o cuando se protege adecuadamente de las influencias atmosféricas por medio de revoques impermeables. Algunas veces, para ligar su masa y aumentar su limitada resistencia a la tracción, los morteros de barro se mezclan con paja cortada, pelos animales, etc. El mortero de barro se adhiere muy bien sobre la madera, propiedad que se utiliza en ciertas construcciones rurales para enfoscar lienzos encañizados, zarzos y entramados de madera. Como aplicaciones especiales del mortero de barro convendrá citar las siguientes:

Pisos. Constan de una capa inferior de barro apisonado en seco, de unos 15 cm. de espesor, y una chapa superior de barro húmedo mezclado con escorias de fragua, que se bate con pisonos de madera hasta cerrar todas las grietas.

Tejados de paja y barro, sistema Gernentz. Son tejados fuertes en los que la paja se halla atada con alambre y está enfoscada con una papilla de barro a la que se adiciona yeso y agua amoniacal.

Chillas de barro. A modo de placas de unos 40 por 80 cm. Se preparan formando un lecho de pajas largas que se doblan por la mitad y cierran entre ellas una capa de barro. Los chillados o tejados de barro aíslan bastante bien el calor y ofrecen suficiente seguridad contra incendios.

Debe proscribirse el uso del mortero como *material de relleno* en forjados de pisos y considerar su empleo como una grave falta contra las reglas del arte de la construcción, pues el barro mojado es causa de humedades en las habitaciones y, limitando la ventilación del viguerío de madera, puede dar origen a su putrefacción y enmohecimiento.

b) **Morteros de yeso.** En la preparación de morteros de yeso se emplea sobre todo el yeso calcinado a temperaturas superiores de 500° y llegando casi siempre a 950°C (*yeso lento*), y no finamente molido, sino

granudo (como la arena normal de construcción), pues en esta forma se retrasa aún el proceso del fraguado. Por lo común no se añade arena al yeso lento o *yeso de revocar*, pues perjudica el poder fraguante y la resistencia final. De ordinario se toman 8 partes de yeso por 5 partes de agua, obteniéndose 6 partes (todas en volumen) de mortero en pasta espesa. También se emplean morteros de cal y yeso, compuestos de 1 volumen de yeso y $\frac{1}{3}$ de mortero de cal con arena fina. No hay que olvidar, no obstante, que en este caso (sobre todo con yeso de estucar, y aun empleando yeso calcinado) la resistencia de la pasta resulta disminuída y por más tiempo que transcurra no llega a alcanzar la del mortero de yeso puro. Lo mismo cabe decir de la adición de arena, la cual en ningún caso debe ser arcillosa. Asimismo hay que evitar que contenga barro el agua de amasadura. El mortero de yeso, después de fraguar, no puede utilizarse de nuevo. Hay que evitar la adición de cemento; su presencia en el mortero de revocar da origen a la aparición de sopladuras o abollamientos. Se aconseja conservar durante 24 horas el mortero preparado antes de proceder a su tendido. El mortero de yeso lento soporta temperaturas relativamente bajas y es aplicable todavía entre 5 y 10°C, bajo cero. Junto a esta ventaja, con respecto al mortero de cal se distingue además por su buena adherencia con los ladrillos, su color blanco permanente y la posibilidad de comunicarle tintas variadas. El yeso lento, de buena calidad, no se abolla. En muros de carga constituye un aglomerante muy tenaz y de notable resistencia, como lo patentiza su aplicación en las pirámides de Egipto. Por este motivo aun se emplea hoy con ventaja en aquellas localidades en que se dispone de piedra de yeso granulada y laminar. Es condición indispensable para el buen resultado que mientras el mortero fragüe encuentre el agua necesaria, y por esta razón se han de emplear

los ladrillos bien empapados. El yeso lento de buena calidad se reconoce por su aspecto exterior, tirando a amarillo o a rojizo (no a azul). El ensayo del yeso para morteros (1) debe referirse a la estabilidad de volumen, colabilidad, período de fraguado, finura de molido y resistencia a la tracción.

Cuando para el *guarnecido de paredes y techos* se emplea el yeso lento se adoptan por lo regular morteros compuestos de 3 volúmenes de cal, 1 volumen de yeso y $4\frac{1}{2}$ volúmenes de arena fina, o bien 2 volúmenes de yeso y 1 volumen de arena. La capa inferior de los guarnecidos de yeso no debe aplicarse sobre paredes húmedas, pues no llegan a secar y fraguan en malas condiciones. Si la humedad es persistente el yeso queda blando y se dice que se « pudre ».

El *yeso de estucar* o *yeso rápido*, cocido hacia 180° , se emplea sobre todo para guarnecer paredes y techos, con adición de cal y arena :

Guarnecido de paredes :

1 volumen yeso + 3 volúmenes cal + 1 volumen arena.

Guarnecido de techos :

2 volúmenes yeso + 3 volúmenes cal + 1 volumen arena.

Según que la cantidad de agua añadida corresponda a $\frac{5}{8}$ o a $\frac{13}{8}$ del volumen de yeso, el amasijo resulta espeso o flúido.

1 volumen de yeso + $\frac{5}{8}$ volúmenes de agua proporcionan $\frac{3}{4}$ volúmenes de mortero.

Experimentos de Tetmajer con yeso suizo acusaron, para esta clase de mortero, después de 7, 28 y 84 días, resistencias a la tracción iguales respectivamente a 12, 20 y 23 kg./cm.² y resistencias a la compresión comprendidas entre 55, 80 y 125 kg./cm.². Es posible aumentar la dureza final del mortero efectuando la ama-

(1) « Normas alemanas » establecidas por la Asociación de Yeseros, en 15 de febrero de 1911.

sadura con agua de cola. Un resultado análogo se alcanza con la adición de dextrina, al mismo tiempo que se consigue facilitar la adherencia del material sobre paredes húmedas, reducir el período de fraguado y elevar la potencia aglutinante del amasijo.

Entre las aplicaciones especiales del mortero de cemento son a aseñalar las que siguen :

Tabiques y techos sistema Rabitz (y en general, tabiques con armadura de tela metálica). El enrejado metálico, sencillo o doble, de alambre de hierro galvanizado, se recubre por una o ambas caras con un mortero compuesto de polvo de yeso, pelo de vaca, agua de cola, y mortero de cal grasa, dosificado en la proporción 1 : 3. En lugar de enrejado metálico ordinario puede emplearse metal desplegado, « self centering », etc. Aun dan mejor resultado los enrejados de « alambre cerámico » (de la casa «Stauss», de Kottbus) en los cuales los distintos hilos se hallan recubiertos por pequeños prismas de arcilla prensados y cocidos, con lo que se facilita extraordinariamente la adherencia del mortero. Con esta clase de enrejados (*drahtziegelgeflecht*) pueden ejecutarse toda clase de revestimientos incombustibles sin peligro de que se agrieten.

Placas Duro. Están constituídas por mortero de yeso, fibras de coco, aserrín de madera impregnado, etcétera.

Tabiques Lugino. Se ejecutan apisonando contra un encofrado unilateral una mezcla de mortero y agua de cola, atenuado con un material de relleno que generalmente está constituido por escorias. Las placas *Spreu*, *Kokolith*, etc., así como las de *escayola*, tienen usos análogos.

Son variedades del estuco ordinario las que se citar a continuación :

Estuco de mármol, amasijo de yeso y cal blanca con agua de zinc y adición de un silicato alcalino. *Heliolith*,

se aplica sobre un revoque de cal hidráulica; resulta duro y es susceptible de adquirir pulimento.

Entre los estucos decorativos, llamados en Alemania «estucos nobles» (*edelputze*) mencionaremos

Terranova. Mortero en polvo amasable con agua. Se prepara en múltiples entonaciones de bello color. En este estuco, resistente a la intemperie, no aparecen eflorescencias y, siendo permeable al aire, satisface las exigencias de la higiene. Se confecciona tendiendo un enfoscado áspero (terranova y arena, o bien, mortero de cal y arena con adición de terranova), sobre el que se aplica el estuco de terranova puro. Con adición de *bianco*, *ceresita*, o productos análogos, puede comunicarse a este estuco la impermeabilidad deseada.

Terrasita. Coloraciones variadas con adición de tierras naturales molidas.

Lithin. Es asimismo un estuco coloreado para paredes exteriores, constituye una especie de revestimiento de arenisca artificial, aplicable sobre toda clase de fábricas de albañilería sin que se produzcan grietas.

Pórfido-felsita. Se aplica del color deseado con adición de mica o sin ella, especialmente sobre revocos de cal hidráulica con feldespato y cuarzo.

Son análogos, sobre todo en cuanto a su manera de comportarse, la *diabasita*, el estuco *grana-edel*, la *calcolita* (estuco de dolomita), la *thümmelita*, etc.

La generalidad de estos estucos son totalmente desconocidos en nuestro país, citándose en este punto sólo para mostrar el ancho campo que la cuestión de los revestimientos decorativos ofrece a la técnica constructiva.

c) **Morteros de cal.** Las primeras materias necesarias para preparar estos morteros, los más empleados en la construcción, son: piedra caliza (que se cuece y se apaga con agua), arena y agua. Las propiedades de la *argamasa* dependen tanto de la buena calidad de la

cal y de su correcta preparación, como la naturaleza de los otros componentes. La arena debe ser completamente limpia, de grano vivo y resistente a la acción del tiempo (1). Su adición obedece a tres razones fundamentales: a) aumentar el volumen del mortero y por ende abaratarlo, b) comunicar mayor dureza al aglomerante y c) asegurar la porosidad del material, sobre todo en atención al ulterior proceso de fraguado. Del mismo modo, el agua de amasijo ha de ser limpia y particularmente exenta de toda clase de sales y barros, de una parte para evitar que se originen eflorescencias en el mortero y de otra para no alterar el proceso del fraguado.

La caliza, extraída de las canteras en forma de pedruscos o de guijo, y aun en ciertos casos procedente de conchas de playa, se calcina primero para obtener la *cal viva* (CaO). La cochura se realiza algunas veces en montones y más generalmente en pequeños hornos de cuba, semejantes a altos hornos, de funcionamiento intermitente, en hornos de cuba mayor y de marcha continua o en hornos anulares (temperaturas de cocción: 600 a 800° C:). Como el vapor de agua facilita la expulsión del anhídrido carbónico durante la cochura, y provoca el cuarteamiento de los trozos, conviene utilizar las piedras tal como se arrancan, es decir, con el agua de cantera. El proceso de calcinación debe conducirse con marcha rápida y aspirando el gas carbónico formado, tanto para facilitar la combustión y eventualmente para aprovechar este gas, como para impedir la recarbonatación de la piedra ya calcinada. Entre los hornos

(1) Se emplean arenas naturales (de mar, de río y de cantera) y artificiales. Con respecto a estas últimas, la sección facultativa del Ayuntamiento de Barcelona admite su empleo en la ejecución de obras municipales, mientras procedan del machaqueo de rocas graníticas o areniscas, que contengan por lo menos un 80 % de sílice sin que la proporción de arcilla exceda del 5 %. Granos de 0,5 a 3,00 mm. (para hormigón).- N. del T.

de cuba especiales para el objeto indicado hay que citar, en primer término, el horno *Rüdersdorf* (fig. 56) con hogares exteriores. Por cuya parte inferior *e* se va extrayendo continuamente la piedra cocida, mientras

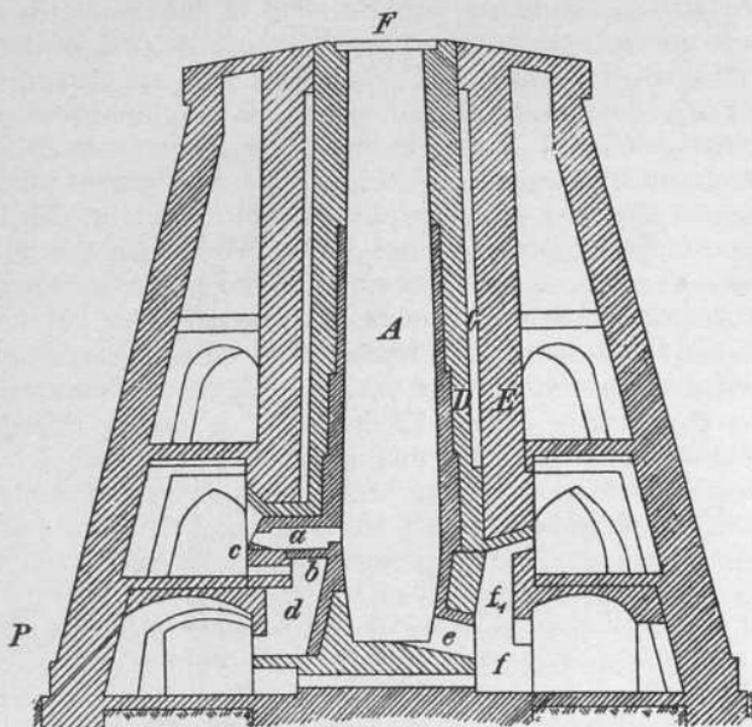


FIG. 56. Horno de cal, tipo Rüdersdorf

que por el tragante superior *F* se introducen nuevas cantidades de caliza. La calcinación se realiza en la cuba *A*, revestida con material refractario, en cuyo vientre, y a 3 o 4 m. sobre la solera, desembocan de tres a cinco hogares *a*, que comunican inferiormente con la cámara del cenicero *bd*. Con hornos de esta clase se pueden

tratar diariamente 15 toneladas de caliza y aun cantidades mayores.

Cuando los hornos se alimentan con gasógenos se obtiene cal de mayor pureza. Además del horno anular *Hoffmann* (véase pág. 130), se emplea también el horno *Dietzsch* de cámaras superpuestas, y últimamente se han aplicado asimismo hornos rotativos (véase fabricación de cemento). En el último caso se obtiene la ventaja de poder calcinar pequeños fragmentos o detritos calcáreos. Según la mayor o menor pureza del producto obtenido, se distinguen las *cales grasas* de las *magras* (áridas). Cuando el contenido total de silicato de alúmina representa del 10 al 30 % resultan *cales hidráulicas*; cuando el contenido de arcilla es mayor se destinan a la fabricación de cementos. La cal viva no debe contener más allá del 16 % de materias extrañas, debe presentar una coloración gris y amarillenta y ser porosa y ligera. El contacto de ácidos diluidos debe originar tan sólo una ligera efervescencia. Atendiendo a su avidez para el agua, es necesario conservarla al abrigo del aire y de la humedad. Como regla general puede calcularse que cada 100 kg. de caliza proporcionan de 50 a 70 kg. de cal viva.

Cuando en la cochura de cales magras se alcanzan temperaturas tan altas que las substancias que acompañan la piedra (silice y arcilla) llegan a combinarse con la cal, el producto pierde la propiedad de ser desleíble en agua (cal « quemada »). Se distinguen también las *cales blancas* o *grasas*, obtenidas principalmente del carbonato cálcico con pocas impurezas (hasta 10 %), y las *cales grises*, que resultan de cocer calizas magnesianas y dolomíticas.

Hidratando la cal viva se obtiene la *cal apagada*. Según la cantidad de agua de hidratación, la cal apagada se produce en forma pulverulenta (adoptada en especial con cales grises) o en forma de pasta, que es

como se emplea de ordinario la cal blanca. Efectuando el apagado a brazo, un volumen de cal viva proporciona de 1,8 a 2,0 de cal apagada; operando mecánicamente se obtienen de 2,0 a 2,2 volúmenes. Si se trata de cal gris se obtienen de 1,5 a 1,7 volúmenes en el primer caso, de 1,8 en el segundo. Cuando la cal gris se apaga en forma pulverulenta, un volumen de cal en trozos proporciona de 3 a 3,33 volúmenes de cal en polvo, que corresponden a un volumen real (sin poros) de 2,0 a 2,25. Amasada esta cal con agua se obtiene $\frac{3}{4}$ volúmenes de pasta espesa por cada volumen de cal en polvo. Resulta con ello, lo mismo que cuando la cal se apaga directamente en forma de pasta, que cada volumen de cal en trozos proporciona al final 1,5 a 1,7 de amasijo.

La *cal en polvo* (apagada con adición de un 33 % de agua) tiene un peso específico igual a 2,0; es blanca, suave al tacto y puede conservarse largo tiempo en barriles.

Para apagar la *cal en pasta* se empieza añadiéndole un peso de agua igual al suyo; y luego, a medida que se va disgregando, se añade poco a poco otra cantidad de agua igual, mientras se remueve la masa constantemente. En esta operación se dice que la cal se «hincha», pues se produce el aumento de volumen citado anteriormente. El apagado completo de la cal (reconocido por la aparición de grietas superficiales de más de 1 cm. de anchura) se realiza en albercas o pozas sin revestir, a través de cuyas paredes térreas se filtra el exceso de agua, con las sales que pueda llevar disueltas. Antes de emplear la cal para confección de morteros conviene conservarla más de seis días en esta forma. La que se destina a enlucidos debe mantenerse en reposo veinte días por lo menos, aunque raramente se atiende esta prescripción.

En la preparación de las argamasas el volumen de la cal debe corresponder al de los huecos de la arena; no obstante, según se indica más adelante, la adición de

cal se regula generalmente por los usos a que se destina el mortero y varía con la naturaleza del producto. La arena debe ser limpia y de grano mezclado ($\frac{2}{3}$ de arena gruesa por $\frac{1}{3}$ de arena fina). En la amasadura se empleará el agua necesaria para que el mortero adquiera la plasticidad conveniente. Al mezclar la arena y la cal apagada se produce siempre una notable reducción de volumen; así por ejemplo :

1 vol. cal apagada	+ 2 vol. arena	= 2,4 vol. mortero
1 " " "	+ 2,5 " " "	= 2,8 " " "
1 " " "	+ 3 " " "	= 3,2 " " "
1 " " "	+ 4 " " "	= 4,0 " " "

Según las dosificaciones adoptadas, para confeccionar 1 m.³ de mortero, se requieren :

Dosificación	Cal apagada	Arena	Agua
1 : 2	420 l.	0,84 m. ³	170 l.
1 : 2,5	370 l.	0,92 " "	184 l.
1 : 3	330 l.	1,00 " "	200 l.

Con cal grasa, se emplean morteros de 1 : 3 para muros elevados y de 1 : 4 para cimientos ; con cal magra, las proporciones son respectivamente 1 : 1 y 1 : 2; para enlucidos en paredes exteriores 1 : 2. Por cada metro cúbico de fábrica de sillería se requieren 0,08 m.³ de mortero ; para sillarejo 0,3 m.³ ; para mampostería, 0,35 m.³ ; para fábricas de ladrillo 0,3 m.³ en muros de tres astas, 0,27 m.³ en muros de dos astas, 0,25 m.³ en muros de una asta y 0,23 m.³ en paredes de citara. En paredes entramadas, macizadas con ladrillo, puede contarse también que por cada metro cuadrado se consumen 0,062 m.³ de mortero, en muros de asta, y 0,025 metros cúbicos en muros de citara. Asimismo puede calcularse que por cada 1000 ladrillos normales (tochos) puestos en obra son necesarios de 600 a 700 litros de mortero. En el rejuntado de paredes de mampostería

se requieren 0,005 m.³ por metro cuadrado y 0,003 m.³ en fábricas de ladrillo. En el revoco de paredes se consumen 0,015 m.³ de mortero por metro cuadrado y centímetro de espesor.

El *fraguado del mortero* se realiza por recarbonatación de la cal, al combinarse con el anhídrido carbónico del aire. Conviene para ello la presencia de agua en cantidad suficiente (ladrillos mojados), pues de este modo se disuelve una parte del hidrato de cal que envuelve los granos de arena, facilitándose así la acción del anhídrido carbónico que determina la aglomeración de la arena y su adherencia a los ladrillos. El fraguado del mortero se desarrolla lentamente, avanzando hacia las capas interiores. Las fábricas ordinarias alcanzan en ocho días un endurecimiento suficiente. Empleando mortero de cal, no conviene trabajar cuando la temperatura es inferior a 2° C. bajo cero, pues en otro caso el fraguado se realiza en malas condiciones. Si el frío es más intenso pueden calentarse moderadamente los ladrillos y el agua. En trabajos de urgencia puede recurrirse a la adición de carbonato sódico anhidro (sosa Solvay) en la proporción de 1 kg. por cada 10 a 12 litros de agua, aunque este suplemento puede dar por resultado la aparición de eflorescencias.

Un metro cúbico de mortero de cal y arena, fraguado en el aire, pesa 1680 kg. en números redondos; el volumen de poros representa, por término medio, un 20 %. En condiciones normales y después de completo fraguado, la resistencia a la compresión puede alcanzar hasta 40 kg./cm.²; para la resistencia a la tracción se calcula de $\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{10}$ de este valor. En el Laboratorio Oficial de Ensayo de Materiales de Lichterfeld (Berlín), se ha encontrado que después de veintiocho días el mortero de cal de 1 : 3 presenta una resistencia media a la compresión sólo de unos 16 kg./cm.² siendo su resistencia a la tracción de 5 kg./cm.². Cuando se quiere

conseguir que los morteros de cal puedan fraguar en estado húmedo, se procede de ordinario a añadirles cemento, resultando los llamados *morteros de cemento atenuados*. En este caso se empieza mezclando en seco la arena y el cemento, añadiendo luego la pasta de cal, a no ser que se emplee cal pulverulenta. Las mezclas ordinarias son :

Cemento	Cal	Arena	Agua	Mortero	Resistencia a la compresión					
1	+	1/2	+	5	+	1,3	=	5,3	170 kg./cm. ²
1	+	1	+	6	+	1,35	=	6,5	200 »
1	+	1 1/2	+	10	+	1,6	=	8,04	130 »
1	+	2	+	8	+	1,7	=	9,2	110 »

(Los coeficientes de resistencia se refieren a probetas después de ocho días de fraguado, uno en el aire y siete dentro de agua).

Para las proporciones indicadas se necesitan, respectivamente, las cantidades siguientes :

Cemento	270	220	170	155 kg.
Cal viva	46	74	86	106 kg.
Pasta de cal	100	165	195	210 l.
Arena.....	950	930	960	1090 l.
Agua	250	220	200	190 l.

En los morteros de cemento atenuados, especialmente en los que contienen gran proporción de arena, se aconseja emplear cal apagada en polvo, ya que si se toma cal en pasta resulta muy difícil efectuar bien la amasadura.

Una acción análoga, aunque mucho menos enérgica que con el cemento, se consigue con la adición de escorias de alto horno finamente molidas y también, pero aun en escala más reducida, empleando polvo de ladrillo cocido a alta temperatura. El mortero de cal y trass se describe más adelante (pág. 303).

B. Morteros hidráulicos

1. Cal hidráulica

Las cales hidráulicas se obtienen de margas calcáreas y de calizas siliciosas, poseyendo elevada proporción de silicato de alúmina (20 a 25 %), las que se calcinan hasta un principio de vitrificación; de ordinario se apagan en terrones y se muelen. Han de emplearse frescas. El apagado que sigue a la cochura tiene por objeto hidratar la cal no combinada con la arcilla, que existe siempre en proporción mayor o menor. El agua debe emplearse en la proporción conveniente para apagar por completo la cal libre (con objeto de evitar los abollamientos del material en obra) y para no perjudicar el fraguado hidráulico ulterior del compuesto calizo. El endurecimiento del mortero se realiza en parte por absorción de CO_2 (fraguado inicial) y en parte por la formación de hidrosilicatos de cal que se producen en el agua. Con argamasas de 1 parte de mortero por 3 partes de arena normal y después de veintiocho días de permanencia en el aire, las probetas acusan una resistencia a la compresión de 75 kg./cm.² y de 10 kg./cm.² a la tracción (promedios); si el fraguado se realiza en agua, estos coeficientes disminuyen aproximadamente en $\frac{1}{3}$. La capacidad de fraguado es reducida, a causa de la pequeña cantidad de factores de hidráulicidad contenidos en el material (1). 1 parte de cal hidráulica, $1\frac{1}{2}$ partes de arena y 0,75 partes de agua, proporcionan 2 partes de mortero, en cifras redondas, cuya compacidad es igual a 1,7. Para 1 m.³ de mortero de esta clase se requieren 300 l. de cal, 0,78 m.³ de arena y 0,39 m.³ de agua. 1 parte de cal y 2 de arena, con el agua necesaria, dan 2,4 partes de mortero; con 1 de cal y 3 de arena

(1) Véase a este respecto lo que se dice al tratar del cemento portland, pág. 283.

resultan 3 partes de mortero. La cal hidráulica se emplea sin arena para obras en contacto con corrientes de agua, y con arena para revoques, en proporciones hasta 1 : 6. Cuanto menos hidráulica es la cal mayor cantidad de arena puede admitir.

Una variedad especial está constituida por la cal gris o negra obtenida de margas calcáreas o magnésicas. Análogamente a lo que antes se ha indicado, se caracterizan por su color oscuro, aunque, en cuanto a sus propiedades, no se diferencian esencialmente de la cal ordinaria.

2. Cementos

a) **Cemento romano.** El nombre de este cemento, llamado también *natural*, procede de que, obtenido primeramente en Inglaterra, se empleó al principio en lugar de la tierra de puzolana que se importaba de Italia con el mismo nombre como material hidráulico de adición (véase pág. 303). Con respecto a su composición cualitativa los cementos naturales son análogos a las cales hidráulicas pero, no obstante, presentan con éstas esenciales diferencias cuantitativas. Los factores de hidraulicidad representan aquí más del 25 %, es decir, que la cantidad de CO_3Ca desciende por debajo del 75 % y en los casos más favorables se halla situada entre el 60 y 70 %. Esta composición da por resultado que, en la cochura, se combina una cantidad mayor de CaO que con la cal hidráulica ; *conduciendo el proceso de modo adecuado toda la cal resulta químicamente combinada.*

La operación de apagar la cal viene aquí sustituida por el molido, pues si después de la cochura el cemento natural se mojara no podría luego desleirse en agua, propiedad que presentan las cales hidráulicas y que constituye la diferencia más importante entre ambas

clases de materiales. Por lo común la primera materia para fabricar cemento romano la proporcionan las margas calizas que se cuecen hasta un principio de vitrificación.

El fraguado del cemento natural y de los morteros preparados con él se efectúa de ordinario en poco tiempo: los cementos romanos son « rápidos ». Deben emplearse frescos, mojando bien los ladrillos y conservando las obras húmedas durante largo tiempo. La adición de arena se efectúa por razones económicas, si bien de ordinario reduce la resistencia del mortero. La estructura de los cementos naturales, a pesar de su fino molido, resulta algo terrosa; su color es pardo amarillento y algunas veces tirando a rojizo.

La resistencia media que los cementos romanos alcanzan, con morteros constituidos por 1 parte de cemento y 3 partes de arena normal (véase pág. 288), corresponde de modo aproximado a los valores siguientes:

	Después de 7 días	28 días	1 año
Resistencia a la compresión..	100	135	230 kg./cm. ²
Resistencia a la tracción	12	18	27 »

Empleando morteros de cemento puro es posible alcanzar, al cabo de veintiocho días, una resistencia a la compresión de unos 150 kg./cm.² y una resistencia a la tracción de 19 kg./cm.², próximamente.

Para comunicar cierta impermeabilidad a los morteros se aconseja una pequeña adición ($\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{4}$) de cal viva. Una mezcla bastante usada se compone de 1 a $1\frac{1}{8}$ partes de cemento romano, 1,5 partes de arena y de $\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{4}$ de cal viva.

Para obras de fábrica en terrenos húmedos se recomienda argamasa de 1 parte de cemento por $\frac{2}{3}$ partes de arena; en otros casos se dosifica en relaciones comprendidas entre 1 : 1 y 1 : 3.

Los cementos romanos son especialmente útiles cuando se trata en primer término de alcanzar un rápido endurecimiento debajo del agua, sin que importe mucho que la resistencia resulte mayor o menor; por la misma razón se prestan también para trabajos de revoque. Los cementos naturales, lo mismo que las otras clases, se encuentran en el mercado en barriles (250 kg. de peso bruto) o en sacos (50 a 75 kg.). El peso de 50 kg. corresponde a un volumen de unos 47 litros. El peso del metro cúbico de esta clase de cemento oscila entre 2500 y 3000 kg. una vez endurecido; entre 1200 y 1500 kg. ensilado (apretado por sacudimiento de las medidas) y entre 800 y 1050 kg. amontonado suelto (medidas llenadas a chorro). Es preciso no confundir los cementos romanos con los cementos tipo portland.

b) **Cementos artificiales.** Se distinguen entre ellos: α) el cemento portland, β) el portland de escorias y γ) el cemento de altos hornos.

α) **Cemento portland.** El nombre de este cemento artificial procede de su origen, pues se obtuvo por primera vez en Inglaterra y la piedra artificial que de él resultaba ofrecía grandes analogías con la piedra natural de la ciudad de Portland.

El cemento portland se fabrica partiendo de piedra caliza y arcilla, que se mezclan en proporciones determinadas (secas, húmedas, mojadas, en forma de lodo), se calcinan hasta un principio de escorificación y luego se trituran hasta obtener una moltura farinácea (véase más adelante lo que dicen a este respecto las normas oficiales). Su color puede ser verdoso hasta gris azulado, dependiendo en gran parte de la correcta composición y la buena mezcla de las primeras materias. En el procedimiento de fabricación *por vía seca*, los materiales componentes, después de un grosero machaqueo previo, deben secarse bien antes de ser molidos. En el procedimiento *por vía húmeda* se acostumbran a moler mez-

clados con agua, obteniendo barro claro o espeso, según la menor o mayor pureza de los materiales. La correcta composición de las primeras materias se va determinando día tras día mediante ensayos de laboratorio. La bondad del producto depende de la calidad de las materias primas (especialmente de la arcilla), de la correcta composición y de su buena mezcla, del grado de cochura y, finalmente, de la finura del molido. La composición química corresponde aproximadamente a este tipo: 60% de cal, 7,5% de alúmina, 23% de sílice, 3,5% de óxido de hierro y pequeñas cantidades de magnesia, yeso y anhídrido sulfúrico. Peso específico aparente : 1,4 en medidas llenadas a chorro ; 1,95 en medidas llenadas con sacudimientos ; endurecido, 2,7 a 3,2. Peso específico real $> 3,1$.

En el cemento portland, la relación entre el óxido cálcico (CaO) y los llamados factores de hidraulicidad ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), es decir, el valor :

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

debe ser $\geq 1,7$. Este coeficiente, designado a veces con el nombre de *índice de hidraulicidad*, caracteriza el cemento portland. Si $H < 1,7$ los cementos no pertenecen ya al tipo portland. Valores de $H > 2,4$ indican cementos demasiado ricos en cal, los cuales manifiestan marcadamente una tendencia a hincharse o producir abollamientos.

El componente fundamental del cemento portland es la cal. Su presencia, en condiciones normales, determina en primera línea la aptitud para el fraguado. La sílice (SiO_2) facilita también el endurecimiento ; cuanto mayor es la proporción de anhídrido silícico, dentro de los límites normales (24 %), tanto más duro resulta el cemento ; sin embargo, una dosificación mayor hace

más lento el proceso del fraguado. Se comporta de modo análogo, con relación al aumento de resistencia, el contenido de alúmina, aunque con referencia al período de fraguado obra en sentido opuesto que el SiO_2 , o sea que al aumentar el fraguado se desarrolla con mayor rapidez. El óxido de hierro determina esencialmente la coloración, facilita además el proceso de escorificación e influye en la resistencia, análogamente a la

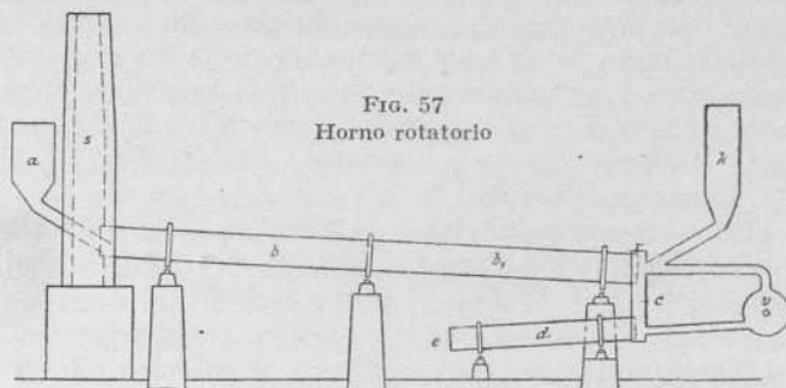


FIG. 57
Horno rotatorio

silice. La magnesia es perjudicial en grandes cantidades y es origen de dilataciones o abollamientos. Lo mismo puede decirse si crece el contenido en anhídrido sulfúrico. Conviene evitar la presencia de álcalis en los morteros, pues dan lugar a eflorescencias.

Para la cocción de las primeras materias se utilizan casi exclusivamente hornos de fuego continuo. Los más difundidos, junto a los hornos Schneider y Dietzsch, son los hornos anulares y los rotatorios: en los primeros los materiales se cuecen moldeados previamente en forma de ladrillos, mientras que en los segundos la masa se somete a la cochura sin ninguna preparación, ya en forma de barro, ya pulverizada. Es evidente que en el último caso pueden ahorrarse gastos de consideración,

toda vez que se suprime el moldeo de ladrillos y su secado. En la figura 57 se representa de modo esquemático el principio del funcionamiento de los hornos rotatorios.

En este caso la mezcla de materiales en bruto se cuece y transforma en cemento de modo directo, es decir, tal como resulta del método de fabricación, sea por vía húmeda o por vía seca. El horno rotatorio consta de dos tubos de 20 a 30 m. de longitud, soportados convenientemente para que sea posible mantenerlos en rotación. En ciertos casos el horno propiamente dicho está constituido por un cilindro aun de mayor longitud (bb_1 , fig. 57), al que se enlazan hornos de enfriar, más cortos y pequeños. Ambos tubos se disponen con pendientes opuestas. El horno rotatorio bb_1 alcanza hasta 2 m. de diámetro, a modo de tromel de cocción revestido interiormente de material refractario, cuya parte superior b sirve para el secado y el precaldeo, mientras que en la inferior b_1 se desarrolla el proceso de vitrificación. Para asegurar la larga permanencia del material en la zona de alta cocción, se ensancha el horno convenientemente, dándole mayor diámetro que a la cámara b . La mezcla va avanzando lentamente, descendiendo por el tubo rotatorio, mientras que los gases de la combustión siguen un camino en sentido contrario. El horno funciona así según el principio de la llamada « circulación metódica ». Los gases más calientes entran por la zona de vitrificación y abandonan el horno por la parte superior, enfriados y cargados de vapor de agua. En el extremo inferior del tubo principal la masa cocida cae en el cilindro d , donde se enfría, saliendo finalmente por e el cemento cocido. A la salida es recogido por transportadores de cinta o de otros tipos, que lo conducen a las cámaras de almacenaje. El aire necesario para quemar el combustible (polvo de hulla) entra por e en el cilindro de enfriamiento (o es insuflado en él), se

calienta con el calor que roba al producto, y penetra entonces en el hogar. Este se encuentra en *f*. Las llamas que salen de él son dirigidas hacia el tubo de cocción con el auxilio de compresores.

Es esencial para el buen resultado del proceso de cochura que se llegue hasta un principio de fusión, lo que se reconoce por el reblandecimiento que experimenta la masa a la temperatura del rojo blanco, pues a ello se deben las excelentes propiedades que posee el cemento portland. La altura del punto de cocción (unos 1500° C.) constituye también una diferencia esencial con respecto a los cementos naturales y a la cal hidráulica, que se calcinan a temperatura mucho menor. Al principio de la cocción se desprende vapor de agua y seguidamente el ácido carbónico de la caliza. La cal viva resultante reacciona entonces, al llegar a la temperatura de vitrificación, con los componentes arcillosos de la mezcla y se combina con ellos.

Algunas semanas después de haber cocido el cemento o el klinker (1) se efectúa una trituración, por ejemplo, con machacadoras, y seguidamente se muelen los terrones hasta darles la finura de la harina. El cemento producido se almacena en silos donde se conserva hasta el momento de realizar su expedición, que se efectúa envasando el producto en barriles o en sacos.

Al final de estas operaciones el cemento portland es por lo regular de color claro y gris verdoso, aunque su coloración no constituye indicio suficiente para juzgar de la calidad del producto. Sin embargo, cuando el color tira a rojizo o amarillento, acusa casi siempre una cochura defectuosa.

De ordinario, las fábricas que trabajan al mismo tiempo con hornos anulares y con hornos rotatorios mezclan los productos obtenidos en ambos sistemas de cocción.

(1) Véase más adelante, pág. 298.

PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES FACULTATIVAS
VIGENTE EN ESPAÑA PARA EL SUMINISTRO DE
CEMENTO ARTIFICIAL DESTINADO A LA EJECUCIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS.

Por su especial interés se transcribe a continuación el texto íntegro de este pliego de condiciones, aprobado por Real orden del 27 de mayo de 1919.

1. *Definición.* Se aplica la denominación de cemento portland artificial al producto, reducido a polvo fino, que se obtiene con la calcinación, hasta un principio de fusión, de mezclas muy íntimas, artificialmente hechas y perfectamente dosificadas, de materias calizas y arcillosas, en que las adiciones, después de la cochura, excedan del 3 % en peso.

2. *Composición química.* El peso de la materia insoluble en ácido clorhídrico diluido será inferior al 1,5 %.

No se considerará como insoluble la sílice gelatinosa que pudiera producirse.

El cociente de dividir el tanto por ciento en peso de la cal por la suma de los tantos por ciento en peso de sílice y alúmina, ha de quedar comprendido entre 1,8 y 2,3.

El cociente de dividir el tanto por ciento en peso de la sílice por el tanto por ciento en peso de la alúmina no ha de resultar inferior a 2,5. Las cantidades en peso de magnesia y anhídrido sulfúrico no excederán del 3 % y del 2,5 %, respectivamente; ni la suma de ambas cantidades excederá del 5 %.

El azufre total no excederá del 1 %.

La cantidad de agua del cemento no excederá del 2 % en peso, ni la pérdida de peso por calcinación al rojo oscuro será mayor del 4 %.

3. *Finura del molido.* Los residuos máximos, en peso, de cernido del cemento serán los siguientes:

Sobre el tamiz de 900 mallas por centímetro cuadrado 3 %.

Sobre el tamiz de 4900 mallas por centímetro cuadrado 25 %.

4. *Densidad real.* La densidad real del cemento seco, es decir, calcinado a 120° C. será igual o superior a 3,05.

5. *Fraguado.* El fraguado de la pasta normal de cemento conservado en agua dulce empezará después de media hora contada desde que se principió a amasar y terminará entre las cuatro y las catorce horas contadas desde el mismo momento.

6. *Estabilidad de volumen.* La pasta normal del cemento tendrá un volumen constante, propiedad que se comprobará en el examen de galletas conservadas en el aire, en el agua dulce y sometidas a la acción del agua hirviendo.

7. *Resistencias.* a) *Resistencias por tracción.* Las resistencias mínimas de las probetas con forma de ocho, hechas con mortero compuesto de una parte en peso de cemento y tres de arena de Leucate, u otra análoga elegida por el Laboratorio

Central para ensayos de materiales de construcción, serán las siguientes :

A los siete días — uno en aire húmedo y seis en agua dulce — 16 kg. por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días — uno en aire húmedo y veintisiete en agua dulce — 20 kg. por centímetro cuadrado.

b) *Resistencias por compresión.* Las resistencias mínimas de las probetas de forma cúbica hechas con morteros compuestos de una parte de cemento y de tres de arena de Leucate u otra análoga, en peso, serán las siguientes :

A los siete días — uno en aire húmedo y seis en agua dulce — 140 kg. por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días — uno en aire húmedo y veintisiete en agua dulce — 180 kg. por centímetro cuadrado.

8. *Carácter de estas condiciones.* Las condiciones de este pliego tendrán siempre carácter de preceptivas en las obras públicas, mientras no sean modificadas de modo explícito y terminante por el pliego de condiciones particulares, que en este caso habrá de ser aprobado con los requisitos siguientes :

a) Que en la Memoria del proyecto se haya justificado debidamente la necesidad de la excepción que se proponga.

b) Que sobre ella haya informado el Consejo de Obras Públicas.

Cuando los autores de los proyectos incluyan en los pliegos de condiciones particulares de la obra las de carácter técnico y económico pertinentes al caso de que se trate, no será necesario el informe del Consejo de Obras Públicas siempre que aquéllas no deroguen ninguna de las contenidas en este pliego de condiciones generales.

9. *Ensayos.* Todos los ensayos necesarios para comprobar si un cemento determinado satisfice o no las condiciones consignadas en este pliego, se realizarán con estricta sujeción a las instrucciones que para este objeto sean aprobadas por el Ministerio de Fomento, a propuesta de la Comisión para el estudio de cementos y cales hidráulicas.

Estos ensayos podrán hacerse en los laboratorios de las obras, en los de las fábricas y en el Central de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y, en caso de duda, los que se hagan en este Centro serán los decisivos.

Los gastos de ensayo en los laboratorios de las obras serán de cuenta de la Administración pública ; los hechos en los laboratorios de las fábricas los costearán éstas, y los que se causen en el Laboratorio Central los pagará la Administración o el adjudicatario, según que la duda se resuelva en favor de éste o en contra.

INSTRUCCIONES PARA EL ENSAYO DE CEMENTO Y CALES HIDRÁULICAS. Fueron aprobadas por Real orden de 27 de mayo de 1919, aunque las instrucciones que se refieren al modo de practicar los análisis no tienen carácter preceptivo.

1. *Procedimiento para tomar las muestras.* Las muestras para hacer los ensayos se tomarán de un número de barriles o

sacos que represente el 10 % de los que constituyen la partida, se cernerán sobre cedazos que tengan diez mallas por centímetro lineal, y se mezclarán todas muy íntimamente para formar una sola muestra, que será la que se ensayará; sin embargo, cuando se disponga de bastante tiempo se hará un ensayo independiente con cada una de las muestras parciales.

Para tomar muestras de los barriles se hará un agujero en el centro de las duelas o de una de las bases, y se sacará el material necesario, no utilizando el inmediato a la superficie del barril.

Cuando el cemento o la cal están envasados en sacos, se abren éstos y se toma la cantidad precisa para los ensayos del material que ocupa el centro de aquéllos.

2. *Análisis químico.* Se hará por el procedimiento propuesto en enero de 1902 por la Asociación Americana de Química Industrial (sección de New-York), que se copia a continuación:

a) *Disolución.* Se toma medio gramo de cemento o de cal, perfectamente molido, se le coloca en una cápsula de platino, se agrega un poco de agua, 5 ó 10 cm.³ de ácido clorhídrico puro y se calienta suavemente hasta llegar a la disolución completa, la cual se favorece con la presión moderada de un agitador de vidrio que tenga la punta redondeada y lisa. El líquido obtenido se evapora hasta sequedad en baño de arena. Si al hacer la disolución queda algún residuo insoluble, se le separa, se le funde con un poco de carbonato sódico, se disuelve el producto obtenido y se agrega a la disolución primitiva. No se considerará como sustancia insoluble la sílice que se presente en estado gelatinoso.

b) *Sílice.* El residuo que se obtiene con la evaporación hasta sequedad se trata con 5 ó 10 cm.³ de ácido clorhídrico puro que se diluyen en un volumen doble de agua o directamente con dicho ácido, diluido previamente en la proporción de uno por dos, se tapa la cápsula, al cabo de diez minutos se filtra el líquido y el filtro se lava perfectamente con agua; durante todas estas operaciones la cápsula permanecerá sobre el baño de arena, que tendrá sus mecheros apagados. El líquido que resulta de la filtración se evapora hasta sequedad; el residuo se trata de la misma manera que el anterior y se recoge en un filtro la pequeña cantidad de sílice separada. Los dos filtros, con la sílice respectiva, se colocan en un crisol de platino, tarado, se secan, se calcinan, primero sobre un mechero Bunsen, hasta quemar todo el carbón de aquéllos, y después, durante quince minutos, en el soplete de gas; se pesa, se vuelve a calcinar durante diez minutos en el soplete; se pesa de nuevo y así se continúa hasta obtener un peso constante. Cuando se quiere proceder con mucha precisión, la sílice recogida en la cápsula de platino se trata con unos 10 cm.³ de ácido fluorhídrico y con cuatro gotas de ácido sulfúrico, se evapora hasta sequedad con calor suave, se calcina en el soplete de gas durante uno o dos minutos, se enfría y se pesa; la diferencia entre el peso antes obtenido y este último es el peso de la sílice.

En los análisis corrientes, se puede prescindir sin inconveniente alguno de esta corrección; pero la doble evaporación hasta sequedad se hará siempre.

c) *Alúmina y óxido férrico.* El líquido que se obtiene al recoger la sílice separada por la segunda evaporación hasta sequedad se trata con 10 ó 15 cm.³ de ácido clorhídrico puro, se le agrega amoníaco hasta que su reacción sea básica, se hierve hasta que se desprenda el exceso de amoníaco, se dejan reposar los hidratos de aluminio y de hierro precipitados, se lavan juntos, primero por decantación y después sobre el filtro. Dichos precipitados se disuelven en ácido clorhídrico diluido y caliente; se recoge la disolución en el mismo vaso que se obtuvieron, se agrega amoníaco y se hierve para separar de nuevo los hidratos de aluminio y de hierro, los cuales se recogen en el mismo filtro que antes; éste, con dichos hidratos, se coloca en un crisol de platino, tarado, se calienta hasta quemar, el filtro se calcina, primero sobre un mechero Bunsen y después en el soplete de gas, durante quince minutos, evitando toda reducción, se enfría y se pesan juntos los óxidos de aluminio y de hierro.

Con estos óxidos se obtienen al mismo tiempo los de titanio, fósforo y manganeso.

d) *Oxido férrico.* Los óxidos de aluminio y de hierro se mezclan con 3 ó 4 gr. de sulfato potásico y, mejor aún, de sulfato sódico, se coloca la mezcla en un crisol de platino, se funde con calor moderado, y la masa fundida se disuelve en ácido sulfúrico diluido y caliente, procurando que haya 5 gr., por lo menos, de ácido puro; se evapora la disolución y se calienta hasta que el desprendimiento de vapores ácidos sea abundante. El residuo, después de frío, se disuelve en agua, se filtra la pequeña cantidad de sílice separada, se pesa y se hace la corrección correspondiente con los ácidos fluorhídrico y sulfúrico. El líquido procedente de la filtración se reduce con el zinc o con el hidrógeno sulfurado, al que se dará preferencia; se hierve hasta que se desprenda el exceso de este gas, haciendo pasar al mismo tiempo una corriente de óxido de carbono y se dosifica el hierro con el permanganato, el cual ha de tener la energía suficiente para que un centímetro cúbico represente menos de 4 miligr. de óxido de hierro.

La separación de la sílice que puedan contener los óxidos de aluminio y de hierro dejará de hacerse cuando no se aplique la corrección antes indicada a la sílice, a no ser que se haya prescindido de la segunda evaporación hasta sequedad; después de dos de éstas, con sus correspondientes filtraciones, apenas quedan 1 ó 2 miligr. de sílice con los óxidos de aluminio y de hierro.

En la dosificación del hierro con el permanganato no ejerce influencia alguna el óxido de titanio.

e) *Cal.* Al líquido procedente de la separación de los hidratos de aluminio y de hierro reunidos se le agregan unas gotas de amoníaco, y, cuando está hirviendo, 20 cm.³ de una solución saturada de oxalato amónico, sin interrumpir la ebullición mientras el precipitado de oxalato cálcico no adquiriera la forma granular perfectamente definida; se le deja reposar durante veinte minutos o más si es necesario, para que todo él se acumule en el fondo del vaso; se filtra, se lava y se calcinan el filtro y el precipitado, sin secar, en un crisol de platino sobre un pequeño

mechero Bunsen, hasta quemar el papel, continuando despues la calcinación hasta que ésta sea completa. El residuo obtenido se disuelve en ácido clorhídrico; se agrega agua hasta formar un volumen de 100 cm.³, amoniaco en exceso, y se hierve; si se precipita algo de alúmina se la recoge en un filtro, se calcina y se pesa, lo cual únicamente se hace cuando se quiere proceder con mucha precisión. En el líquido procedente de la filtración se precipita de nuevo la cal con el oxalato amónico, se deja reposar el precipitado, se le lava con poca agua, se le calcina, primero sobre un mechero Bunsen, después en el soplete de gas, teniendo cuidado de que el crisol de platino tenga puesta su tapa; se pesa, se vuelve a calcinar en el soplete y a pesar tantas veces cuantas sean necesarias para obtener un peso constante.

También se puede dosificar la cal con el permanganato, procedimiento sencillo y rápido, pero de exactitud muy discutible.

f) *Magnesia*. El líquido que se obtiene al recoger el precipitado de oxalato cálcico se acidula con ácido clorhídrico, se concentra en baño maria hasta formar un volumen de 150 cm.³, se agregan 10 de una solución saturada de fosfato amónico sódico; se hierve durante algunos minutos, se retira del fuego el vaso y se le rodea de hielo; cuando el líquido está frío se le agrega amoniaco gota a gota, con agitación continua, hasta que empieza a formarse el precipitado cristalino de ortofosfato-amónico-magnésico; entonces se agrega un ligero exceso de amoniaco, se continúa la agitación durante algunos minutos, se deja reposar varias horas en una atmósfera fría y se filtra. Se disuelve el precipitado en ácido clorhídrico diluido y caliente, en la cantidad necesaria para formar un volumen de 100 cm.³, se agrega uno de la solución saturada de fosfato amónico sódico, amoniaco gota a gota hasta que empiece la formación del precipitado cristalino, y un ligero exceso de amoniaco con agitación constante; se deja reposar el precipitado durante dos horas, se filtra, se calcina, se enfría y se pesa en forma de pirofosfato-magnésico.

g) *Potasa y sosa*. La determinación cuantitativa de estas dos bases se hará por el procedimiento de Lawrence, con o sin la adición de carbonato cálcico y de cloruro amónico.

h) *Anhidrido sulfúrico*. Se toma 1 gr. de cemento o de cal, se disuelve en 15 cm.³ de ácido clorhídrico, se filtra y se lava perfectamente.

Al líquido obtenido se le agrega agua hasta formar un volumen de 250 cm.³, se hierve, se añaden gota a gota 10 cm.³ de una solución saturada de cloruro bórico, se continúa la ebullición hasta la precipitación completa del sulfato bórico o se deja el vaso con el líquido y esta sal en un baño maria durante unas horas; por último se filtra, se lava, se calcina y se pesa.

i) *Azufre total*. Se toma 1 gr. de cemento o de cal, se mezcla con carbonato sódico y con nitrato potásico, se coloca todo ello en un crisol de platino y se calienta hasta la fusión, procurando que el azufre de los productos de la combustión del gas en el mechero no se incorpore a la masa fundida, para lo cual es muy conveniente colocar el crisol sobre un agujero hecho en el cartón

de amianto. Conseguida la fusión, se agrega agua hirviendo, se vierte todo el contenido del crisol en un vaso alto y estrecho, se agrega agua caliente y una vez disuelta la masa fundida, se filtra; el líquido se recoge en un vaso, se acidula con ácido clorhídrico, se agrega agua hasta formar un volumen de 250 cm.³ y en él se dosifica el anhídrido sulfúrico con el cloruro bórico.

j) *Pérdida al fuego.* Se toma $\frac{1}{2}$ gr. de cemento o de cal, se coloca en un crisol de platino, se calcina en el soplete de gas durante quince minutos, se pesa, se vuelve a calcinar durante cinco minutos y se pesa de nuevo; la diferencia entre este último peso y el tomado es la pérdida al fuego. Es muy conveniente que la llama del soplete esté inclinada con relación al crisol y que éste se coloque sobre un agujero hecho en un cartón de amianto.

3. *Finura del molido.* Para determinar la finura del molido de los cementos y de las cales hidráulicas se emplean los tres cedazos siguientes:

1. Con 324 mallas por centímetro cuadrado y formado con hilos de 0,20 mm., que corresponde, aproximadamente, a la tela metálica del núm. 50.

2. Con 900 mallas por centímetro cuadrado y formado con hilos de 0,15 mm., que corresponde, aproximadamente, a la tela metálica del núm. 80.

3. Con 4900 mallas por centímetro cuadrado y formado con hilos de 0,05 mm., que corresponde, aproximadamente, a la tela metálica del núm. 190.

Para hacer el ensayo se colocan 100 gr. de cemento desecado o de cal sobre el cedazo de 324 mallas, debajo del cual están los otros dos en el orden antes citado, se tapa el primero y se toma con la mano izquierda la caja que contiene los tres cedazos, procurando que su posición sea algo inclinada, se la da un movimiento de vaivén al mismo tiempo que se golpean los costados con la otra mano a razón de 200 sacudidas por minuto. La operación se considera terminada cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas de los residuos correspondientes a cada cedazo es inferior a 0,1 %.

4. *Densidad real.* Como esta propiedad de la materia tiene un carácter absoluto, no hay razón alguna para preferir un procedimiento a otro, con tal que la primera cifra decimal del resultado sea exacta, y la segunda se obtenga con un error menor de dos unidades.

En el Laboratorio Central se emplea el volumenómetro «Schumann», operando con 40 gr. del producto que se ensaya y con bencina pura.

5. *Fraguado.* La duración del fraguado de los cementos y de las cales hidráulicas se refiere a la pasta normal de estos productos, definida por su consistencia, con arreglo a ciertas reglas y convenios previamente establecidos.

Para determinar la cantidad de agua correspondiente a la pasta normal se toma 1 kg. de aglomerante; se le extiende sobre una mesa de mármol o de pizarra, formando una corona, dentro de la cual se vierte de una vez toda el agua que se juzga necesaria;

se amasa durante cinco minutos, y con parte de la pasta obtenida se llena un molde de forma troncocónica, con 4 cm. de altura y cuyas bases tienen 8 y 9 cm. de diámetro, respectivamente; la inferior, que es la menor, se coloca sobre una placa de cristal perfectamente limpia. Después de lleno el molde con un exceso de pasta, se enrasa la base superior del tronco de cono así formado con un cuchillo que se hace deslizar sobre los bordes de aquél.

Inmediatamente se hace penetrar en la probeta, normalmente a su base superior, con lentitud y con mucho cuidado una sonda cilíndrica de 1 cm. de diámetro y cargada con 300 gr.: la sonda ha de estar pulimentada, ha de terminar por una sección plana y normal a su eje y ha de limpiarse con todo esmero antes de operar con ella.

Cuando el espesor de pasta que queda entre el extremo de la sonda y la base inferior de la probeta en el momento de detenerse aquélla, es de 6 mm., la pasta tiene su consistencia normal; cuando es mayor o menor, se repite la operación aumentando o disminuyendo la cantidad de agua tantas veces cuantas sean necesarias para conseguir una pasta en la que penetre la sonda 34 milímetros.

El principio y el fin del fraguado se determinan con la aguja de « Vicat », aparato constituido por una sonda cilíndrica de metal pulimentado, limpia, seca y terminada por una sección recta y lisa de 1 mm.² de superficie (1,13 mm. de diámetro), cargada con un peso de 300 gr.

El ensayo se hace con una probeta de pasta normal, preparada con el molde troncocónico antes descrito, sumergiendo éste con aquélla en agua dulce, tan pronto como se ha enrasado su base superior.

A intervalos iguales de tiempo, cuya duración depende de la clase de producto que se ensaya, se saca del agua el molde con la probeta que contiene, se colocan debajo de la aguja Vicat, se anota lo que penetra la sonda en aquélla cuando se la permite descender con mucha suavidad para que no adquiera velocidad y se sumergen de nuevo en agua dulce el molde con la probeta. Se dice que empieza el fraguado cuando la sonda no atraviesa por completo a la probeta, y que termina, cuando la huella que produce en la base superior de la misma es inferior a 1 mm. El molde con la probeta estarán fuera del agua el tiempo estrictamente necesario para hacer los ensayos.

Los tiempos que transcurren hasta el principio y el fin del fraguado se cuentan desde el instante en que empieza el amasado de la pasta.

Tanto la temperatura del local, como la del agua con que se fabrica la pasta y la que sirve para conservarla, estarán comprendidas entre los 15 y los 18° C.

Se entenderá por agua dulce la que, siendo perfectamente clara y transparente, tiene un grado hidrotimétrico inferior a 5 en la escala de Boutron y Boudet.

6. *Estabilidad de volumen.* Los ensayos para comprobar la estabilidad de volumen de los cementos y de las cales hidráulicas se hacen de la manera siguiente:

Con la pasta normal de uno o de otro producto se forman sobre placas de cristal perfectamente limpias tres galletas de unos 10 cm. de diámetro con 15 mm. de espesor en el centro y nulo en los bordes.

Una de las galletas se conserva en aire húmedo; otra, a las veinticuatro horas, se sumerge en agua dulce, y la tercera se somete a la acción del agua caliente, cuya temperatura se eleva hasta 100° C. durante media hora, y se mantiene después en este calor durante dos y media horas.

Las dos primeras galletas se observan a los siete y a los veintiocho días, anotándose todas las deformaciones que presentan.

Cuando el resultado del ensayo en agua caliente es satisfactorio, se dará por bueno el cemento; en el caso de que el resultado fuese malo, todavía no se desechará el cemento, esperando el que dé la prueba en frío, que será la definitiva.

Durante la fabricación de las galletas, y durante su conservación, las temperaturas del aire y del agua estarán comprendidas entre 15 y 18° C., el ambiente será húmedo y no habrá corrientes de aire.

7. *Resistencias.* a) *Resistencias por tracción.* Las probetas con las que se hace este ensayo se fabrican con mortero compuesto de una parte de cemento y tres de arena de Lecaute, seca y constituida por los granos que pasen por un cedazo con mallas de 1 milímetro.

La cantidad de agua con que se amasan estos morteros se determina con la fórmula siguiente:

$$C = \frac{1}{6} P + 45.$$

C , es la cantidad de agua expresada en gramos con que se ha de amasar un kilogramo de aglomerante y de arena.

P es el peso expresado en gramos del agua que exige 1 kg. de cemento o de cal para formar la pasta de consistencia normal tal como se ha definido anteriormente.

Para fabricar las probetas se mezclan en seco el cemento o la cal con la arena todo lo más íntimamente posible; se forma con la mezcla una corona, en cuyo centro se vierte de una vez toda el agua necesaria, y se amasa con una espátula durante cinco minutos; esta operación se hace sobre una tabla de mármol o de pizarra dura.

La pasta así obtenida se coloca en los moldes, donde se apisona con una maza de madera hasta que refluya el agua.

A las veinticuatro horas se desmolda y se sumergen las probetas en agua dulce.

El ensayo de resistencia por tracción se hace con el aparato «Michaelis», adoptándose como resultado la media de las cargas de ruptura de las cuatro mayores.

b) *Resistencias por compresión.* Se determinan con probetas de forma cúbica de 7 cm. de arista, hechas con mortero compuesto de una parte de cemento y tres de arena de Leucate, en peso

esta última, con las mismas condiciones que la que se emplea en las probetas para los ensayos por tracción.

Para determinar la cantidad de agua con que hay que amasar estos morteros, se procede de la manera siguiente :

Se mezclan en seco durante un minuto 400 gr. de cemento o de cal con 1200 de arena, se añade agua, se amasa a mano durante otro minuto ; el mortero así obtenido se coloca en la cubeta de la amasadora mecánica « Steinbrück », donde se vuelve a amasar durante el tiempo que ésta tarda en dar veinte vueltas. La cantidad de agua con que se amasa el primer mortero suele ser el 8 % de la suma de los pesos de aglomerante y de arena.

Con 850 gr. del mortero así preparado se llena un molde de forma prismática, compuesto de dos partes : la inferior, que es interiormente un cubo de 70,7 mm. de arista, y la superior, que es otro de 70 mm. de arista ; ésta tiene, además, dos orificios en la parte inferior de una de sus caras. Todo ello se coloca en el martinete « Bohme Martens », con el que se dan 150 golpes. La cantidad de agua con que se ha amasado es la debida cuando entre los golpes números 90 y 110 sale el mortero por los orificios del cubo superior del molde. Cuando esto no sucede se repite el ensayo, aumentando o disminuyendo la dosis de agua, según el resultado antes obtenido.

En la forma antes explicada, se preparan los cubos de 70 mm. para los ensayos por compresión, con la única diferencia de que la parte superior del molde no ha de tener orificio alguno ; después de comprimido cada cubo con 150 golpes en el martinete « Bohme » se retira la parte superior del molde, se enrasa a la altura debida la cara superior de la probeta, se retira con el molde, se conserva en un local húmedo, se desmolda a las veinte horas y a las veinticuatro se sumerge al cubo de mortero en agua dulce, donde permanece hasta el momento en que debe romperse.

La temperatura del agua para el amasado y para la conservación de las probetas que se han de romper por tracción y por compresión, así como la del ambiente donde aquéllas se preparan, estará comprendida entre 15 y 18° C.

Rendimiento del mortero de cemento. A continuación se registran algunos interesantes datos prácticos relativos al rendimiento del mortero de cemento y a la cantidad de materias primas necesarias para preparar 1 m.³ de material :

1 cemento + 1 arena + 0,50 agua = 1,6 mortero.	} Por metro cúbico
(Se requieren así 960 kg. de cemento, 680 litros de arena y 250 litros de agua)	
1 cemento + 2 arena + 0,53 agua = 2,2 mortero.	}
(Se requieren 700 kg. de cemento, 980 litros de arena y 240 litros de agua)	

1 cemento + 3 arena + 0,64 agua = 2,9 mortero. (Se requieren 490 kg. de cemento, 1040 litros de arena y 230 litros de agua)	} Por metro cúbico
1 cemento + 4 arena + 0,80 agua = 3,7 mortero. (Se requieren 370 kg. de cemento, 1050 litros de arena y 220 litros de agua)	

La compacidad de estos morteros corresponde, respectivamente, a las cifras siguientes: 2,45, 1,26, 0,93 y 0,80. Asimismo, los *coeficientes de resistencia* a la compresión y a la tracción, después de veintiocho días (de los cuales, veintisiete dentro de agua), son los siguientes :

Dosificación	Valores medios		kg./cm. ²
	K _c	K	
1 : 1	200	25	°
1 : 2	180	22	°
1 : 3	160	20	°
1 : 4	140	18	°

Los *módulos de elasticidad* varían notablemente, pudiendo admitirse los que se indican, para las dosificaciones expresadas :

1 cemento + 0 arena + agua	$E_c = 250\ 000$ kg./cm. ²
1 " + 1,5 " + " "	$E_c = 350\ 000$ "
1 " + 2 " + " "	$E_c = 330\ 000$ "
1 " + 3 " + " "	$E_c = 315\ 000$ "
1 " + 4 " + " "	$E_c = 255\ 000$ "

Para trabajos secundarios de albañilería, en construcciones no muy cargadas, tanto en seco como debajo del agua, se adoptan mezclas de 1 : 5 a 1 : 4 ; para la generalidad de trabajos, 1 : 3 ; para obras en agua corriente o en construcciones cargadas y bóvedas de poca flecha, 1 : 2 ; en obras sometidas a presión hidráulica o expuestas a arrastres, 1 : 1 1/2 ; para lechadas destinadas a rejuntados y para revoques impermeables, 1 : 1. En el último caso se emplean también mezclas de cemento puro, pero no son recomendables pues se agrietan con gran facilidad ; en términos generales, pre-

sentan el mismo peligro tódas las mezclas demasiado ricas, por lo que modernamente se prefiere adoptar morteros con más arena, adicionados con hidrófugos especiales, tales como blanco, ceresita y otros (véase página 319)

Una buena protección de los revoques y superficies de cemento (junto a los fluatos de Kessler y a la durolita), se alcanza con dos manos de isol, siderosteno, preolita, inertol, etc., aun en depósitos y expuestos a la acción de aguas aciduiadas o alcalinas (por ejemplo, cubetas de alcantarillas urbanas).

Cuando hay peligro de *heladas* se aconseja calentar previamente los materiales: ladrillos, arena y agua. Hay que poner cuidado especial en que los ladrillos se mojen bien a fin de que el mortero de cemento vaya encontrando el agua necesaria para el fraguado; asimismo, las fábricas expuestas a una desecación demasiado rápida deberán ser humedecidas durante varios días; las superficies enlucidas se mantendrán húmedas durante dos a tres semanas, mojándolas si conviene de vez en cuando. Una vez amasado el mortero convendrá utilizarlo cuanto antes mejor, ya que, después de iniciado el fraguado, es inaprovechable.

Una *pequeña adición de cal* hace los morteros más suaves y más compactos. Con respecto al hormigón de cemento, véase el apartado correspondiente (página 305 y siguientes).

Los llamados *cementos especiales de alta calidad*, preparados por primera vez en Austria, son cementos portland que — según los ensayos normales austríacos — al cabo de dos días alcanzan coeficientes de resistencia de 400 kg./cm.², y aun mayores. La importancia de estos cementos sube de punto en las construcciones de hormigón armado, pues gracias a su empleo pueden desencofrarse las obras al cabo de pocos días, con lo que el desarrollo de los procesos de contracción se en-

cuentra favorecido y puede abreviarse además la ejecución de los trabajos.

Hace pocos años ha aparecido en Francia otro cemento especial, de notabilísimas propiedades, conocido con los nombres de *cemento fundido* (*ciment fondu*), *cemento eléctrico*, *electrocemento* y *cemento de bauxita*, preparado a base de este mineral y con auxilio del horno eléctrico, se caracteriza por su rápido endurecimiento, de modo que al cabo de pocos días los morteros preparados con él alcanzan la resistencia que los morteros ordinarios adquieren sólo al cabo de semanas o de meses, y por ser menos atacable por determinados agentes.

β) Portland de escorias. Es un cemento portland que contiene hasta un 30 % de escorias de altos hornos pulverizadas. Para fabricar el portland de escorias se empieza preparando una mezcla íntima de escorias de altos hornos, molidas en polvo fino, y caliza pulverizada. Esta mezcla se cuece en hornos de cuba o anulares o bien en hornos rotatorios. En el primer caso se prensa primero la mezcla en forma de ladrillos, en el segundo se cuece a granel. Las primeras materias se llevan en los hornos hasta un principio de fusión y el *klinker* resultante se pulveriza hasta darle una finura de harina. Finalmente, como cemento rico en cal, se añade al producto un cemento árido constituido por la moltura de escorias granuladas. Esta adición de escorias de altos hornos al *klinker* cocido no debe exceder del 30 %, según las prescripciones establecidas por los fabricantes alemanes. Este cemento se somete a los mismos ensayos que el portland ordinario. Por otra parte, se exigen del portland de escorias las mismas condiciones de resistencia que de aquél, pues en sus propiedades básicas es perfecta la analogía entre ambos. Los portlands de escorias tienen gran estabilidad de volumen, es decir, «no se hinchan», pueden obtenerse para fraguado:

a) rápido, b) normal o c) lento (a, para revoques, cornisamentos, trabajos en obras con filtraciones de agua; b, para fábricas ordinarias; c, para hormigones, fabricación de piedra artificial, etc.). Fragan en el aire así como en el agua y, lo mismo que el portland normal, se endurecen con el transcurso del tiempo; tanto en uno como en otros debe evitarse la rápida desecación de los morteros, humedeciéndolos durante el período inicial del endurecimiento. Su color es generalmente gris azulado, aunque muchas veces toman color verde oscuro si permanecen debajo del agua (por formación de sulfuro de hierro). El portland de escorias se presta también para preparar morteros atenuados (de cemento y cal). En este caso se aconseja desleir la pasta de cal en agua, para convertirla en una lechada a la que se va añadiendo la mezcla en seco, preparada previamente, de cemento de escorias y arena, mientras se agita sin interrupción. Con una mezcla normal de 1 : 3, los valores medios de los coeficientes de resistencia del mortero resultante son los que se indican a continuación :

	Después de 28 días	
	A	B
Resistencia a la tracción	30	33 kg./cm. ²
Resistencia a la compresión	330	360 "

La primera columna A se refiere al fraguado debajo del agua y la segunda columna B a un fraguado combinado (1 día al aire y 6 días en agua).

El portland de escorias parece poseer una resistencia especial a la acción de las aguas marinas.

En cuanto a las posibilidades de aplicación, en Alemania, esta clase de cementos, se admiten oficialmente en todos los casos en que se halla prescrito el uso de portland ordinario. Conviene advertir que para la preparación del portland de escorias deben adoptarse exclusivamente escorias de alto horno básicas, como las

que se obtienen en la fusión del lingote de moldeo, las cuales se granulan convenientemente mediante enfriamiento rápido. El peso específico aparente del producto en medidas llenadas por chorro es igual a 1,40, en medidas llenadas por sacudimientos 2,10 (valores promedios). El peso específico real del producto calcinado es igual a 3,25.

EXTRACTO DEL PLIEGO DE CONDICIONES OFICIAL EN
ALEMANIA PARA EL SUMINISTRO Y ENSAYO DEL
PORTLAND DE ESCORIAS. (Diciembre 1909).

Definición. El portland de escorias (*eisenportlandzement*) es un aglomerante hidráulico que contiene un mínimo de 70 % de cemento portland y un máximo de 30 % de escorias de altos hornos, granuladas. Las escorias son silicatos arcillocalcáreos; deben contener por lo menos una parte de cal y magnesia por cada parte de sílice soluble (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), juntamente. El cemento y las escorias deben molerse finamente, formando mezclas íntimas de las proporciones adecuadas. Se admite la adición de substancias especiales para alcanzar determinados objetos, particularmente para regular el fraguado, aunque su proporción no debe exceder nunca del 3 % de la masa total, a fin de evitar que se adicionen con el simple objeto de producir aumentos de peso.

γ) **Cemento de altos hornos.** Esta clase de cemento se fabrica con escorias de altos hornos (70 a 85 %) y klinker de portland (30 a 15 %), que se mezclan y se muelen juntamente. También en este caso es sólo admisible el empleo de escorias básicas granuladas. Asimismo, el klinker de portland se prepara por lo regular con adición de escorias. La resistencia del producto viene determinada, en primer término, por la naturaleza de estas escorias, pudiendo ocurrir que el cemento fabricado posea una resistencia mayor que la de las escorias empleadas en su elaboración. Según ensayos de Passow, pueden admitirse los siguientes coeficientes medios:

	Después de 28 días	
	A	B
Resistencia a la tracción	30	35 kg./cm. ²
Resistencia a la compresión	380	400

La primera columna *A* se refiere al fraguado debajo del agua y la segunda columna *B* al fraguado combinado (1 día al aire y 6 días en agua).

Los cementos de altos hornos resultan generalmente de color claro aunque, pidiéndose de ordinario oscuros por desconocimiento de los compradores, a menudo se oscurece artificialmente su color con adiciones especiales. Para aumentar la capacidad de reacción de las escorias, esta clase de cementos han de someterse a un molido de finura mucho mayor a la de los que hasta aquí se han estudiado. Son por naturaleza *lentos*, de gran estabilidad de volumen, y especialmente resistentes a las influencias químicas de toda clase, siendo por lo tanto adecuados para obras marítimas. Según nuevos ensayos (1), parece que algunos portlands de escorias y particularmente los cementos de altos hornos no ofrecen una protección tan segura contra la herrumbre como el portland normal. Con ambos es necesario, por lo tanto, para alcanzar la compacidad debida, emplear argamasas grasas en la proximidad de tendones o barras de hierro, adoptando recubrimientos suficientes (dos centímetros, por lo menos) (2).

EXTRACTO DEL PLIEGO DE CONDICIONES OFICIAL EN
ALEMANIA PARA EL SUMINISTRO Y ENSAYO DEL
CEMENTO DE ALTOS HORNOS. (Noviembre 1917).

Definición. El cemento de altos hornos es un aglomerante hidráulico, compuesto principalmente de escorias básicas de alto

(1) Goslich, *Zement*, núms. 36 y 37, 1921.

(2) En la circular ministerial prusiana del 22 de noviembre de 1917, el cemento de altos hornos, lo mismo que el portland y el portland de escorias, se admite para empleo general.



horno, granuladas por enfriamiento brusco de la masa fluida, con un contenido mínimo del 15 % de cemento portland. Las escorias y el portland se muelen juntas finamente y se mezclan de modo íntimo.

Para la fabricación de cemento de altos hornos se emplearán solamente escorias cuya composición satisfaga la relación siguiente :

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \frac{1}{3} \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \frac{2}{3} \text{Al}_2\text{O}_3} > 1$$

Dichas escorias no contendrán más del 5 % de MnO.

El cemento portland adicional deberá satisfacer las condiciones del pliego oficial correspondiente.

Se admite la adición de substancias especiales para alcanzar determinados objetos, particularmente para regular el fraguado, aunque su proporción no debe exceder nunca del 3 % de la masa total, a fin de evitar que se adicionen con el simple objeto de producir aumentos de peso.

Embalaje y peso. El cemento de altos hornos, cuya fabricación posee en Alemania notable importancia, se expende por lo regular envasado en sacos o barriles en los que consta la marca de fábrica, el sello de la Asociación de Fabricantes y el peso bruto de la mercancía.

Fraguado. El endurecimiento del cemento de altos hornos de fraguado normal no debe iniciarse hasta una hora después de la amasadura.

Se fabrica, no obstante, cemento de esta clase con fraguado rápido, cuya característica se hace constar en la designación del material. Este cemento debe almacenarse en sitios secos y sin corrientes de aire. Conviene emplearlo lo más fresco posible.

Finura del molido. El polvo debe ser tan fino que, pasado por un tamiz de 4900 mallas por centímetro cuadrado quede, como máximo, un residuo del 12 %.

Aclaración. Como este cemento no se emplea casi nunca puro, sino mezclado con arena y en muchos casos en elevada proporción, conviene observar que la resistencia del mortero resulta tanto mayor cuanto más fino es el molido. Se comprende así la importancia que tiene la moltura en su fabricación. No obstante, la calidad de un cemento de altos hornos no puede apreciarse por la simple finura de la pulverización.

δ) **Cemento de escorias.** Aparentemente este cemento se aproxima a las dos clases últimamente tratadas, pero se diferencia de éstas, fabricadas siempre por cochura, en que se obtiene por simple mezcla mecánica de cal hidráulica (apagada en forma pulverulenta) y polvo de escorias de alto horno granuladas. El

color varía del gris claro hasta el pardusco. Se expende en barriles de unos 200 kg. y en sacos. Fragua con relativa rapidez (cuando *rápido*, antes de diez minutos; *lento*, después de treinta). El endurecimiento se efectúa en un período de quince a veinte horas. Se emplea para morteros hidráulicos aunque no para obras expuestas a intensas corrientes de agua; no es aplicable en épocas de heladas. Con fraguado lento la resistencia media corresponde a la del cemento portland normal; con fraguado rápido, alcanza sólo los $\frac{2}{3}$. Las mezclas para formar el mortero constan de una parte de cal por una o varias partes de escorias, pudiendo llegar hasta cinco. La proporción más empleada es la de 1 parte de cal por 2 partes de escorias. Los morteros se preparan con 1 parte de este cemento y 3 partes de arena.

La naturaleza de los cementos de escorias es completamente distinta de la de los *cementos cocidos* últimamente estudiados, pues se trata aquí tan sólo de *cementos mezclados*. Como en éstos el hidrato cálcico puede absorber fácilmente el carbónico del aire perdiendo con ello la cal su capacidad para fraguar, se comprende que los cementos de escorias no puedan almacenarse, y que convenga emplearlos recién fabricados. Esta circunstancia, que puede influir desfavorablemente en las condiciones de resistencia del cemento de escorias, ha dado por resultado que su empleo en la construcción esté muy lejos de alcanzar la difusión de los cementos cocidos α), β) y γ), únicos que propiamente merecen dicho nombre.

C. Materiales hidráulicos adicionales

Morteros puzolánicos

En la primera parte de este manual (véase pág. 42 y siguientes) se ha hecho ya mención de las más cono-

cidas materias puzolánicas, tales como puzolana, trass, tierra de Santorín, etc., a cuyo estudio se ha dedicado mucha atención en los últimos tiempos por el valor de hidraulicidad de dichos materiales y por su importancia en la preparación de hormigones destinados a obras marítimas, a raíz de algunos fracasos experimentados en algunas construcciones de esta naturaleza. Las averías de los puertos de Chattan y Aberdeen, por ejemplo, se citan en todas las monografías consagradas a este tema. La hipótesis más generalmente admitida para explicar la corrosión que en determinados casos experimenta el hormigón en contacto con las aguas del mar se funda principalmente en la acción del sulfato magnésico sobre la cal libre del cemento. Esta cal libre, que en circunstancias especiales puede llegar a representar hasta el 30 % del peso del cemento, se origina, según Michaelis, por el paso del sulfato tricálcico a monocálcico.

Con la adición de materias puzolánicas a los morteros, se trata, pues, de incorporarles una substancia capaz de prestar a la cal un carácter hidráulico. Con resultados diversos se han ensayado hasta la fecha gran número de materias, naturales o artificiales, caracterizadas por su elevada dosificación en anhídrido silícico, susceptible de reaccionar con la cal en exceso. Entre las materias puzolánicas artificiales, ocupan lugar preeminente las escorias de altos hornos, cuyo contenido de sílice y alúmina les presta un carácter semejante al de las puzolanas naturales, siguiendo en importancia la arcilla cocida (silicato de alúmina), que se aplica generalmente en forma de ladrillo molido.

En el cuadro siguiente se indica la composición de algunas materias puzolánicas naturales :

Composición media de algunas puzolanas naturales

Origen	Sílice	Alú- mina	Oxid. Fe.	Cal	Magne- sia	Otras mate- rias
	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	
Puzolana francesa.	41,91	16,16	19,30	6,93	1,37	13,04
Puzolana de las Azores	57,78	15,15	10,37	2,84	1,63	12,13
Puzolana de Bacolli	56,2	19,00	8,70	2,90	0,25	12,95
Tierra de Santorin	66,37	13,72	4,31	2,98	1,29	11,11
Trass alemán	53,78	17,38	6,89	3,89	1,17	16,04
Puzolana de Ge- rona (1)	46,20	20,10	15,70	6,10	6,80	5,10

El estudio de los morteros puzolánicos y el desarrollo de sus aplicaciones ha alcanzado una extensión considerable en los Estados Unidos y, sobre todo, en Alemania, donde el consumo de trass representa cifras importantísimas. En España se ha distinguido en la investigación de estas cuestiones el ingeniero de caminos, canales y puertos Eduardo de Castro, pero, en términos generales, cabe decir que el tema no ha llegado todavía a despertar la atención de los constructores. No obstante, en los últimos años se ha observado cierta reacción, habiendo iniciado algunas fábricas (« La Auxiliar de la Construcción, S. A. », de Barcelona, y « Cementos Cosmos, S. A. », de Toral de los Vados, entre las primeras) la elaboración de cementos puzolánicos.

D. Hormigón

Los *hormigones* o morteros mezclados con gravilla (*garbancillo*) y grava, se preparan generalmente con cementos portland o de clases análogas y algunas veces con adición de factores de hidraulicidad.

(1) Empleada por « La Auxiliar de la Construcción, S. A. » en la fabricación del cemento puzolánico « Volcán », especial para obras marítimas.

Hormigón de cemento. Puede ser graso (1 parte de cemento, 2 partes de arena y 4 partes de grava o guijo, es decir, 1 : 2 : 4) o árido (1 : 3 : 6, etc.). Según la naturaleza de los componentes y la clase de amasijo, el peso específico aparente del producto oscila entre 2,4 y 2,3. Si se confecciona con cascote de ladrillo resulta $d = 1,9$; con escorias, 1,3 a 1,8; con grava volcánica, 1,7. El hormigón es tanto más resistente cuanto más elevada es la dosificación de cemento y mejor la calidad de los materiales componentes. La grava artificial de piedra dura es preferible al guijo de cantos rodados (aunque éstos son susceptibles de ser amasados con mayor facilidad); conviene emplear aquélla en tal proporción que los fragmentos pétreos se hallen completamente envueltos por el mortero; un hormigón de esta clase soporta muy bien las variaciones de temperatura, pues su coeficiente de dilatación tiene un valor relativamente exiguo.

Los cementos rápidos se emplean tan sólo para obras debajo del agua o expuestas a intensas filtraciones. Cuatro semanas después de la colada, el hormigón alcanza una resistencia igual aproximadamente al tercio de la que adquiere cuando se bate o apisona; no obstante, después de cierto tiempo los valores finales resultan parecidos. Más adelante se indican las dosificaciones más frecuentes y su rendimiento, resistencia, aplicaciones, cargas admisibles, etc. (véase pág. 313).

El transporte de la pasta de hormigón resulta favorable a la resistencia final mientras se tomen las debidas precauciones para que la mezcla no se descomponga.

El *consumo de agua* varía según se trate de *hormigón pastoso* (seco) o de *hormigón flúido* (húmedo o de colada). En el primer caso la dosis de agua varía entre 7 y 10 %; en el segundo, entre 10 y 15 %. Mientras el hormigón pastoso posee tan sólo un grado de humedad que permite aglutinarlo con la mano, el hormigón de colada

contiene tal cantidad de agua que las huellas o improntas marcadas con un golpe de pisón se desvanecen poco a poco a causa de la aptitud para fluir que posee el material. El hormigón seco se prefiere en las construcciones de hormigón en masa, mientras que en las obras de hormigón armado es necesario emplear un material más plástico y más húmedo para conseguir que los hierros queden perfectamente embebidos. Por otra parte, con el empleo de hormigón de colada se forma alrededor del hierro una capa más rica en cemento que proporciona una excelente protección contra la herrumbre y determina la segura adherencia de las barras con el material aglomerante. La práctica ha mostrado, además, que la resistencia del hormigón de colada en la construcción mixta no es inferior a la del hormigón pastoso (por razón de las dificultades que ofrece el perfecto apisonado de éste), caracterizándose por su gran compacidad, mayor facilidad de puesta en obra y no despreciable economía en la ejecución. Sobre las condiciones que debe satisfacer el hormigón fluido en sus aplicaciones constructivas, se indican más adelante las prescripciones oficiales.

El *ensayo del hormigón* se realiza con probetas cúbicas. Las de hormigón fluido se preparan en moldes de yeso (método de Gary), para aproximarse en lo posible a las condiciones de la práctica constructiva. Las probetas empleadas tienen 20 cm. de lado. Con referencia a los ensayos a la compresión, véanse las prescripciones citadas (pág. 294).

Las *materias que se añaden al cemento* conviene que posean granulaciones variadas a fin de reducir los huecos y aumentar por ende la compacidad del producto. En este sentido, la mezcla mejor será aquella que posea el peso específico más elevado, y por esto la piedra machacada es preferible al guijo de cantera o de río. Por lo regular, las *escorias de alto horno* son aplicables en la

confección de hormigones, pero conviene observar que en algunos casos tales escorias no presentan la necesaria resistencia a los agentes meteóricos y su empleo en la construcción puede resultar peligroso. Como hasta aquí no existe ningún medio para distinguir con facilidad las escorias buenas de las no resistentes, se exigirá a este respecto la certificación de los suministradores.

La arena, gravilla, grava, etc., se dosifican en partes volumétricas, mientras que la cantidad de cemento se cuenta al peso, calculando que 1 m.³ de cemento en medidas llenadas a chorro (sin sacudimientos), pesa 1300 kilogramos.

Con el nombre de *hormigón ligero* se designa comúnmente una mezcla que, junto a las condiciones ordinarias de resistencia, se caracteriza por su reducida densidad aparente, conservando no obstante la compacidad y siendo especialmente elástico. Tales propiedades se alcanzan de una parte con el empleo de morteros especiales (particularmente morteros de trass), y de otra con el uso de materiales pétreos adecuados (escorias, piedra pómez, etc.). Los ensayos sobre esta clase de hormigón se prosiguen todavía. Su aplicación se indica especialmente en la construcción de buques de hormigón armado, siendo no obstante de gran importancia en la edificación en general (1).

(1) De los experimentos de RABUT, MESNAGER y otros, se deduce: a) que, con la misma dosificación de cemento, el hormigón de escorias — a pesar de que su peso es inferior al del hormigón de guijo en un 30 a 40 % — es algo más resistente, b) que la relación entre el coeficiente de trabajo y el peso es máxima cuando la cantidad de arena representa de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{5}$ de la de las escorias y, finalmente, c) que la acción química del azufre contenido en las escorias carece por lo común de toda influencia perjudicial. Con este cemento de escorias aligerado se han construido en Francia, puentes, pilotajes, etc., con gran economía de peso, alcanzándose los mejores resultados. Véase: P. KNAUFF, «Der Leichtbeton und die Hochleistungen bei der Errichtung grosser Bauten», *Bauingenieur*, 1920; BOON, *Bau von Schiffen aus Eisenbeton*, 1918; PETRY, «Zur Frage des Eisenbetonschiff-

La sociedad constructora «Dickerhoff y Widman» ha realizado notables experimentos relativos al empleo del hormigón ligero en la construcción de cuerpos flotantes de hormigón armado.

Como resumen de los experimentos realizados pueden sentarse los siguientes principios generales: Relación volumétrica entre el cemento y el trass 1 : 0,3 a 0,6. Según la finalidad, se tomarán de 2,5 a 3,5 volúmenes de materiales inertes por 1 volumen de cemento, variando la relación entre los materiales resistentes y los ligeros en correspondencia con el valor de la resistencia y de la densidad. El tamaño de los granos de los materiales inertes desempeña un papel de suma importancia, pues influye esencialmente en la plasticidad del mortero y puede contribuir más o menos a que el amasijo se deshaga o descomponga, especialmente en aquellos puntos en que convenga prepararlo con mayor cantidad de agua que de ordinario. Para la arena artificial se adoptan granulaciones hasta 3 mm.; en la gravilla y en la piedra pómez machacada se fija en 5 mm. el límite conveniente.

En la resistencia de las distintas mezclas o dosificaciones influyen, por una parte, la relación entre el cemento y los materiales inertes, y por otra la que existe entre los materiales de adición resistentes y los ligeros.

En el cuadro de la página 311 se registran los resultados de los ensayos de *Dyckerhoff*, indicándose los pesos específicos aparentes y los coeficientes de resistencia.

baus», *Zementverarbeitung*, 1920, cuaderno 13; TEUBERT, *Der Eisenbetonschiffbau*, 1920, y, muy especialmente, la conferencia sobre cuerpos flotantes de hormigón armado que LUFT y RUTH dieron en la asamblea general de la «Asociación alemana del Hormigón» en 1920, publicada en la revista *Bauingenieur*, del mismo año.

Elasticidad y resistencia del hormigón

El módulo de elasticidad E del hormigón no es constante, pues varía en primer término con la importancia de los esfuerzos, y también con su naturaleza, así como según la cantidad de agua añadida, la edad del hormigón, el volumen y naturaleza de los materiales inertes, la forma de preparación (a brazo o por medio de hormigoneras), etc.

Al aumentar las tensiones, el valor de E disminuye. Crece en cambio con el tiempo transcurrido y se reduce al aumentar la dosis de agua. Su valor máximo se encuentra situado entre las mezclas $1 : 1 \frac{1}{2}$ y $1 : 2$; cuando las mezclas son más ricas o más áridas resultan valores más pequeños. Como promedio, para las tensiones ordinarias, puede admitirse $E = 200\,000$ kg./cm.², trabajando el material a la compresión, y $E = 230\,000$ kg./cm.² cuando trabaja por extensión. En la construcción de hormigón armado, el módulo de elasticidad del hormigón se toma por lo regular igual a $\frac{1}{15}$ del del acero dulce:

$$E = \frac{2\,150\,000}{15} = 143\,000 \text{ kg./cm.}^2, \text{ en números redon-}$$

dos, pues en este caso se admite que las tensiones pueden llegar a agrietar el hormigón en la zona tensada, es decir, que se aceptan tensiones de grado más elevado.

Según la « Asociación Alemana del Hormigón » (1), en un hormigón compuesto de 1 volumen de cemento por n volúmenes de gravilla las cantidades de cemento C y de gravilla G se calcularán por las fórmulas siguientes:

$$\text{Cemento} = C = \frac{1,33}{1+n} \text{ m.}^3$$

$$\text{Gravilla} = G = \frac{1,33}{1+n} \times n \text{ m.}^3$$

(1) Circular de 29 de enero de 1921.

Algunos resultados del ensayo de probetas de hormigones ligeros (1)

N.º	Relaciones de mezcla, en volumen (sin sacudimiento)										A las 4 semanas				Observaciones
	Cemento	Trass	Caliza conquillera 0-3	Aréna del Rhin 0-5	Gravilla del Rhin 5-10	Aréna 0-5	Gravilla de pomez 5-10	Aglomerante	Material resistente	Material ligero	Densidad Relativa	Resist.ª	Tracción	Resist.ª compres.	
1	1	0,5	—	0,67 en junto	0,33 en junto	1	—	1,2	1,3	1,0	1,95	33	305	Resistencia excesiva, demasiado pesado y caro.	
2	1	0,5	—	0,5 en junto	0,25 en junto	1,25	—	1,2	1,05	1,25	1,85	30	290	Los granos de gravilla de 5-10 mm. se sedimentan fácilmente.	
3	1	0,5	—	— en junto	— en junto	2,0	—	1,2	0,3	2,0	1,55	20	180	Poca resistencia, a pesar de la mezcla rica, por defecto del material resistente.	
4	1	0,5	—	1 en junto	0,5 en junto	1,5	—	1,2	1,8	1,5	1,95	28	210	Buena resistencia, pero demasiado pesado. La gravilla de 5-10 mm. se sedimenta.	
5	1	0,5	—	1 en junto	0,5 en junto	0,5	1,0	1,2	1,8	1,5	1,95	26	220	Los granos de pomez de 5-10 mm. flotan.	
6	1	0,5	0,5	0,5 en junto	— en junto	2,0	—	1,2	1,3	2,0	1,60	24	190	En cuanto a resistencia, mejor que la mezcla 3 (1:0,5:2), a causa de los materiales resistentes, con densidad casi igual.	
7	1	0,25	—	1 en junto	— en junto	2,0	—	1,1	1,15	2,0	1,65	23	175	Densidad más elevada y menor resistencia que la mezcla 6	

(1) Se indican en primer lugar tres dosificaciones de 1 cemento : 0,5 trass : 2,0 áridos y otras tres de 1 cemento : 0,5 trass : 3,0 áridos, comparativamente, para mostrar la influencia que ejerce la variación de las materias áridas adicionales. El aglomerante y las materias adicionales se expresan también para cada dosificación agrupadas en tres casillas : aglomerante, material resistente y material ligero, a la primera de las cuales se han asignado $\frac{2}{15}$ de la cantidad de trass y a la segunda los restantes $\frac{1}{15}$. Este cuadro indica las densidades relativas y los coeficientes de resistencia a la tracción y a la compresión, al cabo de cuatro semanas, y registra algunas observaciones sobre los resultados. La mezcla 7 muestra, además, la influencia de la disminución de la cantidad de trass.

Asimismo, en un hormigón compuesto de cemento, arena y grava o piedra partida, en la relación volumétrica de $1 : n : m$, las cantidades de cemento C , arena A y grava G importan :

$$C = \frac{1,33}{1 + n + m} \text{ m.}^3$$

$$A = \frac{1,33}{1 + n + m} \times n \text{ m.}^3$$

$$G = \frac{1,33}{1 + n + m} \times m \text{ m.}^3$$

por ejemplo, para la dosificación $1 : 4 : 6$ resulta :

$$C = \frac{1,33}{11} \approx 0,12 \text{ m.}^3; \quad A = \frac{1,33}{11} \times 4 = 0,48 \text{ m.}^3;$$

$$G = \frac{1,33}{11} \times 6 = 0,72 \text{ m.}^3$$

El cuadro siguiente indica los *rendimientos* en hormigón de las mezclas ordinariamente empleadas y los valores normales de los coeficientes de resistencia a la compresión correspondientes.

La *resistencia normal a la tracción* importa de $\frac{1}{12}$ a $\frac{1}{15}$ de la resistencia a la compresión, por término medio, y la *resistencia a la cortadura* $\frac{1}{7}$ del valor últimamente indicado. Se aconseja tomar para las máximas fatigas específicas admisibles valores de seis a ocho veces más pequeños, o lo que es lo mismo, calcular tales cargas con un coeficiente de seguridad comprendido entre $\frac{1}{6}$ y $\frac{1}{8}$. La resistencia a la compresión flexora, según Navier, es igual aproximadamente a 1,7 veces la resistencia normal y la resistencia a la tracción flexora es igual al doble.

Dosificación C : A : G (1)	Rendimiento en hormigón	Por 1 m. ³ de hormigón se requiere			Coeficiente de ruptura por compresión Kg./cm. ²	Fatiga específica admisible a la compresión Kg./cm. ²	Empleo
		C (suelto) m. ³	A m. ³	G m. ³			
1 : 2 : 4	4,8	0,21	0,4	0,9	200	45	{ Bóvedas { Pilares { Pisos { Cimientos { Apoyos, etc. { Muros con cargas moderadas { Hormigón armado
1 : 3 : 4	5,3	0,13	0,6	0,8	160	35	
1 : 3 : 6	6,8	0,15	0,45	0,9	140	30	
1 : 4 : 8	8,9	0,12	0,46	0,95	120	27	
1 : 5 : 10	11,4	0,09	0,47	0,93	95	20	
1 : 3 —	2,9	0,39	1,04	—	180	40	
1 : 4 —	3,7	0,32	1,05	—	150	35	

Según esto, por regla general puede contarse que, con hormigón seco, en dosificaciones comprendidas entre 1 : 3 : 4 hasta 1 : 4 : 8, la aparición de grietas en la zona de fibras estiradas no es de temer hasta que existan tensiones flexoras (calculadas según Navier) situadas entre 16 y 20 kg./cm.², es decir, que con un coeficiente de seguridad igual a 8 no hay que tener reparo alguno en admitir tracciones flexoras hasta 2,0 a 2,5 kg./cm.². Por esto mismo, la condición impuesta con frecuencia de que en las bóvedas de hormigón apisonado la línea de presión se conserve dentro del tercio medio no puede mantenerse. En la construcción en hormigón armado, con hormigón de 1 : 4, la resistencia a la tracción flexora, con la cual no debe contarse hasta la aparición de grietas, se estima en unos 24 kg./cm.².

Se admite de ordinario que la resistencia a la cortadura se halla comprendida entre 25 y 30 kg./cm.², tomándose para las fatigas específicas admisibles valores que oscilan entre 4 y 4,5 kg./cm.².

(1) C = cemento ; A = arena ; G = guijo.

Para cargas normales, el *coeficiente de adherencia* entre el hierro y el hormigón, en las construcciones de hormigón armado, es igual a unos 22,5 kg./cm.², aceptándose el mismo valor para los casos de flexión, con lo que, si el coeficiente de seguridad es igual a $\frac{1}{5}$, son admisibles esfuerzos de desgarramiento de 4,5 kg./cm.², o sea un valor que corresponde al del desgarramiento admisible en el hormigón. La correspondencia entre ambos valores se explica por la circunstancia de que eventualmente el hierro se recubre con una película de cemento, por cuyo motivo entra en juego la resistencia al desgarramiento del hormigón.

Entre las *propiedades del hormigón* que importan especialmente en la construcción compuesta (hormigón armado), convendrá citar las siguientes: las dilataciones o contracciones que experimenta el material al endurecerse en el aire o en el agua, respectivamente — las cuales se traducen en tensiones iniciales. En morteros de cemento de 1 : 3 hasta 1 : 5 se han observado en la práctica coeficientes de dilatación que llegan hasta 0,5 mm. por metro. Su influencia perjudicial en las construcciones compuestas, de gran longitud, se salva por medio de juntas de dilatación, articulaciones, etc. Se ha tratado asimismo de reducir dicho coeficiente regulando la dosis de agua y adoptando hormigones de composición adecuada. Contra las grietas capilares, especialmente tratándose de depósitos, puede dar buen resultado el uso de barnices bituminosos especiales (*isol, inertol*).

El hormigón es *resistente al fuego* como se ha visto en ensayos de laboratorio y en la experiencia de los casos de incendio. En este respecto, el hormigón de piedra machacada se ha mostrado superior al compuesto de cantos rodados. Aun a temperaturas de algunos centenares de grados, los límites de fluencia y de resistencia del hierro embebido, se han mantenido sin experimentar reducciones considerables. Los revoques completamente

impermeables a los gases obran en este caso de modo desfavorable, pues, sin que llegue a peligrar la resistencia de las estructuras, se desconchan delgadas capas superficiales a causa de la tensión que alcanza el vapor producido por la humedad de la masa de hormigón. El hormigón, por otra parte, protege el hierro considerablemente. Gruesos de hormigón o de hormigón armado de unos 8 cm. han soportado en los ensayos temperaturas hasta 1100°.

Para las *corrientes eléctricas* de fuerte intensidad, puede decirse que el hormigón es un mal conductor mientras no se encuentre en estado húmedo. En general, las estructuras de hormigón armado bien construídas, especialmente cuando abundan las armaduras metálicas y éstas están unidas entre sí, constituyen una excelente protección contra los rayos, y tanto más cuando por lo regular los muros de cimentación son buenos conductores a causa de la humedad del subsuelo ; para mayor seguridad, no obstante, se recomienda la puesta a tierra de las armaduras metálicas.

Por lo que respecta a las *corrientes erráticas* o *vagabundas* es preciso distinguir la corriente alterna de la corriente continua. Mientras que la primera no produce en el hierro empotrado ninguna acción perjudicial (especialmente, ninguna formación de herrumbre), la corriente continua, a causa de fenómenos electrolíticos (descomposición del agua y formación de oxígeno), es, por el contrario, un agente de oxidación que, en determinadas circunstancias, y por razón del aumento de volumen determinado, puede tener por consecuencia la dislocación de las estructuras. Por esta razón se impone un buen aislamiento de las conducciones de corriente continua con respecto a las obras de hormigón armado.

Para que el hormigón proteja el hierro de la *herrumbre* de modo eficaz y duradero, se aconseja emplear

morteros compactos y grasos (1 : 3 hasta 1 : 4) y procurar que los recubrimientos sean abundantes (2 a 3 cm.). Se ha demostrado que las experiencias desgraciadas relativas a la oxidación del hierro en construcciones de hormigón armado (1), tenían su causa en disposiciones constructivas inadecuadas y en condiciones climáticas locales desfavorables (por ejemplo, gases y polvos de minas de zinc). Sin embargo, hay que proceder con la mayor cautela para ponerse a cubierto de tales peligros (véase también pág. 300).

En muchas ocasiones el hormigón de cemento portland no se comporta bien en contacto con *agua de mar*, a causa de que la cal libre es atacada y disuelta por las sales de aquélla, con lo que el material se corroe y pierde su resistencia a la acción mecánica de las olas. Contra la última, obra de modo favorable un enlucido duro y bien alisado, mientras que contra las acciones químicas puede recurrirse a la adición de trass o de puzolana o al empleo de portland de escorias o de cementos de altos hornos. En el primer caso, el anhídrido silícico se combina con la cal libre y los silicatos calizos que se forman no son atacables por las aguas marinas.

Las *aguas estancadas* y las *marismas* perjudican también la resistencia del hormigón, a causa principalmente de los ácidos inorgánicos y orgánicos, por lo que, junto a la protección de las superficies, con aislantes adecuados, conviene que el hormigón sea lo más compacto posible. De las soluciones salinas que en la práctica constructiva pueden hallarse en contacto con el hormigón, hay que citar, en primer término, la acción desfavorable que ejerce el cloruro magnésico (que se forma, por ejemplo, en la defectuosa ejecución de suelos de xilolita, véase pág. 102). El ácido sulfúrico es igualmente perjudicial, así como las sales capaces de determinar

(1) Puente de Kattowitz, véase *Zeitschrift für Bauwesen*, 1916 y *Armierter Beton*, 1917 y 1918.

eflorescencias o abollamientos, los líquidos en estado de fermentación (a causa del anhídrido carbónico que desprenden, etc.). Las aguas canalizadas, las materias fecales y los aceites minerales no perjudican en general el hormigón, mientras que los aceites vegetales y animales son altamente perjudiciales por combinarse los ácidos grasos con el cemento del material (1). Por otra parte, el *agua de cemento*, es decir, la que filtra o rezuma a través del hormigón por causas meteóricas, etc., ataca el cobre, el zinc y el plomo. Por este motivo, en aquellos puntos en que los citados metales han de ponerse en contacto con hormigón, conviene protegerlos con cartón embetunado, isol u otros aislantes análogos.

No puede decirse propiamente que el hormigón sea mal *conductor del calor* aunque la propagación de éste se produce con cierta lentitud. La capacidad calorífica del hormigón es relativamente elevada. Según el espesor de los elementos, transcurre mucho tiempo antes de que las masas de hormigón acuerden su temperatura con las variaciones del ambiente. Por esta misma razón el hormigón expuesto a la radiación solar obra como acumulador de calor, que luego cede lentamente, pudiendo mostrar en determinadas circunstancias mayor temperatura que el aire circundante. Por lo general, cuando durante la ejecución de las obras de hormigón se evitan influencias térmicas perjudiciales, la oscilación de temperatura no excede de $\pm 10^{\circ}$ C. Conviene impedir durante el fraguado el calentamiento excesivo del hormigón, pues los ensayos de laboratorio han puesto en evidencia que variaciones de 25 a 30° C. influyen desfavorablemente en la resistencia a la compresión del material.

(1) El esmalte líquido *penetrol*, de la sociedad italiana «Marelli y Fossati» (MEF), permite vitrificar en frío las superficies de cemento, haciéndolas impermeables y resistentes a la acción de aceites, petróleos, grasas y bencinas.

El frío no perjudica el hormigón una vez endurecido, pero heladas de más de 24 horas reducen considerablemente la resistencia del hormigón si se halla en curso de fraguado; esta influencia es tanto más enérgica cuanto más fresco es el hormigón. La alternancia de hielo y deshielo, no es tan perjudicial en este respecto para el hormigón apisonado como el frío permanente.

Cuando la temperatura del ambiente es inferior a 3° C. bajo cero deben suspenderse los trabajos de hormigonado, a no ser que se tomen precauciones especiales, como, por ejemplo, el calentamiento preliminar de los materiales. Ensayos de laboratorio y experimentos prácticos han confirmado la posibilidad de hormigonar con temperaturas hasta 7° bajo cero, sin que la resistencia del hormigón se reduzca en más de un $\frac{1}{6}$, adicionando al agua de amasadura cloruro cálcico en la proporción del 5 %.

El *coeficiente de dilatación lineal* del hormigón es igual, aproximadamente, a 0,000010, valor muy semejante al de los aceros dulces Martin-Siemens o hierros de fusión. Esta circunstancia, de importancia considerable desde el punto de vista del trabajo estático de las estructuras compuestas, determina la uniformidad de las dilataciones y contracciones que experimentan el hierro y el hormigón por los cambios de temperatura.

La obtención de *hormigones completamente impermeables* se eleva adicionando al mortero productos *hidrófugos* o bien enluciéndolo o revocándolo con cementos y aislantes especiales. Entre los hidrófugos adicionales hay que mencionar en primer término los siguientes: *ceresita, aquabar, impervita, preolita y blanco*, siendo este último el más difundido en nuestro país por sus excelentes cualidades, facilidad de empleo y reducido consumo, toda vez que bastan 18 kg. de producto por

metro cúbico de hormigón (1). Según certificados oficiales, estos hidrófugos no modifican las condiciones de fraguado ni la resistencia del hormigón, así como tampoco su adherencia con el hierro. Siempre que es posible, resulta de mayor eficacia y más económico proteger las obras con simples revocos, de 2 a 3 cm. de espesor tendidos en varias capas, comprimiendo bien el material y alisándolos con la llana. Entre los *barnices aislantes*, además de los preparados a base de jabón o de alquitrán, hay que citar las emulsiones bituminosas, la creosota, el asfalto, los fluatos y los antioxidantes como el *isol*, el *inertol*, el *siderosteno*, la *preolita*, etc., de los cuales los dos primeros, por ejemplo, no sólo son susceptibles de resistir elevadas presiones de agua sino también la acción de ácidos y lejías. En Alemania se aplican algunos cementos artificiales que poseen ya cualidades hidrófugas, tales como los cementos *liebold* y *antiaqua*, compuestos de cemento portland y sustancias impermeabilizantes.

La amasadura del hormigón puede efectuarse a brazo, por medio de palas, pero el producto alcanza mejores cualidades cuando se amasa mecánicamente por medio de hormigoneras. Cabe distinguir entre éstas :

a) *Hormigoneras de funcionamiento intermitente*, es decir, con cargas sucesivas. Los aparatos comprendidos en este grupo pueden reducirse a los cuatro tipos siguientes :

(1) El blanco es una pasta blancuzca, que se expende en latas o en barriles. La preparación y empleo de los morteros a base de este hidrófugo, no difieren de los morteros ordinarios: Se mezclan bien, en seco, los componentes cemento y arena, en las proporciones habituales y en lugar de efectuar la amasadura con agua clara se realiza con agua en la que previamente se ha desleído el blanco, a razón de 10 $\%$. Consumo: 3 kg. de blanco por saco de portland.

1.º Aparatos con cuba fija horizontal, en cuyo interior gira un agitador de varios brazos. Permiten observar constantemente la forma en que se produce la amasadura, pero resultan algo incómodos a causa de la formación de polvo (sistemas : «Kunz Co.», de Kempten, vaciándose por un portillo en el fondo o haciendo bascular la cuba ; «Wolf y C.^a», de Guben, con cuba inclinable ; «Gauhe, Gockel y C.^a», de Oberlahnstein, etc.

2.º Aparatos de cuba vertical fija, con agitador interior (sistemas «Hüser», de Bonn, con fondo de abertura automática ; «Gustav Eirich», a modo de molinos de rulos ; «Gauhe, Gockel y C.^a»).

3.º Aparatos con tambor giratorio de eje horizontal (tromeles mezcladores, sistemas : «Tobler» ; «Ramsonne», con aletas en las paredes del tambor ; «Montón», con tambor en forma de ∞ ; «Georg Sniat», de Dresde, con recipiente basculante, en forma de pera, abierto por un lado).

4.º Hormigoneras de caída libre. Los materiales se mezclan durante su caída. Son de manejo sencillo, exigen poco servicio y se emplean con ventaja para el hormigonado de cimientos y soleras, y en aquellos casos en que no precisa la garantía absoluta de una perfecta mezcla de los componentes (sistemas «Wilhelm Damm», de Miltenberg del Meno, «Gaspary y C.^a», de Markranstädt).

b) *Hormigoneras de funcionamiento continuo.* Los materiales que se han de mezclar se introducen separadamente por un extremo de la máquina y salen por el otro constituyendo una masa homogénea. Entre los tipos alemanes son dignos de mención los sistemas siguientes : «Bünger», de Düsseldorf, con largo cilindro mezclador un poco inclinado ; «Gauhe», de tipo análogo y también con mezclador vertical, más aconsejable ; «Gaspary», notable por la buena regulación de

las proporciones de mezcla, con tolva de plato mezclador; «Krauss», de Munich, con cilindro horizontal giratorio, etc.

Es digno de mención un hormigón especial empleado en Alemania, donde se conoce con el nombre de *trassbeton*. Este hormigón se caracteriza por su contenido de trass, aunque los productos cementantes son de composición muy variable. En sus distintas formas se emplea especialmente en obras hidráulicas, sobre todo en las que han de estar en contacto con agua de mar, tanto para elementos de hormigón en masa como en estructuras de hormigón armado. En realidad se trata de un *hormigón de portland* más o menos atenuado (véase págs. 303 y 305).

He aquí algunas mezclas recomendables:

1. *Para obras marinas:*

a) Para fraguado debajo del agua:

2 volúmenes trass + 1 volumen pasta de cal + 2 volúmenes cemento + 6 volúmenes arena + 11,5 volúmenes guijo = 0,467 mortero : 0,785 guijo.

β) Apisonado en seco:

1,5 volúmenes trass + 0,75 volúmenes pasta de cal + 1 volumen cemento + 4 volúmenes arena + 11,5 volúmenes guijo = 0,4 mortero : 0,92 guijo, o bien

0,5 volúmenes trass + 1 volumen cemento + 2,5 volúmenes arena + 6 volúmenes guijo = 0,4 mortero : 0,92 guijo.

2. *Para construcciones en agua dulce:*

1 trass : 1 pasta de cal : 1 arena : 4 guijo, o bien

1 » : 1 » » » : 1,5 » : 5 »

según las condiciones requeridas en la construcción.

En el cuadro siguiente se indica el valor de la resistencia a la compresión de algunos hormigones con adición de trass.

Clase de hormigón	DOSIFICACIÓN					K _c en Kg./cm. ² después de días		
	Trass	Cemen- to	Arena	Guijo	Pasta de cal			
						14	28	90
Cemento y trass..	0,8	1	4	4	—	89	119	162
Cemento y trass..	0,8	1	6	12	—	46	54	82
Cemento, cal y trass	1,0	1	5	10	0,5	77	107	144
Cal y trass	1,0	—	1,5	4,5	0,8	39	70	79

2. Mástiques

Entre los variadísimos productos de esta clase que se aplican en la construcción, aunque con carácter secundario, ya sea para pegar o aglutinar materiales de naturaleza igual o distinta, ya para rellenar grietas, etc., se citan algunos brevemente a continuación:

a) **Mástiques de cola.** Para *madera*: 1 parte de cola + 14 partes de agua + 1 parte de aserrín + 1 parte de creta; para *papeles*: 10 partes de almidón + 100 partes de agua + 1 parte de bórax o alumbre (este componente para impedir que fermente el almidón).

b) **Mástiques de cal.** *Mástique de caseína*: Se compone de polvo de cal, ladrillo molido, agua, y una elevada proporción de leche cuajada, y se usa para la piedra; formado con polvo de cal, cuajo y albúmina sirve para la madera. La cal puede sustituirse por el cemento y en este caso es conveniente reemplazar la cuajada por la leche agria.

c) **Mástiques de aceite o masillas.** Para *vidrio*: Aceite de linaza (no refinado) y creta preparada; se reblandece con lejía de potasa y jaboncillo. Para *piedra*: 25 partes de polvo de cal + 10 partes de ladrillo molido + 1 parte de vidrio pulverizado + 8 partes de aceite de linaza. Otra fórmula: 2 partes de minio de plomo + 1 parte de arena de cuarzo limpia + 1 parte de cal apagada, en polvo; se amasa con aceite de linaza caliente.

Hay que citar aquí el *cemento al óleo* empleado para proteger escaleras de piedra, compuesto de 50 kg. de polvo de chamota, 4,5 kg. de minio de plomo y 11 litros de aceite de linaza caliente. Se hace un tendido superficial de 2 a 4 mm. de espesor, que puede teñirse con colorantes orgánicos.

d) **Mástique de magnesia.** Véase cemento Sorel (pág. 100).

e) **Mástique de hierro.** De 60 a 100 partes de limaduras de hierro, de 1 a 2 partes de sal amoníaco y 1 parte de flor de azufre; se amasa con agua. Es más sencillo, y más conveniente por lo que respecta a la estabilidad de volumen, emplear para la unión de hierro y piedra cemento portland puro, cemento metálico patentado o cemento de amianto.

f) **Mástique de vidrio soluble.** Se compone de silicato sódico, creta y gris de zinc, en proporciones variables; se emplea para metales, piedras y maderas. Para la piedra se emplea también una mezcla de cemento y vidrio fusible (silicato sódico).

g) **Mástiques resinosos.** Para la *madera*: 2 partes de colofonia o bien de lacre mezcladas con una parte de creta o de ladrillo molido. Para la *piedra*: 2 partes de pez + 1 parte de asfalto y ladrillo molido. Resistente al agua del mar: un kilo de caucho y otro de lacre, disueltos en 50 litros de sulfuro de carbono. Todas las resinas empleadas en las mezclas deben calentarse hasta la fusión. Estos mástiques se emplean en caliente y conviene asimismo calentar previamente las superficies que deben recibirlos.

h) **Mástiques bituminosos.** Se emplean principalmente para el relleno de juntas de dilatación y para tapar goteras, en forma de productos que se adquieren ya preparados y se aplican en caliente o en frío. La generalidad se resecan y vuelven quebradizos al cabo de algún tiempo. Entre los más conocidos pueden citarse los productos *tropenol* e *isolit* (véase pág. 328).

III. Materiales auxiliares

Convendrá citar entre éstos : asfalto, alquitrán, cartón alquitranado, amianto, *holzzement* (fibrocemento), fieltro embetunado, tejidos impermeables, caña y paja, vidrio de construcción, vidrio fusible, pinturas, papeles pintados y linoleo.

1. Asfalto

Se conocen con el nombre de asfaltos, productos naturales de variadas formas y composiciones, generalmente de color negro brillante, distinguiéndose el *betún natural*, blando y plástico, y la *pedra asfáltica*, constituida por la mezcla íntima del primero con rocas calcáreo-areniscas o pizarras. Los criaderos más importantes se encuentran en el Mar Muerto (betún de Judea), isla Trinidad (donde existe un lago de asfalto que cubre 40 hectáreas), Barbados, Venezuela, Cuba, Méjico, Val de Travers (Suiza), Vitoria (España), Seyssel y Pirimont (Francia), Abruzzos, Nápoles, Sicilia, Lobsanna (Alsacia), Limmer (Hannover), Ibach (Harz) y Vorwohle (Brunswick). El componente más importante del asfalto es el betún, compuesto hidrocarburado, cuya riqueza determina la calidad del material, acompañado a menudo de azufre. El asfalto de Val de Travers contiene un 10 % de betún ; el de Limmer, de 8 a 14 % y el de Vorwohle alrededor de un 7 %.

El *asfalto bruto* constituye una masa de color oscuro o negro, con brillo mantecoso y fractura conquiforme, de reducida dureza; su peso específico se halla comprendido entre 1,1 y 1,2. A los 40° se reblandece y se funde entre 100 y 130°. El betún arde sin dejar residuo, con llama amarillo rojiza, intensamente fuliginosa. Por lo regular, el asfalto natural va acompañado de cantidades considerables de arena y otros componentes minerales, requiriéndose purificarlo por licuación para separar, precipitándolos, los componentes más pesados. La roca de asfalto sometida a la acción del calor se reduce a polvo, al cual, luego, con empleo de pisones y rodillos calientes, puede dársele nuevamente la forma de la roca. Se funda en esta propiedad el empleo de la roca asfáltica en la construcción de pavimentos.

Por refusión del producto natural se obtienen:

a) *Betún puro*, negro y brillante; se endurece a 10° reblandeciéndose entre 40 y 50°. De este betún se produce la *brea mineral* o *de asfalto*, por adición de un 25 % de residuos de la destilación del petróleo. Se obtiene un producto análogo refundiendo juntamente asfalto purificado y piedra asfáltica o por destilación seca de la roca. El alquitrán mineral viene a ser un betún asfáltico relativamente puro. Se utiliza en la construcción, principalmente como fundente para la roca de asfalto, que sin esta adición se pulverizaría al calentarla.

b) El *mástique de asfalto* se obtiene fundiendo una mezcla de roca asfáltica con breas mineral o con betún natural puro, de modo que la masa contenga un 20 % de betún. Una vez licuada se vierte en moldes de madera o de hierro, obteniéndose por solidificación los llamados «panes de asfalto», de unos 25 kg. de peso. La refusión de esta masa se facilita añadiendo cada vez pequeñas cantidades de breas mineral.

En las aplicaciones constructivas se distinguen el asfalto apisonado y el asfalto fundido.

a) *Asfalto apisonado*. Una vez triturada la roca asfáltica se calienta hasta 120° C. con objeto de eliminar su humedad totalmente y dar a la materia forma pulverulenta.

El polvo asfáltico se extiende sobre capas de soporte preparadas con hormigón, secas e impermeables, y se aglomera comprimiéndolo con pisones o con rodillos calientes; a continuación se plancha la superficie con alisadores que se llevan previamente a alta temperatura a fin de provocar la fusión del betún y obtener pavimentos de impermeabilidad perfecta. Al estrato de asfalto pulverulento se le da un espesor de 30 a 40 % mayor que el que deba tener la capa final de asfalto comprimido (generalmente 5 o 6 cm.). Con el curso del tiempo y a causa del tránsito rodado, la compacidad de asfalto va en aumento, llegando su peso específico a alcanzar valores comprendidos entre 1,8 y 2,3 en los puntos de mayor tráfico, a la vez que la capa experimenta un aplastamiento del 15 al 20 %, particularmente en los primeros años (1).

Con este mismo material y procediendo en forma análoga se fabrican también *losetas de asfalto* destinadas a pavimentación. Estas losetas presentan variadas formas y gruesos, siendo por lo común rectangulares o cuadradas con superficies provistas de estrías. Sus espesores varían entre 2 y 5 cm. según los usos a que se destinan. Se fabrican con prensas especiales (2) y se caracterizan por su gran compacidad, elevada resistencia a los agentes atmosféricos, pequeño desgaste e impermeabilidad perfecta. Las losetas de asfalto se apli-

(1) La sociedad «Víctor Spiegel», de Berlín, se dedica a la fabricación de aparatos y herramental para ejecutar esta clase de pavimentos.

(2) Tipo «Conti Luigi», de Malnate (Italia) o similares.

can lo mismo en pavimentos urbanos que en solados de edificios, andenes de estaciones, muelles, etc. (se recomiendan para cuadras), aconsejándose colocarlas sobre un lecho de hormigón. Las losetas de superficie estriada pueden emplearse sin inconveniente para pavimentación de calles con pendientes de hasta 1 : 40, con tal que la radiación solar o las heladas no las alteren. Sirven también las losetas para soporte elástico de carriles de tranvías urbanos y para pasar, en los lados de las vías, a los pavimentos adoquinados. Comparados con los pavimentos monolíticos de asfalto apisonado, los pavimentos de losetas tienen la ventaja de su mayor resistencia a causa de la elevada compresión del material, ofrecen la posibilidad del doble empleo de las losetas, invirtiéndolas, simplifican los trabajos de reconstrucción, y eliminan olores molestos durante la construcción de calzadas urbanas.

El *asfalto fundido* se prepara con mástique de asfalto. Después de desmenuzar los panes en terrones del tamaño de naranjas y adicionar 3 o 4 % de breá mineral o asfalto purificado, se mezcla el material con 30 a 40 % de gravilla de grano grueso y se calienta la masa hasta 160°. El grado final de fluidez de la mezcla se reconoce porque debe permitir fácilmente la introducción en ella de un palo de madera sin que al extraerlo la masa siga pegada a él. La argamasa asfáltica se extiende sobre un subpavimento seco y resistente (hormigón), formando fajas sucesivas, sobre las que se esparce arena y se cilindran para endurecer la superficie. El asfalto fundido se emplea principalmente para aceras, solados, patios, etc.

Hay que citar además otras aplicaciones del material fundido : relleno de juntas en entarugados o adoquinados (con adición de alquitrán al mástique para aumentar su fluidez); preparación de placas moldeadas para caminos de poco tráfico; ejecución de capas

de bóvedas (con grandes luces se emplean dos capas: la interior, flexible, más cargada de asfalto, y la exterior, menos blanda, con mayor cantidad de guijo); aislamiento de muros contra la humedad ascensional (inconveniente: discontinuidad en las estructuras); impregnación de piedras porosas para utilizarlas como material impermeable; preparación del *hormigón* o *macadán asfáltico* (mezcla de mástique o betún con 50 a 60 % de guijo o grava), muy adecuado, además, para cimentar máquinas en edificios de habitación con objeto de amortiguar el ruido y absorber las trepidaciones; fabricación de hojas de fieltro, impregnadas con asfalto y alquitrán de hulla (fieltro embetunado; se expende en rollos y debe alquitranarse y espolvorearse con arena después de colocado para alcanzar una perfecta compacidad (1); fabricación de placas de asfalto y plomo sistema Siebel (pág. 258), etc. Por último, muchos tubos de hierro y piezas especiales, usadas sobre todo en las instalaciones de distribución y evacuación de aguas, se barnizan en caliente con un mástique fluido.

Entre los productos derivados del betún pueden citarse la *preolita* (Pree y C.^a, Dresde) y el *isolit* (Marelli y Fossati, Como), empleados como antioxidantes, como material de cubierta, como aislantes contra la humedad (aun con fuertes filtraciones), para protección de depósitos de agua potable y como cementos aglutinantes (por ejemplo, para linoleo).

2. Cartón alquitranado y materiales análogos

Según las materias de las que se extrae, se distinguen las dos clases siguientes de alquitrán:

(1) Los materiales llamados *tektolith*, *pachytekt* e *isolona*, son tejidos impregnados por ambas caras.

Alquitrán de madera. Se obtiene por destilación seca de la madera. Las coníferas dan de 10 a 14 %; las maderas ordinarias de 8 a 10 %. Constituye una masa pardusca, aceitosa e inflamable; el contenido de creosota hace al material antiputrescible.

Alquitrán de hulla. Es negro y se obtiene como producto secundario en la destilación de la hornaguera o carbón de piedra; contiene ácido fénico y por esta causa se presta para toda clase de barnices e impregnaciones protectoras.

Cartón alquitranado. Llamado vulgarmente *cartón-cuero* se encuentra en el comercio formando rollos de unos 40 kg. de peso y un metro de anchura, con longitudes de hasta 20 m. El material bueno se distingue por presentar toda su masa perfectamente impregnada de alquitrán, no absorber cantidad alguna de agua durante 24 horas, ser fácilmente desenrollable al calentarlo y no mostrar grieta alguna. Primeras materias: cartón de trapos (el cartón de madera es más quebradizo y no se conserva tan bien), impregnado en caliente con alquitrán de hulla redestilado; sin esta última precaución el cartón se endurece y se vuelve quebradizo. Los rollos de cartón se hacen pasar lentamente por depósitos en forma de artesa, llenos de alquitrán caliente, en cuyo extremo se encuentran dos cilindros que laminan el cartón impregnado, separando el alquitrán en exceso y haciendo más compacta la superficie del material. Por último, el cartón se enarena para evitar que se pegue al enrollarlo, así como para endurecer la superficie y dificultar la licuación de alquitrán por efecto del calor solar. En nuestro mercado se encuentra generalmente en rollos de 12 m.², distinguiéndose los espesores I, II y III que pesan, respectivamente, 2,600 kilogramos, 2,666 kilogramos y 3,333 kilogramos por metro cuadrado (1).

(1) Fabricación de «José Esteva y C.^{as}», Barcelona, por ejemplo.

Si el alquitrán se sustituye por el asfalto se obtiene el *cartón embetunado*, más costoso pero más duradero (1).

Las clases más delgadas se emplean para forrar las cubiertas de pizarra, eternita, etc., las más gruesas como material de techar. Para renovar el barniz de las cubiertas de cartón alquitranado se recomienda una mezcla de 8 partes de alquitrán, 2 partes de polvo de cal y 1 parte de asfalto.

Variedades: *Fieltro-asfalto* para techar, de 3 a 4 mm. de espesor; material afieltrado embebido de asfalto. *Cartón-piedra asfáltico*, con armadura de enrejado metálico (2).

Pertenecen aquí también las hojas de fieltro «Kosmos» y *faba* (3), fabricadas con buen cartón asfaltado, provistas de canales de sección trapecial salientes y entrantes. Adheridas por una cara al revoco, forman en la otra canales aislantes, y permiten mantener secos los paramentos interiores para la aplicación de cartones planos o de otros revestimientos.

3. Fieltrros embetunados especiales: Ruberoïd, Coritect, etc.

Estos materiales aislantes, tan empleados en el extranjero, consisten en primer término en cartón de fieltro de calidad especial, impregnado con substancias resistentes a la acción del agua y a la de los ácidos y

(1) Las clases más usadas en Alemania, donde se distinguen por números, son las siguientes:

Número	70	80	90	100
Espesor	1,5	1,32	1,17	1,05 mm.
Superficies por 50 kg.	70	80	90	100 m. ²

(los números comerciales corresponden al número de metros cuadrados que pueden cubrirse con 50 kg.)

(2) «L. Lindemberg», Stettin.

(3) «Schatz & Hübner», de Hamburgo.

lejas diluidos, cuya elasticidad y blandura semejan las del caucho bruto. Sobre estas substancias activas se dice solamente que no contiene alquitrán, asfalto, ni betún de petróleo.

Experimentalmente se ha determinado que su aplastamiento es muy pequeño, sobre todo, comparado con el del fieltro asfáltico. He aquí algunos valores obtenidos :

Cargas	5	10	20	50	100	200	kg./cm. ²
Aplastamiento ...	7	8	9	10	12	13	centésimas

También han mostrado los ensayos que las probetas conservan su forma cuadrada. Las hojas de *ruberoïd coritect*, etc., aun de reducido espesor y sometidas a elevados esfuerzos, mantienen su alto grado de elasticidad, y, por razón de su débil aplastamiento, no es de temer la expúlsión del material que impregna la fibra. Estos materiales, a pesar de emplearse con espesores más delgados, aventajan al fieltro bituminoso en su mayor resistencia a la tracción, propiedad apreciable en la práctica constructiva, pues, a menudo, por el asiento irregular de las fábricas, por las tensiones que experimentan las bóvedas en los cambios de temperatura, etc., las capas protectoras pueden hallarse sometidas a esfuerzos de flexión y tracción. Mientras que el fieltro embetunado ordinario presenta una resistencia a la tracción de unos 10 kg. por centímetro cuadrado, la de los productos citados se eleva a 43 kg., como promedio, siendo estos materiales menos dilatables que el primero. La superioridad de los ensayos comparativos se acentúa en lo que se refiere a la impermeabilidad : Mientras que las probetas de *coritect* o *ruberoïde* no permiten la formación de gotas, las de fieltro embetunado ordinario rezuman y gotean con pocos centímetros de presión hidráulica, por lo que su impermeabilidad debe fiarse, sobre todo, a la aplicación de barnices suplementarios.

Se ha citado ya el buen comportamiento de estos materiales a la acción de ácidos y lejías. Otra de sus ventajas estriba en su gran resistencia a la acción del calor, ya que siendo susceptibles de soportar temperaturas de hasta 150°, pueden emplearse desde luego en las mismas zonas tropicales para revestir paramentos o lienzos verticales.

Se expenden en rollos de 20 metros de longitud y 100 cm. de anchura, con un peso total de 46 kg. (peso de un metro cuadrado : 2,3 kg.) Para el revestimiento de cubiertas conviene desenrollar las tiras sobre una solera plana y seca (hormigón, mortero, etc.) y colocarlas solapadas, con un recubrimiento de 10 cm. Se pegan con cementos plásticos (en caliente o en frío) que se utilizan asimismo para rejuntar las uniones. Un material análogo, pero de naturaleza más dura, se utiliza para barnizar luego la cubrición cuando quiere revestirse con arena, guijo o grava. El ruberoide se fabrica con variadas coloraciones, desde el gris de pizarra hasta el rojo ladrillo y el coritect se fabrica, además, enarenado con piedra natural de los colores blanco, verde y rojo. Esta circunstancia, especialmente por lo que afecta al paisaje, constituye otro factor de superioridad del material en comparación con el cartón alquitranado, de desagradable color negro (1).

4. Holzzement

El *holzzement* o *fibrocemento* es un material de cubrición empleado en Alemania. Etimológicamente su nombre significa « cemento de madera », por haberse empleado al principio para impermeabilizar barriles de

(1) El coritect normal (gris) se fabrica en siete clases, los pesos de cuyos rollos (20 m.²) son respectivamente 17, 20, 26, 30, 35, 40 y 45 kg. Se encuentra en el mercado español.

madera, designación tan impropia como la de «cemento volcánico» que algunos le aplican en español. Consiste en una mezcla de 60 partes de alquitrán de hulla, 15 de asfalto y 25 de azufre, que al fundirse juntamente dan una pasta espesa, pegajosa y oscura. El holzzement, de escaso empleo en España, se utiliza casi exclusivamente para la construcción de las cubiertas de poca pendiente, incombustibles y aislantes, llamadas de «holzzement», las cuales se preparan cubriendo un entablado de madera con varias hojas de papel fuerte, pegadas en caliente con la mezcla indicada, que constituyen propiamente el techado; casi siempre esta capa aislante se recubre con un estrato de guijo y otros de arena o tierra de espesor mayor o menor.

Para la preparación de esta clase de techos, es más frecuente en España el uso de productos preparados existentes en el mercado, aplicables en frío (*isolit, mellit, etc.*)

5. Amianto

Esta fibra mineral, producida por la descomposición de la hornablenda, se compone predominantemente de silicato magnésico; los criaderos más notables se encuentran en el Canadá, Italia y Colonia del Cabo. Se utiliza como protector contra el fuego, para toda clase de aislamientos y para la fabricación de pizarras de amianto. Al principio se componían éstas de fibra de amianto blanqueada, talco y vidrio soluble, pero modernamente se preparan, sobre todo, con cemento. La masa se cilindra en delgadas capas a semejanza del papel. Las hojas obtenidas se someten a una enérgica presión, formándose las conocidas placas para techar, que a su reducido peso e incombustibilidad unen su elevada resistencia a las acciones meteóricas. Resistencia a la flexión: hasta 700 kg./cm.²; por lo regular

300 kg./cm.². Las placas fabricadas con cemento y amianto, originaron el material llamado *eternita* por los primitivos fabricantes y que se ha vulgarizado en España principalmente con los nombres de *uralita* y *rocalla* (1). Se suministra en forma de pequeñas placas a modo de pizarras de tejar, de placas onduladas como la chapa de palastro, y de grandes placas para fines constructivos. Los espesores de éstas varían entre 4 y 25 mm., con ancho normal de 1,20 y longitudes de 1,0, 2,0, 2,5, 3,0 y 4,0 m. Se colocan directamente sobre la estructura de la cubierta por medio de tiras de zinc o de ganchos de hierro galvanizado (a 0,5 m. de distancia). En caso de demolición, el material viejo puede utilizarse nuevamente. En el cálculo de las cubiertas hay que contar para el material un peso específico de 1,7 y un coeficiente de trabajo a la flexión de 60 kg./cm.².

Como *material refractario*, se emplea el amianto en forma de tejidos o de hojas afieltradas. Estas últimas se emplean también armadas con tela metálica cuando han de estar expuestas a mayores esfuerzos de flexión. El amianto, por último, molido y mezclado con vidrio soluble, cola, etc., da por laminación placas aislantes que pueden armarse asimismo con tela metálica.

Las placas *superator*, están compuestas con cemento Sorel (pág. 100) como aglomerante y una carga de cuerpos inertes y refractarios. Cuando se quiere evitar que estas placas sean permeables al agua, se mojan con una solución de cloruro magnésico y luego se impregnan con vidrio soluble, obteniéndose por doble descomposición un precipitado de silicato magnésico, mientras que el cloruro sódico que se forma se separa por lavado. Las placas *superator* constituyen un buen aislante térmico, y, como al mismo tiempo son incombustibles e

(1) Materiales que fabrican, respectivamente, las sociedades « Uralita, S. A. » y « J. Esteva y C.ª », de Barcelona.

inatacables por los insectos, proporcionan un excelente material para la construcción de barracas, especialmente en los trópicos.

6. Tejidos impermeables, Fieltros, Placas, Caña y Paja

Los tejidos impermeables, encerados y materiales análogos, se utilizan para la instalación de tiendas, así como para el revestimiento de barracas, forro de cubiertas y de muros, para impedir la condensación del agua en los techos etc. Los tejidos — por lo regular, lonas — se hacen incombustibles impregnándolos con determinadas sustancias y, mediante un barnizado, se les comunica impermeabilidad al aire y al agua (1).

El *fieltro*, preparado con fibras de lana, se utiliza en la construcción para amortiguar trepidaciones y ruidos, empleándose, por ejemplo, como material para apoyo de vigas, carriles y máquinas. Igualmente se utiliza como aislante térmico, debajo de los pavimentos, para revestir tuberías de conducción y, finalmente, como burlete para puertas y ventanas. Análogas aplicaciones tienen los materiales conocidos con el nombre genérico de *fibra*. El llamado *eisenfilz* (fieltro de hierro), de la casa «Adlershof», es una clase de fieltro endurecido superficialmente y comprimido con prensas hidráulicas. Su resistencia a la compresión se eleva a 1460 kg./cm.²; es impermeable, resistente a las influencias meteóricas y conserva su elasticidad; se utiliza para apoyo de carriles, puentes y máquinas de toda clase y está indicado en la edificación siempre que se trate de impedir

(1) Se indican a continuación los nombres de algunas casas extranjeras productoras de clases especiales: «Weber Falkenberg», de Berlín; «Karstadt», de Hamburgo; «Rössert», de Dessau; «Scheer», de Maguncia; «Strohmayer y C.[»], de Constanza; «Seck», de Oberursel-Francfort.

la propagación de trepidaciones, vibraciones y ruidos, interiores o exteriores. Constituye una variedad el *linoleo endurecido*, que se fabrica en rollos de 5 m. de longitud, 1,5 de anchura con espesores variables, de 6, 8, 10 y 15 mm.; es un buen aislante térmico y un amortiguador indicado para soporte de los pavimentos de linoleo ordinario. En Alemania son bastante empleadas para fines constructivos distintas clases de placas fibrosas de materiales más o menos análogos al fieltro.

La *caña* se utiliza en la construcción interior para el revestimiento de paredes y techos, y a veces también en el exterior para formar cubiertas análogas a las de paja. Los cañizos de interior se preparan con cañas partidas, de 9 a 12 mm. de diámetro, en capas sencillas o dobles, para soportar estucos guarnecidos y enlucidos, a fin de hacerlos independientes de los movimientos de la madera y evitar así su agrietamiento. En España su empleo es casi general en la preparación de cielos rasos de yeso. Para techar se emplean cañas enterizas, de 1 a 1,2 m. de longitud, formando capas de unos 5 cm. de espesor.

Los *cañizos mecánicos* se componen de una serie de cañas paralelas unidas con alambre, a modo de persianas, que sirven para soportar guarnecidos lo mismo sobre superficies planas que sobre superficies abovedadas. Los rollos tienen de 15 a 20 m. de longitud y 1 a 2 m. de anchura. Son relativamente usados en Alemania donde es bastante conocida la marca *plinster* (1).

Las mismas aplicaciones que los cañizos reciben los *tejidos bakula* (2), constituidos por varillas de madera de 5 a 8 mm. de grueso, que constituyen un excelente soporte para los guarnecidos, muy empleado en Alemania y que ha recibido también algunas aplicaciones en nuestro país, especialmente en el norte.

(1) De la casa « Scheidt », de Kassel.

(2) De la sociedad « Deutsche Bakulaindustrie », de Maguncia.

Paja. Se emplea especialmente la paja larga de trigo, o bodoque, y la paja centenaza, la primera, sobre todo, para ligar las construcciones de tapia y la última más especialmente para formar techados. Las cubiertas de paja se disponen sobre latas colocadas a distancias entre 30 y 40 cm., aconsejándose ligar los techos con telas metálicas o alambre para reducir el peligro de incendios que ofrecen las pajas colgantes. Con el mismo objeto se acostumbra a embeber la paja con agua de barro, lechadas de cal o cemento, etc. Con referencia a las cubiertas de chillas de barro, véase la página 267.

7. Vidrio de construcción

Químicamente considerado el vidrio es, en esencia, una mezcla de dos silicatos, como mínimo, obtenida por fusión (en el vidrio ordinario intervienen el silicato cálcico y silicatos de sodio o potasio, y en el cristal el silicato de plomo); contiene además magnesio, aluminio y óxidos de hierro y de manganeso. Los vidrios de construcción más empleados en la actualidad son los de cal y sodio, pues presentan mayor dureza y mejor brillo que los vidrios de potasio y por su mayor elasticidad pueden resistir mejor la acción del viento y los esfuerzos de flexión. Solamente el cristal de lunas, integrado de ordinario por 1 ó 2 % de óxido de plomo, contiene además pequeña cantidad de potasio. El vidrio funde a la temperatura del rojo blanco y a la temperatura del rojo pasa por un estado plástico; una vez licuado puede moldearse, mientras que a la temperatura del rojo puede soplarse, soldarse y ser estirado. Su peso específico es igual, aproximadamente, a 2,6. Con la dureza del vidrio se eleva su brillo y su capacidad de pulimentación. Su dureza es función del contenido de sílice, aumentando al crecer éste.

Las primeras materias empleadas para la fabricación del vidrio son : arena de cuarzo, lo más blanca posible (arena de Fontainebleau) y exenta de hierro, que puede reemplazarse por cuarzo, pedernal (después de triturar) y tierra de infusorios; cenizas potásicas y sosa (después de sometida a una calcinación), sustituyéndose a veces por el salitre (o por mezclas de sulfato sódico y carbón, y también, en ciertos casos, por la sal común) y, finalmente, caliza pura (con preferencia creta, conchas de moluscos, etc.). Como fundentes se utilizan el espato flúor y el ácido bórico, a los que se añade vidrio machacado. Por razón de las impurezas de las primeras materias, todo el vidrio de construcción es más o menos coloreado con tintas azul verdosas, que se acusan francamente cuando se mira el vidrio por su sección o a través de capas gruesas.

Según el procedimiento de fabricación adoptado se distinguen :

a) **Vidrio soplado** (vidrio hueco). Se obtiene en forma de cilindros soplados por los obreros o, modernamente, por medios mecánicos con inyección de aire o vapor. Los cilindros soplados, después de arrancar las *cañas*, se cortan por una generatriz y se introducen en hornos donde se caldean gradualmente hasta llevarlos a elevada temperatura. Colocados los cilindros sobre una suela refractaria, van abriéndose poco a poco hasta convertirse en planchas rectangulares que luego se pulen y se dejan enfriar lentamente en hornos especiales. Cuando los vidrios deben ser estriados por su cara exterior o presentar alguna muestra se estampa ya ésta en las placas sobre las que se realiza el aplanado. Los precios unitarios no se calculan por la extensión superficial, sino por números, es decir, por la suma del ancho y el largo de los cristales, medidos en centímetros. Esta magnitud llega hasta 300 cm. y más tratándose de vidrios delgados, pero en los más gruesos (a partir

de 4,5 mm.) no pasa de 154 cm. En nuestro país es corriente expresar el número por la suma del largo y del ancho, en pulgadas francesas.

La calidad del vidrio se distingue por clases. La *cuarta* se emplea sólo para servicios sin importancia, recurriéndose de ordinario en las aplicaciones constructivas a las calidades *segunda* y *tercera*. Para vidrio de lunas se utilizan tan sólo las calidades primera y segunda.

Con los cilindros, cuyo peso es generalmente de 4 kg., se obtienen hojas, cuyos espesores y pesos por metro cuadrado se indican a continuación :

Esesor	$\frac{7}{8}$	$\cong 1,5$ mm.	Peso por metro cuadrado =	4,0 kg.
»	$\frac{4}{4}$	$\cong 2$	»	= 5,0 »
»	$1\frac{1}{2} = \frac{6}{4}$	$\cong 3$	»	= 7,5 »
Doble	$= \frac{8}{4} \cong 4$	»	»	= 10,0 »

Los números mayores se adoptan para vidrios de lunas, que se esmerilan y pulen.

Resistencia a la flexión, 375 kg./cm.². Se considera suficiente un coeficiente de seguridad igual a 3. El módulo de elasticidad $E = 7500$ kg./cm.².

b) **Vidrio colado.** El vidrio fundido, a la temperatura de rojo blanco, se vierte sobre placas metálicas acepilladas y pulidas que se calientan previamente, se cilindra y se expone a un lento proceso de enfriamiento. Por lo regular los vidrios se esmerilan y pulen. Con esta clase de vidrio se producen fácilmente placas de dimensiones y espesores mayores que en el caso anterior. Los espesores varían entre 4 y 30 mm., siendo los más empleados los de 6 a 12, pues mientras los vidrios más delgados son poco seguros los más gruesos están expuestos a peligrosas tensiones internas. Los vidrios de 6 mm. pesan 15 kg. por metro cuadrado. Las dimensiones corrientes llegan hasta 1,5 m.², pero se fabrica en placas o baldosillas hasta de 5×3 m.

La resistencia a la flexión K_f disminuye al aumentar el espesor.

δ	=	6	7	8	9	10	12	15	20	25	mm.	} Coeficiente de seguridad = 3
K_f	=	330	300	280	260	240	214	200	200	200	kg./cm. ²	
E	=	7650 kg./cm. ²										

La cara en contacto con las placas metálicas resulta más resistente a los agentes atmosféricos y por este motivo conviene ponerla al exterior en los vidrios empleados en las cubiertas. Los espesores adoptados en este caso son generalmente de 6 ó 7 mm.

c) **Vidrio comprimido.** Las placas de vidrio colado cortadas a las dimensiones requeridas, se caldean hasta reblandecimiento y se prensan mientras se conservan en este estado, consiguiéndose con ello aumentar considerablemente su resistencia a la compresión, a la flexión y a los choques, $K_f = 1000$ kg./cm.². Las dimensiones más corrientes son 30, 40 y 50 cm. (las placas mayores tienen $1,3 \times 0,9$ m.). Los vidrios comprimidos no pueden cortarse con el diamante, por lo que han de pedirse con las medidas exactas; sobre su ventaja, andan divididas las opiniones. Es muy limitado su empleo en la construcción.

d) **Vidrio armado.** Presenta una tela metálica de malla cuadrangular embebida en la masa. Como una de las finalidades de la armadura, es la de aumentar la resistencia del vidrio a la flexión, en las placas gruesas va situada cerca de una de las caras aunque en las más delgadas se dispone en el centro, por mayor comodidad de fabricación. La resistencia a la flexión $K_f \cong 500$ kg./cm.², disminuye sensiblemente al aumentar la temperatura (220 kg./cm.² a 260°; 160 kg./cm.² a 400°). El coeficiente de seguridad se toma igual a 3. En casos de incendio, aunque el vidrio caliente se cuarteo por completo al recibir el agua de las mangas extintoras, los fragmentos quedan sostenidos por la

tela metálica, dificultándose el acceso de aire en los locales siniestrados. También para este vidrio conviene pedir las hojas cortadas a medida, pues con el diamante, se dividen con dificultad.

e) **Ladrillos, prismas y baldosines de construcción.** Obtenidos por soplado (raramente) o por colada.

a) *Piezas macizas.*

1. Con el tamaño de los ladrillos normales. Son pesados, excesivamente conductores del calor, caros y poco transparentes; casi no se emplean en la actualidad.

2. Imitando toda clase de tejas y piezas para cubrir, con las mismas dimensiones que los materiales cerámicos ordinarios. Muy adecuados para dar luz en cualquier punto del tejado, sin necesidad de disponer ventanas especiales. Por lo común bastan de cuatro a seis tejas de vidrio para iluminar una superficie de 10 m. de lado.

3. Losas para solados y revestimiento de paredes. De los más variados tamaños y disposiciones superficiales (a modo de mosaico, con rayas, estriadas, divididas en cuadros, perleadas, con anillos concéntricos, etcétera). Se asientan en un lecho de mortero, lo mejor mediante nervios trapeciales en su cara inferior, los cuales, dejando encima un hueco más ancho, permiten que el aglomerante forme un enlace a cola de milano.

4. Prismas Luxfer. Para aumentar la claridad de locales mal iluminados, con auxilio de la refracción de la luz.

Es digno de mención en este punto el llamado *electrovidrio* (electroglas), obtenido disponiendo entre las placas de vidrio sueltas unos alambres sobre los que se deposita un metal (cobre) por vía electrolítica, de modo que los vidrios quedan montados en forma invariable. Este sistema de acristalamiento es muy resistente en casos de incendio.

β) Ladrillos huecos.

1. Sistema Falconier. Obtenidos por soplado (a manera de botellas) y ulterior refusión. Formas normales, de lente, y otras. Los que se destinan a muros cortafuegos llevan una tela metálica exterior. Son de variados colores y, aunque su valor decorativo no es muy satisfactorio, son ligeros, conducen mal el calor y dejan pasar bien la luz.

2. Ladrillos huecos con las dimensiones normales y sus fracciones. Si bien son casi desconocidos en España, han tenido cierta aceptación en otros países. Por ejemplo, en Alemania, se han difundido las clases siguientes :

a) Sistema Faust (1), de forma paralelepípedica, abiertos por un costado, con salientes y rebajos que permiten acoplarlos. Ultimamente, se fabrican con caras laterales onduladas.

b) Sistema Siemens. Análogos a los anteriores. Un bloque roto puede extraerse y reponerse sin perjudicar la fábrica.

c) Bloques Vitral. Semejantes a los descritos.

γ) *Bloques desvitrificados.* Cocido a muy alta temperatura, el vidrio toma una estructura fibrosa, muy tenaz, dura y opaca. Conviene citar el material llamado *keramo*, de la sociedad « Adlerhütte », de Penzig, para bloques y placas, blanco, de irisaciones nacaradas y de espléndido efecto artístico, excelente para solados, revestimiento de estufas, arrimaderos, decoración de fachadas, etc. Peso específico, 2,54. Dureza, 9. $K_c = 2000$ kg./cm.². Refractario a la acción de los ácidos.

La coloración del vidrio puede obtenerse :

a) Por teñido de toda la masa durante su elaboración : *vidrio de color*. Por lo común, se hace uso como colorantes de óxidos metálicos : para el rojo, óxido de cobre, que da hermosa coloración de púrpura ; para el

(1) « Deubener Hütte ».

amarillo (con brillo de plata), óxidos de uranio (verde amarillo), antimonio y plomo; para el verde, compuestos de hierro, cobre y cromo; para el azul, cobalto; para el violado, óxido y bióxido de manganeso; para el negro, bióxido de manganeso; para el vidrio lechoso, negro animal; para tintas opalinas, criolita y fosfato cálcico.

Con el nombre de *vidrios catedral* se designan ciertos vidrios colados, de 2 a 3 mm. de espesor, a menudo flameados, que, presentando una superficie irregular, dejan pasar luz difusa y son preferidos para la iluminación de iglesias y finalidades análogas. Pertenece a esta clase el llamado *vidrio privilegiado*, de uso corriente en vallas y mamparas para despachos y oficinas.

b) Por recubrimiento del vidrio incoloro con una delgada capa de vidrio teñido de distintos colores (*vidrio plaqué*). Esmerilando o desgastando esta capa en determinados puntos, aparece de nuevo la capa incolora, lo que permite obtener bellos efectos decorativos, para pantallas, tulipas, etc.

c) Esparciendo polvos de vidrio de color sobre las hojas aun calientes y laminándolas luego. Pueden alcanzarse toda clase de figuraciones policromas y ornamentaciones distribuyendo primero los polvos colorantes sobre un papel (con auxilio de una materia gomosa) que se coloca así preparado sobre las hojas de vidrio calientes y se entregan al laminador. Por cochura ulterior, se funde el polvo y penetra en la masa de la hoja, mientras el papel arde y desaparece.

Los *vidrios esmaltados* se obtienen aplicando en frío, con pincel, sobre los vidrios, mezclas de fundentes o flujos (bórax, ácido bórico) y óxidos metálicos colorantes. Los fundentes se deslíen en aguarrás y, una vez secas las pinturas, las piezas se exponen en muflas a un calor moderado.

Los mosaicos de cristal se forman por la reunión de pequeños trozos de vidrios de color, que a menudo unen a su transparencia irisaciones metálicas (1).

El *deslustrado* del vidrio se efectúa hoy, casi exclusivamente, con auxilio de areneras o máquinas de chorro de arena, que lanzan con fuerza sobre las superficies la arenilla o el polvo esmerilante. Para reservar determinados puntos, se cubren con una cartulina o una chapa metálica, procediéndose como en el estarcido.

El *glaseado* o *esmerilado* se alcanza con ácido fluorhídrico, generalmente en soluciones acuosas muy diluidas. Las partes que no deben ser atacadas se reservan previamente, por ejemplo, con un barniz de asfalto.

Los defectos del vidrio pueden ser originados :

I. *Por composición incorrecta* : El exceso de álcali o de cal produce opacidad ; la decoloración por el manganeso da a menudo por resultado que aparezca a la luz del sol una coloración rojo violada (basta 0,1 % de Mn).

II. *Por fusión deficiente* : Granos de cuarzo por disolver, burbujas, granos, partes ahumadas (producidas por depósitos de polvo), etc.

III. *Por enfriamiento imperfecto* : Grietas capilares.

IV. *Por abarquillamiento de las superficies*.

Ensayo del vidrio. Ensayo rápido : El vidrio bien limpio se empaqueta con caparrosa verde y se calienta: el de mala calidad se torna opaco. Ensayo más completo: Una vez limpio el vidrio se expone a la acción de vapores de clorhídrico, que lo empañan a modo de rocío, y las plaquitas se conservan así durante veinticuatro horas en una cámara cerrada ; el buen material no presenta ninguna alteración. La regularidad del enfriamiento se comprueba con auxilio de polarizadores.

(1) Sobre otros pormenores, véase la obra del autor: *Lehrbuch der Baumaterialienkunde*, parte VI, págs. 176 y 750.

8. Vidrio soluble

Con esta designación se conocen en el comercio los silicatos de potasio o de sodio (comúnmente se emplea este último, por ser más barato). Disuelto el vidrio soluble en agua, constituye una especie de barniz para recubrir toda clase de superficies imaginables, el cual, si bien no es muy resistente a los agentes atmosféricos, proporciona una buena protección contra la pudrición, el fuego, etc., por lo menos durante algún tiempo. La tendencia del barniz a desconcharse se corrige con adición de colorantes y materias térreas, como, por ejemplo, espato pesado (sulfato bórico).

Como aplicaciones especiales, en la construcción, pueden citarse :

Barnizado repetido de los enlucidos de cal, todavía frescos, con vidrio soluble diluido para endurecer e impermeabilizar las superficies o como aparejo o fondo para materiales minerales con componentes alcalinos ; impermeabilización de areniscas, primero tratándolas con solución caliente de vidrio soluble y luego con cloruro bórico ; colocación de placas de xilolita con una capa inferior de silicato potásico, creta y mortero de cemento ; preparación de mástiques, sobre todo a base de creta y polvo de zinc, etc.

9. Pinturas

Entre las pinturas de color, se distinguen : 1. *Pinturas a la aguada* ; los colores se deslíen en agua y se fijan con barniz, agua de cola, cal, caseína (colores a la cal, a la caseína). 2. *Pinturas a la cola* ; disueltas en agua de cola ; para fondos o aparejos se utiliza la creta y, para trabajos más finos, el blanco de barita (blanco fijo). 3. *Pinturas al óleo* ; desleídas en aceite de linaza,

con adición de secante (1), para acelerar el endurecimiento. Las pinturas a la cera se obtienen mezclando pinturas al óleo con cera disuelta en aguarrás. Si se añaden a la pintura al óleo materias resinosas, resultan colores resistentes a la intemperie. 4. *Pinturas al vidrio soluble* (colores minerales Keim).

Las pinturas a la aguada sólo son aplicables en locales cerrados. Las pinturas a la cal son muy económicas, pero se destiñen y son poco resistentes; aparejo con lechada de cal. Las pinturas a la cola son baratas, se secan pronto; para que no pierdan deben contener suficiente cantidad de cola. Las pinturas al óleo son caras, pero pueden lavarse y resisten bien; para quitarlas puede emplearse una lejía de sosa, al 1 %. Los colores a la caseína (preparados con cuajo y lechada de cal) son lavables y pueden aplicarse lo mismo en fachadas que en interiores. Para la aplicación de pinturas es requisito indispensable que las superficies estén secas y limpias.

La pintura se aplica por capas sucesivas, a medida que se van secando las anteriores, dando cada mano con las pinceladas cruzadas (véase lo que se dice en la página 243 con referencia a la pintura de construcciones metálicas).

Antes de pintar los metales deben rasparse y desoxidarse. En las maderas conviene rejuntar las grietas con masilla, esmerilar los nudos y recubrirlos con goma laca, aparejando o imprimando con aceite de linaza o bien con barniz. Los revoques frescos, de cal, deben tratarse con agua de jabón, a la que se adiciona alumbre o ácido bórico, para neutralizar la acción corrosiva de la cal. En los revoques de cemento, frescos, conviene una mano de fluato de Kessler, durolita o vidrio soluble. Si no quiere hacerse esto, conviene aguardar dos años

(1) Aceite de linaza cocido, y litargirio.

antes de pintar al óleo, a menos que no se prefiera emplear colores a la caseína.

He aquí algunos de los colorantes empleados :

Blanco : Creta, albayalde, blanco de zinc, blanco de bario, litopon.

Amarillo : Ocre, litargirio (muy venenoso), oxiclouro de plomo (amarillo de Cassel), cromato de plomo y su variedad crom-orange.

Verde : Malaquita molida (verde montaña, obtenido también sintéticamente), óxido de cromo, cinabrio verde.

Azul : Azul mineral (compuestos de cobre), ultramar, azul de Prusia, silicato de cobalto (esmalte).

Rojo : Tierra de Siena, rojo índico (compuestos de hierro), minio (de plomo o de hierro), bermellón (polvo de cinabrio).

Pardo : Tierra de Siena, sombra (compuestos de hierro y manganeso), pardo de Cassel (de lignito), soluciones de betún de Judea, pardo de cobre.

Negro : Negro animal (negro de huesos), negro de lámpara, hollín, etc.

Colores metálicos. El metal finamente dividido, se obtiene por precipitación química o por pulverización, a menudo de aleaciones. Pueden obtenerse variados matices y gradaciones de color, calentando los polvos metálicos y aprovechando el efecto de «revenido».

Además de las pinturas especiales mencionadas en la página 244, convendrá citar las siguientes :

Pinturas krudol : Resistentes al calor, por ejemplo, para radiadores.

Pinturas Rhissan : Colores simples, sobre todo para pinturas al óleo y resinosas.

Pinturas glasurita : Aspecto de esmalte, cubren mucho y resisten el calor.

Pinturas minerales Keims : Insuperable resistencia a la intemperie ; se encuentran en el mercado alemán con el nombre de *colores silex*.

Pinturas de esmalte : Son lavables y pueden aplicarse sobre cualquier fondo.

Oleolacas Münchs : Muy resistentes, especialmente preparadas para distintas aplicaciones.

Pinturas caseína-cemento Gerhardt.

Pinturas Hércules : Para interiores y fachadas, aplicables sobre toda clase de revocos y superficies pétreas.

Pinturas hiperolina : Se mezclan con tierras y óxidos metálicos y se preparan con agua fría exclusivamente.

Pinturas fluidas Hessels, de caseína, etc. (1).

10. Papeles pintados y otros materiales de revestir

Según la naturaleza de las primeras materias, los papeles y tapices de construcción pueden agruparse en las clases siguientes :

Papeles pintados. Rollos normales de 8 m. de longitud por 47 a 48 cm. de anchura (raras veces, 70 cm.). Estampados con colores al óleo, a la cola y a la aguada o al temple, algunas veces (clases finas) sobre un fondo de igual naturaleza ; se fabrican tipos lisos, ásperos, estriados, satinados, glaseados, lacados y barnizados (lavables y brillantes).

Papeles de lana. Estampados con fibras de lana finamente divididas (papeles aterciopelados ; reciben con frecuencia una segunda estampación decorativa, con colores de oro o plata).

Tapices de cuero. a) Auténticos, obtenidos de pieles animales curtidas, extendidos sobre telas y enmarcados independientemente en bastidores o recuadros de ma-

(1) Algunas fábricas españolas : « Gerardo Colardín », « Vda. de M. Oliart », « Kromp », « Riera y Lavall », « Guardiola », « Albiñana y Argemí » y « Titán », de Barcelona, y « Productos Krip-ton », de Madrid, « Machimbarrena y Moyría », de Bilbao, etc.

dera, o b) imitados magníficamente con *linkrusta* o *pegamoid*; se encuentran toda clase de colores. Son resistentes, suaves y duraderos.

Tapices tejidos. Gobelinos, tapices de seda, tapices orientales, etc.

Revestimientos de chapa de madera. Chapas de madera, sumamente delgadas, pegadas sobre papel, para imitar arrimaderos y chapeados de madera; no dan buen resultado.

Revestimientos linkrusta. Materiales excelentes en cierto aspecto, preparados, a modo de linoleo, con una capa de celulosa y aceite de linaza oxidado, sobre papel fuerte. La *muralina* es un material análogo, excelente para revestir paredes.

Antes de colocar los papeles pintados decorativos, conviene cubrir las paredes con un revestimiento protector, práctica poco frecuente en España en los casos ordinarios. Así, sobre las superficies con enlucido liso se recomienda pegar primero hojas de papel de periódico y sobre las de madera, colocar una tela; las paredes húmedas se revestirán con placas cosmos, cartón barnizado, coritect, o materiales aislantes análogos. En paredes semihúmedas o con humedad intermitente, da buen resultado aplicar dos manos de isol.

Linoleo. Se prepara con fino aserrín de corcho y aceite de linaza, el cual, por oxidación natural o por vía química se transforma en una especie de mástique resinoso. El proceso se desarrolla dejando fluir el aceite sobre largas bandas de tejido de ortiga, para que la acción del aire atmosférico vaya oxidándolo lentamente (procedimiento Walton o natural), o inyectando en la masa oxígeno comprimido, con objeto de acelerar la transformación (procedimiento Taylor). El aceite de linaza oxidado, mezclado con resinas, se cuece hasta convertirlo en una masa gomosa, de aspecto de caucho (pasta de linoleo). La pasta se amasa con el aserrín de corcho

y se lamina sobre un tejido de yute, con auxilio de calandrias calientes. El linoleo obtenido seca durante largo tiempo, realizándose una especie de fraguado. Se distinguen los linoleos con dibujos teñidos (*granito, inlaid*) y los estampados superficialmente; como se comprende, en los últimos, los dibujos, generalmente con colores al óleo, acaban por desvanecerse. En los linoleos teñidos se obtienen las muestras ya sea aplicando sobre el tejido-soporte pastas de linoleo de distintos colores, que se extienden con plantillas, y laminando en caliente; ya sea recortando las figuras decorativas en hojas de colores varios y extendiéndolas sobre el tejido de yute preparado con una capa de pasta de linoleo y prensando las hojas en caliente para formar un solo cuerpo. El linoleo dura mucho, es impermeable, proporciona suelos calientes, no es peligroso en caso de incendios, amortigua los ruidos y se limpia con facilidad. Sobre los entarimados se aplica con betún de trementina; sobre embaldosados y pavimentos continuos de cemento magnésico, se aplica con una cola especial, a base de pasta de linoleo. El material llamado *korkmento* (véase pág. 105), igualmente sobre tejido de yute, proporciona un soporte bueno y uniforme; el linoleo se coloca de modo que las dos hojas de yute, fuertes y resistentes a la compresión, vengan yuxtapuestas.

Dimensiones corrientes: $L = 25$ m. Anchos: 2,0, 1,5 y 1,0 m. Espesores: 1,8, 2,2, 3,0, 3,6, 4,0, 4,6 y 7,0 mm. (el tipo *inlaid* y otros, sólo se fabrican con espesores de 2,2 y 3,3 mm.). Tiene particular importancia la correcta y cuidadosa colocación, en la cual conviene tener presente que mientras los linoleos tipo Walton se dilatan, los Taylor se contraen. El suelo debe ser perfectamente seco y liso, sin contener materias higroscópicas o susceptibles de atacar los materiales.

Algunas marcas españolas : Rosich, Fors, Linoleum Nacional, etc.

Algunas marcas alemanas : Delmenhorst, Maximiliansau, Neukölln, Bietigheim, etc.

ÍNDICE ALFABÉTICO

- Abedul común, 179.
Abeto común, 177.
— del Norte, 176.
— rojo, 176.
Acepilladoras, 56.
Aceras, losas para, 66.
Acero, 200 y ss.
— de cementación, 211.
— colado, 217.
— — piezas de, 217.
— de fusión, ensayo de, 254.
— moldeado, 217.
Acero-níquel, 240.
Acero Siemens, 207.
Aceros al crisol, 210.
— al cromo, 240.
— especiales, 210, 240.
— al níquel, 240
— rápidos, 210
— al vanadio, 240.
Acetileno disuelto, 250.
Acometidas, 219.
— oblicuas, 219.
Adobes, 108.
Adoquín pequeño, 65.
Adoquines, 65.
— de granito moldeado, 150
— granulita, 149.
— de hormigón, 90.
Afino, 202.
Ágata, 40.
Aglomerados de corcho, 104.
Agua de cemento, 317.
Aislantes, 7.
Alabastro, 11.
— calizo, 35.
- Alabastro yesoso, 33.
Álamo blanco, 179.
— negro, 178.
Albolita, 101.
Albricias, 214.
Albura, 154.
Aleaciones, 262.
Alerce, 177.
Aliso, 178.
Alquitrán de hulla, 329.
— de madera, 329.
Alto horno, 197.
— — Elementos, 197.
Altos hornos eléctricos, 211.
Alúmina, 290.
— sulfato de, 167.
Amianto, 333.
Andesita, 25.
Anfibol, 9.
Anhídrido sulfúrico, 291.
Anhidrita, 33.
Aquabar, 318.
Árboles frutales, 180.
— de hoja plana, 156.
Arce campestre, 179.
Arcilla, 44, 194.
— colada, 109.
— refractaria, 45.
— tubos de, 147.
Arcillas grasas, 44.
— magras, 44.
Arena de cuarzo, 47.
Arenisca, 12, 31, 194.
Argamasa, 271.
Arrabio, 195.
Asfalto, 7, 324.

- Asfalto apisonado**, 326.
 — bruto, 325.
 — fundido, 327.
 — losetas de, 326.
 — mástique de, 325.
 — panes de, 325.
Augita, 9.
Azuela, 182.
Azufre total, 291.
Azulejos, 145, 146.
- Balasto de ferrocarriles**, 66.
Baldosas para estufas, 146.
 — vulkanol, 149.
Baldosines de construcción, 341.
Baldosones, 148.
Barnices, 7.
 — aislantes, 319.
Barniz al óleo, 59.
Barras, 230.
Basalto, 12, 27.
Basaltoide, 90.
Basaltos leucíticos, 27.
 — nefilínicos, 27.
Basaltovaca, 27.
Bebedero, 214.
Betún natural, 324.
 — puro, 325.
Bianco, 271, 318.
Bigotera, 199.
Bimsbeton, 26.
Biscotado, 140.
Blackband, 194.
Blenda, 259.
Bloques desvitrificados, 342.
 — de hormigón, 84.
 — huecos, 89.
 — — de hormigón, 88.
Bocartes 73.
Bordillos, piedras para, 66.
Brea de asfalto, 325.
 — mineral, 325.
Brechas, 12, 30.
Broma, 175.
Bronce, 263.
 — de aluminio, 263.
 — fosforoso, 263.
 — moderno, 263.
- Cables**, 237.
 — cerrados, 238.
 — portantes, 238.
- Cables tractores**, 237.
Cadenas, 238.
Cairons de pam, 137.
Cajalita, 101.
Cal, 290.
 — apagada, 274.
 — hidráulica, 279.
 — morteros de, 271.
 — en pasta, 275.
 — en polvo, 275.
 — viva, 272.
Calamina, 259.
Calcedonia, 40.
Calcita, 10.
Calcolita, 271.
Calda, 225.
Cales blancas, 274.
 — grasas, 274.
 — grises, 274.
 — hidráulicas, 274.
 — magras, 274.
Caliza, 12, 34.
 — alpina, 35.
 — común, 36.
 — concretada, 35.
 — conquifera, 34.
 — cristalizada, 35.
 — granuda, 35.
 — grauvaca, 34.
 — hullera, 34.
 — incrustada, 36.
 — jurásica, 35.
 — litográfica, 36.
 — margosa, 36.
 — oolítica, 34.
 — pérmica, 34.
 — sacaroidea, 36.
 — silicea, 35.
 — tobácea, 36.
 — de transición, 34.
Cambium, 152.
Canalones, 147.
Cantos rodados, 47.
Caña, 335, 336.
Cañizos mecánicos, 336.
Caoba, 181.
Caolín, 44.
Caparrosa verde, 167.
Carbonato cálcico, 110.
Carbono disuelto, 201.
 — de temple, 195, 201.
Carburo de calcio, 250.

- Carburo de hierro, 201.
 Carcoma, 174.
 Cartón alquitranado, 328, 329.
 Cartón-cuero, 329.
 Cartón embetunado, 330.
 Cartón-piedra asfáltico, 330.
 Castaño, 180.
 Castina, 194.
 Cementación oxidante, 217.
 Cementita, 201.
 Cemento, agua de, 317.
 — de altos hornos, 300.
 — artificial. Composición química, 287.
 — — Definición, 287.
 — — Densidad real, 287.
 — — Ensayos, 288.
 — — Estabilidad de volumen, 287.
 — — Finura del molido, 287.
 — — Fraguado, 287.
 — — Resistencias, 287.
 — — — por compresión, 288.
 — — — por tracción, 287.
 — de bauxita, 298.
 — eléctrico, 298.
 — de escorias, 302.
 — fundido, 298.
 — hormigón de, 306.
 — liebold, 319.
 — de mármol, 95.
 — materias que se añaden al, 307.
 — natural, 280.
 — al óleo, 322.
 — portland, 245, 282.
 — — fabricación del, 282.
 — — índice de hidráulidad del, 283.
 — romano, 280.
 — Sorel, 100.
 — tablas de, 86.
 — tubos y canales de, 91.
 Cementos, 280.
 — antiaqua, 319.
 — artificiales, 282.
 — cocidos, 303.
 — especiales de alta calidad, 297.
 — mezclados, 303.
 Centrifugadores, 73.
 Ceresita, 271, 318.
 Cerezo, 180.
 Cingladura, 202.
 Circulación metódica, 127.
 Ciruelo, 180.
 Cisquero, 215.
 Clavos, 236, 237.
 — cortados, 237.
 — de chapa, 237.
 — forjados, 237.
 Clorita, 10, 12.
 Cobre, 261.
 — alambre de, 262.
 — amarillo, 262.
 — plancha de, 261.
 — sulfato de, 166.
 — tubos de, 262.
 Cochin-pine, 176.
 Codos, 219.
 Colada, 214, 215.
 Colchadura cruzada, 238.
 Colores metálicos, 347.
 — minerales Keim, 346.
 — silex, 347.
 Columnas, 218.
 Comederos, 148.
 Composición Rathjens, 234.
 Conchas, 147, 215.
 Conglomerados, 30.
 Coníferas, 156.
 Coniphora cerebella, 173.
 Consolidación de taludes, 62.
 Construcción de puentes, 62.
 Convertidor, 204.
 Convertidores Bessemer, 204.
 — — revestimiento de los, 206.
 Coquillas, 215.
 Corcho, aglomerados de, 104.
 Coritect, 140, 331.
 Creosota, aceite de, 166.
 Creta, 35.
 Cribas de sacudidas, 74.
 — de tromel, 74.
 — de vaivén, 74.
 Crisoles, 204.
 Cuarcita, 39.
 Cuarto, 136.
 Cuarzo, 8.
 Cubilotes, 200.
 Cuerpos áridos, 113.
 Curvas, 219.



- Chapa desplegada**, 233.
 — doble, 234.
 — fina, 232.
 — gruesa, 232.
 — lisa, 232.
 — ondulada, 234.
 — raspa, 233.
 — triple, 235.
Chapas, 232.
 — aislantes Siebel, 258.
 — curvadas, 233.
 — emplomadas, 232.
 — estriadas, 233.
 — galvanizadas, 232.
 — de hierro maleable, ensayo de, 253.
 — Knutson, 234.
 — negras, 233.
 — onduladas para carga, 234.
 — sencillas, 234.
Chatarra, 207.
Chillas de barro, 267.
Chopo, 179.

Daubolina, 244.
Dauer, 244.
Defensa de márgenes, 62.
Dekor, 107.
Desbastadores, 225.
Desintegradores, 73.
Detritos pétreos, 112.
Diabasa, 9, 12, 23.
Diabasita, 271.
Diálaga, 9.
Diorita, 12, 23.
 — orbicular, 24.
Dolerita, 28.
Dolomía, 12, 38.
Dolomita, 10.
Dorado, 58.
Drenes, 148.
Dresdan t, 103.
Dunita, 2.
Duramen, 154.
Durolite líquida, 58.

Ebano, 181.
Eclogita, 12, 30.
Edelputze, 271.
Eisenfilz, 335.
Electrocemento, 298.
Electrovidrio, 341.

Enchufes-hembras, 219.
Enchufes-machos, 219.
Enfaginados sumergibles, 62.
Ensayo de dobladura, 254.
 — de forjabilidad, 254.
 — de punzonado, 254.
 — de ruptura y alargamiento, 253.
Escarpias, 237.
Escayola, 270.
Escoplos, 182.
Escorias, 194.
 — ácidas, 200.
 — de alto horno, 194, 307.
 — básicas, 200.
Esferosiderita, 193.
Esmaragdita, 23.
Esmerilado, 57.
Espato calizo, 10.
Espejuelo, 10, 33.
Esquisto cuarzo, 39.
Estampas, 221.
Estuco de dolomita, 271.
 — de mármol, 270.
 — de yeso, 93.
Estucos nobles, 271.
Estufas, baldosas para, 146.
Eternita, 106, 334.
Eucaliptus, 181.
Explotación de canteras, 52.

Faba, 330.
Fábrica de mampostería, 59.
 — de sillería, 60.
Falsa acacia, 180.
Faldespato, 8.
Felsita, 21.
Fenocristales, 21.
Ferrubrón, 244.
Feuertrotz, 247.
Fibra, 335.
Fibrocemento, 332.
Fieltro-asfalto, 330.
Fieltros, 335.
 — embetunados, 330.
Fillita, 12, 49.
Floema, 152, 157.
Fluatos de Kessler, 58.
Fonolita, 12, 26.
Forja, 212.
Forjado con prensa, 220.
Fresadoras, 56.

- Fresno, 179.
 Fundentes, 192.
 — calizos, 194.
 — magnésíferos, 194.
 — manganesíferos, 194.
 — siliciosos, 194.
 Fundería, 212.
 Fundición, 195.
 — acerada, 215.
 — atruchada, 196.
 — blanca, 195.
 — endurecida, 215.
 — gris, 195.
 — maleable, 195, 217.
 — templada, 215.
 Gabro, 12, 23.
 Gabros italianos, 24.
 Galleteras, 120.
 Garbancillo, 305.
 Glauconita, 10.
 Gneis, 9, 12, 48.
 — biotítico, 48.
 — doblemicáceo, 48.
 — hornabléndico, 48.
 — moscovítico, 48.
 Goas, 202.
 Gradillas, 74, 119.
 Grana-edel, 271.
 Granito, 12, 18.
 — de los Alpes, 18.
 — Aplicaciones, 19.
 — aplita, 18.
 — de Bélgica, 19.
 — biotítico, 18.
 — doblemicáceo, 18.
 — gneísico, 20.
 — granitela, 18.
 — greisen, 18.
 — hornabléndico, 18, 21.
 — hornabléndico-micáceo, 18.
 — moscovítico, 18.
 — negro, suco, 19.
 — de pegmatita, 19.
 — porfídico, 20.
 — rojo, 20.
 — semigranito, 18.
 — de turmalina, 19.
 — verde, suco, 19.
 — Yacimientos, 20.
 Granulita, 12, 29.
 Grauvaca, 12, 33.
 Grava, 47, 65.
 Gravilla, 47.
 Guarnecido de paredes, 269.
 — de techos, 269.
 Guijarros, 112.
 Guijo, 47.
 Harina fósil, 40.
 Harzburguita, 25.
 Haya blanca, 179.
 — común, 178.
 Heliolita, 103.
 Hematites parda, 11, 193.
 — roja, 192.
 Herrumbre, 242.
 Hickory, 181.
 Hydroareniscas, 78.
 Hidrocalizas, 78.
 Hidrógeno, 251.
 Hierro, 7, 192, 201.
 — clases de, 195.
 — Coeficientes de contracción, 240.
 — — de rozamiento, 240.
 — colado, 197, 200, 213, 216.
 — — columnas de, 246.
 — compuestos de, 110.
 — dulce, 200, 201.
 — — ensayo del, 251.
 — elaboración del, 212.
 — Elasticidad, 240.
 — ensayo del, 251.
 — esmaltado del, 245.
 — estañado del, 245.
 — de fundición, 195.
 — galvanizado del, 244.
 — maleable, 195, 200.
 — metalización del, 244.
 — moldeado, 217.
 — obtención del lingote de, 197.
 — oxidación artificial del, 245.
 — pinturas para, 243.
 — — especiales para el, 243.
 — de primera fusión, 195.
 — protección del, contra la acción del fuego, 246.
 — — — la herrumbre y el fuego, 242.
 — Puntos de fusión, 240.
 — Resistencia, 240.
 — tenacidad del, 239.



- Hierro, zincado del, 244.**
Hierros y aceros batidos, 204.
 — — soldados, 204.
 — en ángulo, 230.
 — batidos, 201, 204.
 — comerciales, 230.
 — de construcción. Contenido de carbón, 239.
 — — Elasticidad, 239.
 — — Resistencia, 239.
 — cuadrados, 232.
 — cuadrantes, 231.
 — para decoración, 232.
 — empleados en construcción, 39.
 — exagonales, 232.
 — forjados, 201.
 — planos, 232.
 — redondos, 232.
 — Siemens ácidos, 208.
 — — básicos, 208.
 — soldados, 201.
 — tableados, 232.
 — — Ensayo, 252.
 — para tablestacados, 232.
 — Zorés, 231.
Hifas, 169.
Higiene, 103.
Hiperstena, 9.
Holzgranit, 103.
Holzzement, 332.
Hormigón, 305.
 — adoquines de, 90.
 — armado, 313.
 — asfáltico, 328.
 — bloques huecos de, 88.
 — de cemento, 306.
 — coeficiente de dilatación lineal del, 318.
 — elasticidad del, 310.
 — ensayo del, 307.
 — flúido, Consumo de agua, 306.
 — ligero, 308.
 — pastoso. Consumo de agua, 306.
 — placas de, 89.
 — de pómez, 26, 41, 87.
 — propiedades del, 314 y ss.
 — resistencia del, 310.
Hormigoneras de funcionamiento continuo, 320.
Hormigoneras de funcionamiento intermitente, 319.
Hormigones, 305.
 — completamente impermeables, 318.
Hornablenda, 9.
Horno alemán, 129.
 — anular Bock, 135.
 — — Hoffmann, 130, 274.
 — de Cassel, 130.
 — Dietzsch, 274.
 — eléctrico, 204.
 — Martin-Siemens, 204.
 — Rüdersdorf, 273.
 — en ziszás, 135.
Hornos de arco, 212.
 — de cementar, 211.
 — de crisol, 210.
 — eléctricos, 211.
 — de inducción, 212.
 — de mezclar, 206.
 — de mufla, 135.
Humus, 47.
Impervita, 318.
Inertol, 96, 102, 244, 314, 319.
Injertos, 219.
Isol, 96, 102, 244, 314, 319.
Isolit, 323, 328, 333.
Jacaranda, 181.
Jacinto de Compostela, 40.
Jaspe, 40.
Keramita, ladrillos de, 142.
Keramo, 342.
Kieselgur, 40.
Klinker, 110.
Kokolith, 270.
Korkmento, 105, 350.
Korkolita, 103.
Labra, 15.
 — de las piedras, 52.
Ladrillos, 7, 136.
 — Arister, 139.
 — de aserrín, 88.
 — azules, 136.
 — de bauxita, 145.
 — de cal y arena, 79.
 — de calderas, 144.
 — cochura de, 127.

- Ladrillos comunes**, 136.
 — de construcción, 101, 341.
 — de cubilotes, 144.
 — desecación de los, 125.
 — Dübel, 86.
 — empleados en construcción, 136.
 — de escorias, 99.
 — — fundidas, 148.
 — flotantes, 97, 100.
 — de formas especiales, 140.
 — granudos, 100.
 — de hierro, 136.
 — de hornos de acero, 144.
 — — de cal, 144.
 — — de cemento, 144.
 — — de recocer, 144.
 — huecos, 138, 342.
 — impermeables de cal y arena, 83.
 — de keramita, 142.
 — klinker, 140.
 — de lana mineral, 100.
 — ligeros, 107.
 — Mansfeld, 148.
 — moldeados a mano, 125.
 — moldeo y desecación de, 118.
 — Noris, 88.
 — ordinarios, 109.
 — de paramento, 140.
 — pardos, 136.
 — de pintura, 136.
 — pintones, 136.
 — de pómez, 97.
 — porosos, 138.
 — porteros, 136.
 — recochos, 136.
 — recortados, 125.
 — refractarios, 144.
 — — de cal y arena, 83.
 — — de magnesita, 101.
 — renanos, 97.
 — santos, 136.
 — sílica, 83.
 — silicocalcáreos, 79.
 — sinterizados, 140.
 — de toba artificial, 98.
 — de turba, 107.
Laminado, 221.
 — de chapa, 227.
Laminador dúo, 221.
Laminadores, 73, 202.
 — de alambre, 227.
 — de chapa ondulada, 227.
 — trío, 222.
 — de tubos, 229.
 — universales, 222.
Lana de escorias, 199.
Lardita, 10.
Latón, 262.
Lava, 12, 29.
 — basáltica, 29.
 — traquítica, 29.
Lechos de soporte, 66.
Leño, 152.
Lerzolitita, 25.
Leucites, 173.
Liber, 152.
Lignolita, 103.
Limonita, 193.
Lingote, 200.
 — de hierro, 195.
 — de zinc, 260.
Linkrusta, 349.
Linoleo, 349.
 — endurecido, 336.
Linternas, 215.
Lithin, 271.
Losas para aceras, 66.
 — granitoideas, 87.
 — Remy, 87.
Losetas de gres cerámico, 146.
Macadán asfáltico, 328.
Machacadoras, 57, 73.
Machos, 215.
Madera, 7, 151.
 — Barnizado con aceite de linaza, 166.
 — carbonización de la, 168.
 — coeficiente de hinchamiento de la, 160.
 — contracción e hinchamiento de la, 159.
 — Densidad relativa, 190.
 — desecación de la, 161.
 — destrucción de la, 165.
 — determinación del módulo de elasticidad, 189.
 — — de la resistencia a la compresión, 188.
 — — — a la flexión, 189.
 — dilatación térmica de la, 164.



- Madera, dureza de la, 161.**
 — elasticidad y condiciones mecánicas de la, 162.
 — enmohecimiento de la, 168.
 — Ensayo del comportamiento con la humedad, 190.
 — — a la cortadura, 189.
 — — de la dureza, 190.
 — — técnico de la, 188.
 — — a la tracción, 189.
 — de estío, 153.
 — estructura de la, 151 y ss.
 — de hilo, 182, 185.
 — hongos peligrosos para la, 173.
 — Impregnación con sales metálicas, 166.
 — de invierno, 152.
 — labra de, 182.
 — propiedades técnicas de la, 158.
 — pudrición de la, 165.
 — pulimentación de la, 183.
 — resistencia de la, 164.
 — de sierra, 182, 185.
 — trabajo de la, 182.
Maderas de construcción, 183.
 — exóticas, 180.
 — extranjeras, 185
 — finas, 187.
 — más importantes en la construcción, 175.
 — del Norte, 186.
 — de raja, 186.
 — resinosas, 175.
 — no resinosas, 177.
Magnesia, 291.
Malaxadoras, 73.
Mallette, 238.
Manguitos, 219.
Máquinas de asperonar y pulir, 57.
 — de desbastar columnas, 57.
 — mezcladoras, 74.
 — de regruesar, 182.
Marcos, 185.
Margas, 12, 43.
 — arcillosas, 44.
 — calcáreas, 43.
 — dolomíticas, 44.
Mármol artificial, 93.
 — estuco de, 270.
Mármol, cemento de, 95.
 — de cemento, 87.
 — granítico, 35.
Mármoles, 36.
 — arborescentes, 37.
 — brechas, 37.
 — brocateles, 37.
 — conchíferos, 37.
 — de construcción, 37.
 — estatuarios, 37, 38.
 — lumaquelas, 37.
Martin-Siemens. Procedimiento, 207.
Masa, 213.
 — aglutinante, 265.
Masillas, 322.
Mástique de caseína, 322.
 — de hierro, 323.
 — de magnesia, 323.
 — de vidrio soluble, 323.
Mástiques, 7, 322.
 — de aceite, 322.
 — bituminosos, 323.
 — de cal, 322.
 — de cola, 322.
 — resinosos, 323.
Material de relleno, 267.
Materiales aglomerantes, 7, 264.
 — auxiliares, 7, 324.
 — cerámicos, 136.
 — — de pavimentación, 148.
 — — para pavimentación, 149.
 — hidráulicos adicionales, 303.
 — principales, 7.
 — de revestimiento, 7, 348.
 — de unión, 264.
Mazarotas, 219.
Mediano, 136.
Meissner, 244.
Meláfido, 12, 24.
Melis del Nord, 175.
Mellit, 333.
Mena de los pantanos, 193.
Merulius lacrimans, 173.
 — minor, 173.
 — sylvester, 173.
Metales, 7.
 — empleados en la construcción, 192.
Mezcladoras, 73, 206.
Mica, 10.

- Mica biolita**, 10.
 — **magnesiana**, 10.
 — **moscovita**, 10.
 — **potásica**, 10.
Microgranito, 20.
Minerales, 192.
 — **accesorios**, 7.
 — **esenciales**, 7.
 — **feldespatoides**, 9.
 — **ferríferos**, 192.
 — **ferrosos**, 12.
 — **que integran las rocas**, 7.
Mineralita, 103.
Moldeo en arena de estufa, 215.
 — — **verde**, 215.
 — **en caja**, 214.
 — **en un lecho**, 214.
 — **con modelo dividido**, 214.
Moldes, 74, 218.
 — **preparación de**, 213.
Molinos de bolas, 73.
 — **de cilindro**, 73.
 — **de ruedas**, 73.
 — **de rulos**, 73.
Mortero de cemento, **rendimiento del**, 295.
 — **compacidad del**, 265.
 — **fraguado del**, 277.
Morteros, 7, 264.
 — **aéreos**, 265, 266.
 — **de barro**, 266.
 — **de cal**, 271.
 — — **grasa**, 266.
 — **de cemento**, 266.
 — — **atenuados**, 278.
 — **hidráulicos**, 265, 279.
 — **puzolánicos**, 303.
 — **de yeso**, 267.
Mosaico, 65.
 — **cementicio** 88.
Mosaicos cerámicos, 145.
Muralina, 349.

Nagelflue, 31.
Napoleonita, 24.
Nogal, 180.
Noyos, 215.

Objetos moldeados, 216.
Obras de ingeniería, 62.
Ojaranzo, 179.
Oleolacas Münchs, 348.

Olivinita, 25.
Olivino, 10, 12.
Olmo, 178.
Onfacita, 9.
Ópalo, 40.
Orin, 242.
Óxido férrico, 290.
 — **magnético**, 192.
Oxígeno, 250.

Paja, 335, 337.
Pajarilla, 20.
Palisandro, 181.
Palo campeche, 180.
 — **santo**, 181.
Papeles de lana, 348.
 — **pintados**, 348.
Papirolita, 103.
Pasamanos, 232.
Pasta de Carrara, 95.
Pavimentación, 64.
Pavimentos de rostolita, 142.
Pedernal, 40.
Pegamoid, 349.
Peldaños de escalera, 60.
Penetrol, 317.
Peral, 180.
Perfiles, 230.
 — **ensayo de los**, 252.
 — **especiales**, 232.
Pernos, 236.
 — **ensayos de**, 252.
 — **de unión**, 236.
Picrita, 25.
Piedra de afilar, 32.
 — **artificial de cemento**, 84.
 — — **magnesiana**, 100.
 — — **de yeso hidráulico**, 92.
 — **asfáltica**, 324.
 — **berroqueña**, 20.
 — **cachumba**, 34.
 — **de campana**, 27.
 — **de cantería**, 20.
 — **de carbonilla**, 30.
 — **córnea**, 40.
 — **de espejo**, 34.
 — **franca**, 32.
 — **de grano**, 20.
 — **de Jesús**, 34.
 — **losa**, 34.
 — **de matasanos**, 32.
 — **molinera**, 40.



- Piedra natural, empleo de la, 59.
 — ollar, 30.
 — pez, 26.
 — pómez, 26.
 — sonora, 27.
 — de tejar, 42.
 — Terranova, 93.
 — de toque, 40.
 Piedras Annalyf, 92.
 — artificiales, 7.
 — — a base de asfalto y de vidrio, 108.
 — — de calidad especial, 106.
 — — de cemento y amianto, 106.
 — — clasificación de las, 72.
 — — endurecidas por cochura, 109.
 — — ensayo de las, 72, 75.
 — — obtención de las, 72.
 — — propiedades refractarias de las, 77.
 — — de yeso, 92.
 — para bordillos, 66.
 — de molino, 33.
 — naturales, 7.
 — — aplicaciones de las, 49.
 — — Compacidad, 68.
 — — Durabilidad, 69.
 — — ensayo de las, 49, 66.
 — — — al desgaste, 70.
 — — Ensayos de compresión, 67.
 — — — mecánicos, 67.
 — — extracción de las, 49.
 — — Helabilidad, 69.
 — — labra de las, 49.
 — — — mecánica de las, 56.
 — — Peso, 68.
 — — Poder absorbente para el agua, 68.
 — — Resistencia a la compresión, 67.
 — — — a la flexión, 68.
 — — — a la tracción, 68.
 — partidas, 64.
 — poligonales, 64.
 Piezas desbarbadas, 219.
 — de enlace para tubos de enchufe y cordón, 219.
 — — de platinas, 219.
 — de fundición, ensayo de, 255.
 Piezas ornamentales, 61.
 Pilas de puente, 64.
 — de viaducto, 64.
 Pinabete, 177.
 Pino albar, 175.
 — amarillo, 176.
 — de Balsain, 175.
 — del Oregón, 176.
 — resinoso, 176.
 Pintura amarilla, 347
 — azul, 347.
 — blanca, 347.
 — negra, 347.
 — parda, 347.
 — roja, 347.
 — verde, 347.
 Pinturas, 345.
 — a la aguada, 345.
 — de caseína, 348.
 — caseína-cemento Gerhardt, 348.
 — a la cola, 345.
 — de esmalte, 348.
 — flúidas Hessels, 348.
 — glasurita, 347.
 — Hércules, 348.
 — hiperolina, 348.
 — krudol, 347.
 — minerales Keims, 347.
 — al óleo, 345.
 — panzer, 243.
 — Rhissan, 347.
 — al vidrio soluble, 346.
 — zonca, 244.
 Pirita, 11, 112.
 Piroxeno, 9, 12.
 Pisos, 267.
 Pitch-pine, 176.
 Pitones, 214.
 Pizarra arcillosa, 12, 42, 194.
 — — primitiva, 49.
 — artificial, 106.
 — asbestolita, 106.
 — micácea, 12, 48.
 Pizarras de clorita, 49.
 — de talco, 49.
 Placas, 148, 335.
 — de construcción, 101.
 — de corcho y tierra de infusorios, 106.
 — Duro, 270.
 — embutidas, 224.

- Placas de hormigón, 89.
 — refractarias, 144.
 — superator, 334.
 Plancha de aterrajajar, 216.
 — lisa de zinc, 260.
 — ondulada de zinc, 260.
 Planchas combadas, 234.
 — laminadas, 257.
 Plátano, 180.
 Plomo, 256.
 — endurecido, 257.
 — fundido, 258.
 — hilos de, 258.
 — tubos de, 258.
 — varillas de, 258.
 Plutonita, 247.
 Polyporus vaporarius, 173.
 Pómez, ladrillos de, 97.
 Pórfido, 9, 12, 21.
 Pórfido-felsita, 271.
 Pórfido granitoide, 22.
 — negro, 21.
 Pórfido-sienitas, 20.
 Pórfido sienítico, 22.
 — verde antico, 22.
 Pórfidos cuarcíferos, 21.
 — rojos, 21.
 Porfirita, 12, 22.
 Porfiritas anfibólicas, 22.
 Portland de escorias, 298.
 Postes para cercados ordinarios, 188.
 — para conducciones aéreas, 188.
 Potasa, 291.
 Preolita, 244, 318, 319, 328.
 Prismas de construcción, 341.
 — Luxfer, 341.
 Procedimiento ácido, 204.
 — básico, 204.
 Procesos Bessemer, 204.
 — Thomas, 204.
 Productos cerámicos, 109.
 Protogranito, 20.
 Pudelado, 201.
 Pudingas, 12.
 Pumita, 26.
 Puntas de París, 237.
 Punteros, 182.
 Punzones, 221.
 Puzolanas naturales, 41.
 Ramojo para enfajinados, 188.
 Rangua, 216.
 Rasilla, 136.
 Rebosaderos, 214.
 Recarburación, 207.
 Recocho, 136.
 Recocido, 201.
 Reducciones, 219.
 Resistol, 244.
 Retinita, 26.
 — felsítica, 26.
 Revenido, 201.
 Revestimiento de chapa de madera, 349.
 Revestimientos linkrusta, 349.
 Revoltos, 139.
 Revoque Rabitz, 247.
 Risolina, 244.
 Roble, 177.
 Roblones, 236.
 — de cabeza avellanada, 236.
 — — hemisférica, 236.
 — — perdida, 236.
 — — plana, 236.
 — ensayos de, 252.
 — de gota de sebo, 236.
 Roca amigdaloides, 14.
 — arenisca, 14.
 — brechiforme, 14.
 — compacta, 13.
 — conglomerada, 14.
 — de dolomita, 38.
 — escamosolista, 13.
 — granular, 13.
 — de hornablenda, 30.
 — isótropa, 13.
 — limosa, 14.
 — listada, 13.
 — oolítica, 14.
 — porfídica, 14.
 — vítrea, 14.
 Rocalla, 106 334.
 Rocas, 7.
 — alterabilidad de las, 16.
 — arcillosas, 31.
 — areniscas verdes, 32.
 — calizas, 31.
 — cavernosas, 14.
 — celulares, 14.
 — clasificación de las, 11.
 — clásticas, 12, 13.
 — color de las, 17.



- Rocas compactas**, 14.
 — compuestas, 8.
 — conductibilidad térmica de las, 14.
 — criptocristalinas, 13.
 — cristalinas, 13, 48.
 — cuarcíferas, 39.
 — cuarzosas, 12, 31.
 — disgregadas, 44.
 — eruptivas, 11, 18.
 — esponjosas, 14.
 — estratificadas, 12.
 — ferruginosas, 32.
 — glauconíticas, 32.
 — humedad natural de las, 15.
 — margosas, 32.
 — microcristalinas, 13.
 — plutónicas, 11.
 — porosas, 14.
 — porosidad de las, 15.
 — pulimentación de las, 17.
 — sedimentarias, 12, 30.
 — silícicas, 39.
 — siliciosas, 31.
 — simples, 8.
 — volcánicas, 11.
 — Yacimiento, 16.
Rostolita, pavimentos de, 142.
Ruberoid, 331.
Rubol, 244.
Sal y pez, 20.
Sales alcalinas, 113.
Sándalo amarillo, 180.
 — rojo, 180.
Santorina, 41.
Sauce, 179.
Schoop. Procedimiento, 244.
Sedimentos mecánicos, 12.
 — organogénicos, 12.
 — precipitados, 12.
Sege, pirámides de, 136.
Serpentina, 12, 29.
Siderosa, 193.
Siderosteno, 319.
Siderosteno-lubrose, 244.
Sienita, 12, 20.
 — Aplicaciones, 21.
 — augíticas, 20.
 — biotíticas, 20.
 — de Lausitz, 21.
 — de Odenwald, 21.
Sienita de Suecia, 21.
 — Yacimientos, 21.
Sierras, 56.
Sílice, 289.
Soldadura a tope, 249.
 — autógena, 249.
 — eléctrica, 249.
 — ferrofix, 248.
 — Procedimiento Goldschmidt, 248.
Soldaduras amarillas, 263.
 — blancas, 263.
 — blandas, 263.
 — fuertes, 263.
Soplete oxhídrico, 249.
 — oxiacetilénico, 249.
Sopletes de alta presión, 250.
 — de baja presión, 249.
Soportes de macho, 215.
Sosa, 291.
Sotor, 175.
Spiegel, 152.
Spiegeleisen, 197.
Spreu, 270.
Sublimado corrosivo, 167.
Sumideros, 148.
Tabiques Lugino, 270.
 — Rabitz, 270.
Tabla de moldear, 214.
Tablas, 186.
Tablones, 186.
 — de puente, 187.
 — regulares, 186.
Taladros de caída, 71.
Talco, 10.
 — esquistoso, 12.
Tamizado, 73.
Tándem, 221.
Tapices de cuero, 348.
 — tejidos, 349.
Tarugos, 187.
Teca, 181.
Techos Rabitz, 270.
Tefritas, 27.
Teja a lomo, 143.
 — a torta, 143.
 — vana, 143.
Tejados de paja y barro, 267.
Tejas, 142.
 — alomadas, 142.
 — árabes, 142.

- Tejas de encaje, 143.
 — planas, 143.
 — romanas, 142.
 Tejidos bakula, 336.
 — impermeables, 335.
 Temple, 201.
 Tendeles, 265.
 Termita, 248.
 Terracotas ornamentales, 146.
 Terrajas, 213, 216.
 Ferralita, 103.
 Ferranova, 271.
 Ferrasita, 271.
 Terrazo, 88.
 Terrazzolith, 103.
 Testalina, 58.
 Thümmelita, 271.
 Tierra de alfareros, 45.
 — de infusorios, 40.
 — de ladrillos, 45.
 — de pipa, 45.
 — vegetal, 47.
 Tierras, homogeneidad de las,
 11.
 — sueltas, 12.
 Tilo, 179.
 Timbradoras ordinarias, 122.
 Tinajas, 148.
 Tiza negra, 43.
 Toba basáltica, 42.
 — caliza, 35.
 — de diabasa, 41.
 — leucítica, 42.
 — de pómez, 41.
 — porfídica, 40.
 — traquítica, 41.
 Tobas, 12, 17.
 — volcánicas, 40.
 Tochos, 136, 205.
 Topacio de Hinojosa, 40.
 Toredo navalis, 175.
 Torfoleum, 107.
 Torgamento, 103.
 Tornos, 57.
 Touple, 182.
 Traquita, 12, 25.
 Trass, 42.
 Traviesas de ferrocarril, 187.
 Trefilería, 229.
 Tren de laminado, 225.
 Tropenol, 323.
 Tubos, 218.
 Tubos de arcilla, 147.
 — — Codos, 147.
 — — Cruces, 147.
 — — Derivaciones, 147.
 — — Empalmes, 147.
 — — — dobles, 147.
 — — Injertos, 147.
 — — — dobles, 147.
 — — Piezas de reducción,
 147.
 — — Ramales de tres enchu-
 fes, 147.
 — — Sifones, 147.
 — — Tubos perforados, 147.
 — de avenamiento, 148.
 — de barro cocido de sección
 rectangular, 147.
 Turba, ladrillos de, 107.
 Ueberzugoel, 244.
 Ull de serp, 20.
 Untos, 215.
 Uralita, 106, 334.
 Valoración de la obra de sille-
 ría, 60.
 Verde antiguo, 30.
 Vidrio armado, 340.
 — calidad del, 339.
 — colado, 339.
 — de color, 342.
 — coloración del, 342.
 — comprimido, 340.
 — de construcción, 337.
 — defectos del, 344.
 — deslustrado del, 344.
 — ensayo del, 344.
 — esmerilado del, 344.
 — a la flexión, 340.
 — glaseado del, 344.
 — hueco, 338.
 — plaqué, 343.
 — privilegiado, 343.
 — soluble, 345.
 — soplado, 338.
 Vidrios, 7.
 — catedral, 343.
 — esmaltados, 343.
 Viguetas Differding, 231.
 — Grey, 231.
 — Peiner, 231.
 Vitriolo verde, 11.



Waters, 148.

Wurlitzita, 150.

Xilema, 152, 157.

Xilolita, 102, 247.

Xilopal, 103.

Yellow-pine, 176.

Yeso, 10, 12, 33.

— amorfo, 11.

— anhidro, 33.

— espático, 10, 33.

— de estucar, 269.

— estuco de, 93.

Yeso hidráulico. Piedra artificial, 92.

— lento, 267.

— piedras artificiales de, 92.

— rápido, 269.

— de revocar, 268.

— tablas de, 96.

Zamarras, 202.

Zinc, 259.

— cloruro de, 166.

— lingote de, 260.

— plancha lisa de, 260.

— — ondulada de, 260.

Zona de fusión, 199.

TALLERES GRÁFICOS IBERO - AMERICANOS, S. A.
PROVENZA, 86 : BARCELONA

IMPRESIÓN MANUL - TALLERES OFFSET - SAN SEBASTIÁN MANUL





NUEVAS PUBLICACIONES TÉCNICAS

La Máquina dinamoeléctrica de corriente continua.

ARNOLD-LA-COUR. — Su teoría, experimentación, construcción, cálculo y funcionamiento.

Tomo I. Teoría y experimentación. — 764 páginas con 570 figuras.

Tomo II. Construcción, cálculo y funcionamiento. — 775 páginas con 550 figuras y 18 láminas.

Electrotecnia. THOMÄLEN, Dr. A., Profesor de la Escuela Técnica Superior de Karlsruhe. — 608 páginas, 555 figuras.

Centrales generadoras de energía eléctrica, por H. KYSER, Ingeniero Diplom. 870 páginas, 665 figuras, 2 láminas y 87 tablas numéricas.

Electrotecnia, *Las leyes fundamentales de la electricidad y la producción y el aprovechamiento de la corriente eléctrica al alcance de todos.* Por el Ing. K. LAUDIEN. 640 páginas, 809 figuras y numerosos ejemplos.

Gran Enciclopedia práctica de electricidad, publicada bajo la dirección de M. H. DESARCES. Dos tomos, 1,626 páginas, 2,157 ilustraciones y 28 láminas. 2.ª edición.

Manual del Constructor de Máquinas. Publicado bajo la dirección del Profesor H. DUBBEL, con la colaboración de numerosos especialistas. — 2 tomos, 1,968 páginas y más de 2,630 figuras.

Motores de combustión interna y gasógenos. H. GÜLDNER. — Su cálculo y construcción. — 867 páginas, 1,282 figuras, 35 láminas y 200 tablas. (2.ª edición).

Matemáticas para Ingenieros. ROSE, W. — 2 tomos. Con un total de 1,120 páginas, 404 figuras y numerosos ejemplos resueltos.

Resistencia de Materiales. MORLEY, A. — 688 páginas, 250 figuras y numerosos ejemplos resueltos. (2.ª edición).

Teoría de las Estructuras. MORLEY, A. — 732 páginas, 324 figuras, 4 láminas y numerosos ejemplos resueltos. (2.ª edición).



Cristalografía, por A. K. BOLDYREV, Prof. de la Escuela de Minas y Director del Instituto Federov de Leningrado. 432 páginas, 254 figuras y 2 láminas en color.

Curso de Física. WATSON, W.—977 páginas con 589 figuras y numerosos ejemplos demostrativos. (2.^a edición).

Prácticas de Física. WATSON, W.—691 páginas con 282 figuras y 30 tablas con valores numéricos de uso corriente.

Enciclopedia de Química Industrial. THORPE, B., con la colaboración de 127 eminentes profesores y especialistas.—6 tomos tamaño 23,5 x 16 cm., de unas 800 páginas cada uno, conteniendo más de 6,000 artículos;

Tratado de Química analítica cuantitativa aplicada a la Química agrícola, por el Prof. Dr. J. AURELIO MAZZA, de la Universidad de Buenos Aires. 408 páginas y 77 figuras.

Tratado de Química física, por el Dr. JOHN EGGERT, Profesor de la Universidad de Berlín. 540 páginas y 123 ilustraciones.

Prácticas de Química orgánica, por el Prof. F. W. HENLE. Traducción de la 3.^a edición alemana. 260 páginas y 55 figuras.

GUÍA PRÁCTICA DEL AUTOMOVILISTA

Por VÍCTOR W. PAGÉ, M. E.

El automóvil de gasolina moderno. Su descripción, construcción, manejo y conservación. 2.^a edición española, traducida de la 9.^a edición norteamericana. 1,072 páginas, 725 figuras, 13 láminas y 1 modelo desmontable.

Autocamiones modernos de gasolina y eléctricos. Su descripción, construcción, manejo y conservación. Traducido de la 4.^a edición norteamericana. 1,000 páginas, 531 figuras, 3 láminas y 2 modelos desmontables.

Tratado práctico de reparación de automóviles. Traducido de la 4.^a edición norteamericana. 1,000 páginas, 500 figuras, 15 láminas y 2 modelos desmontables.

Encendido, arranque y alumbrado eléctrico de automóviles, por VÍCTOR W. PAGÉ. Traducido de la 6.^a edición norteamericana. 680 páginas con 71 esquemas de conexiones y 371 grabados.

TRABAJOS DE TALLER

Biblioteca práctica del Mecánico moderno

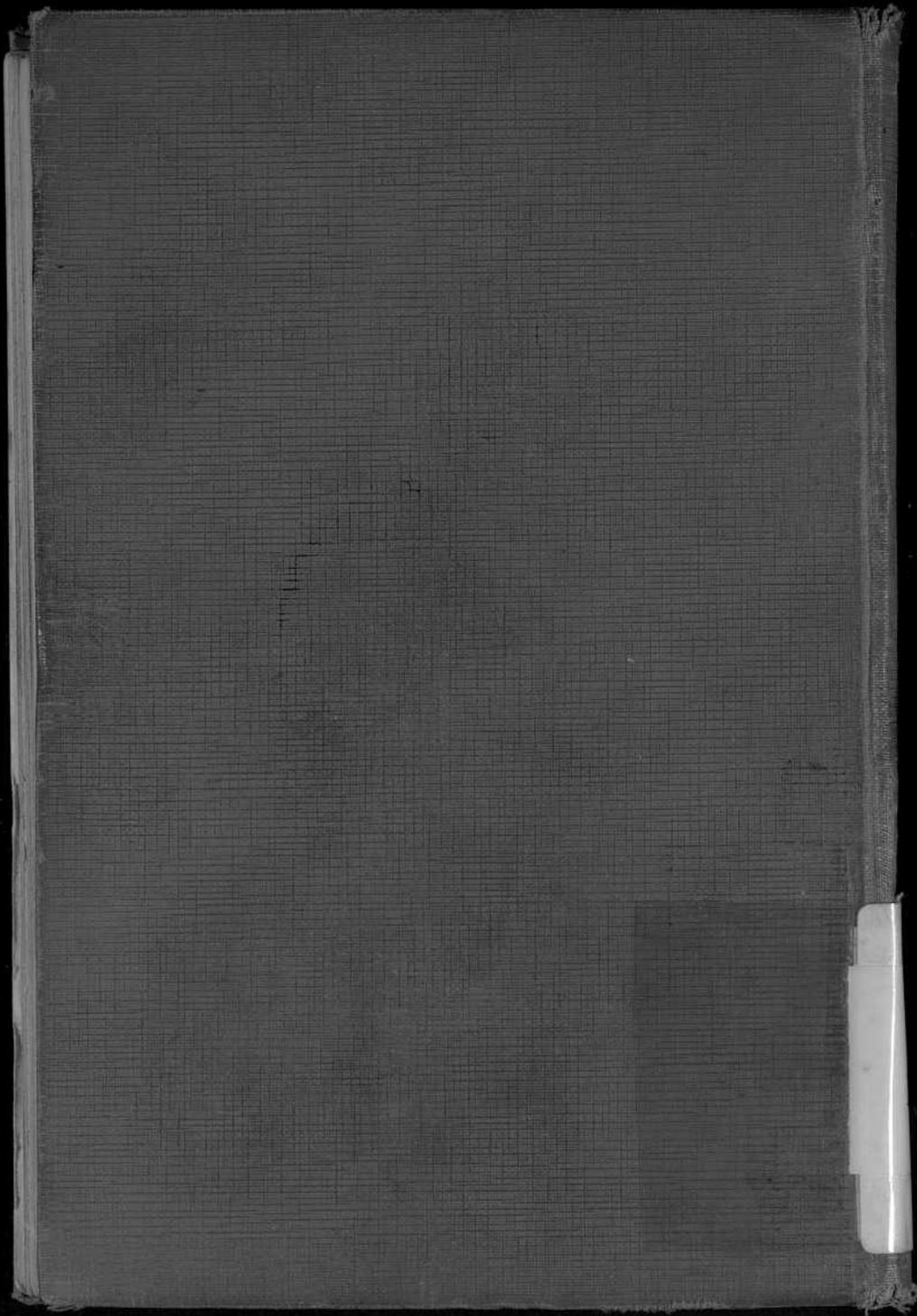
Constará esta Colección de unos 15 volúmenes abundantemente ilustrados, con gráficos, grabados y proyecciones de máquinas

- I. **Técnica de la medición y trazado**, por MAX KURREIN, Ing., y H. FRANGENHEIM, Ing. Con 355 páginas y 369 grabados.
- II. **Roscado y cálculo de las ruedas para roscar en el torno**. Con el estudio de los pasos difíciles, por OTTO MÜLLER, Ing., y GEORG KNAPPE, Ing. Con 206 páginas y 164 grabados.
- III. **Recetas para el taller. — Modernos procedimientos de soldadura**, por HUGO KRAUSE, Ing. Químico, y P. SCHIMPKE, Ing. Con 258 páginas y 60 grabados.
- IV. **Taladrado y escariado**, por J. DINNEBIER, Ing. Con 220 páginas y 370 grabados.
- V. **Tratamiento térmico del acero**, por EUGENIO SIMON, Ingeniero Diplomado. Con 221 págs. y 157 grabados.
- VI. **Forja de piezas varias**, por P. H. SCHWEISSGUTH, Ingeniero. Con 270 páginas y 353 grabados.
- VII. **Hierro colado, acero moldeado y fundición maleable**, por JOH. MEHRTENS, Ing., y Prof. Dr. E. KOTHNY. Con 227 páginas y 70 grabados.
- VIII. **Construcción de modelos para fundición**, por RICHARD LÖWER, Ingeniero diplomado. Con 166 páginas y 269 grabados.
- IX. **Construcción de fresas y esmerilado**, por BERTOLDO BUXBAUM, Ing., y PAUL ZIETING, Ing. Con 264 páginas y 301 figuras.

EN PREPARACIÓN

- Trabajos con el Divisor**, por W. POCKRANDT, Ingeniero. Con 23 grabados.
- Forja a estampa y Embutido**, por P. H. SCHWEISSGUTH, Ingeniero, y WALTER SELLIN, Ing. Con 200 grabados.

Para más detalles, pídase prospecto explicativo



34

Materialiales de construcción

D-2
14964