

CAPÍTULO 3

MORTEROS

INTRODUCCIÓN

El uso del mortero en la construcción ha sido muy diverso; en Colombia se usa ampliamente como material de revoque o repello, como material de pega en la mampostería y en los últimos tiempos en la mampostería estructural.

En este capítulo se estudiará, el mortero y sus propiedades y uno de los métodos para dosificarlo, partiendo de una resistencia y de una fluidez requerida.

DEFINICIÓN

El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso.

TIPOS Y USOS DE LOS MORTEROS

Atendiendo a su endurecimiento se pueden distinguir dos tipos de morteros: Los aéreos que son aquellos que endurecen al aire al perder agua por secado y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación, y los hidráulicos o acuáticos que endurecen bajo el agua, debido a que su composición les permite desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

Teniendo en cuenta los materiales que los constituyen, pueden ser:

- **Morteros calcáreos:** los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos.

Las cales aéreas mas conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomítica); en los morteros aéreos la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones del mortero al ir perdiendo el agua de amasado. Se recomienda que la arena sea de partículas angulares y que esté libre de materia orgánica. La proporción de cal-arena mas usada para revoque es de 1-2 y para mampostería simple de 1-3 o de 1-4. Si la proporción aumenta el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad.

En Colombia sólo se utiliza este mortero en trabajos de embellecimiento de interiores que requieren esquinas perfectas.

- **Morteros de yeso:** Se preparan con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según el grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso. En obras corrientes se agrega el 50%,

para estucos el 60% y para moldes el 70%. El mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina mas o menos en un cuarto de hora.

- Morteros de cal y cemento: Son aconsejables cuando se busca gran trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia (superior a la de los morteros de cal); en estos morteros se sustituye parte del cemento por cal, razón por la cual se les conoce también como Morteros de Cemento Rebajado.

Las relaciones de mezcla mas usadas varían entre 1:2:6 y 1:2:10 de cemento, cal y arena y el agua necesaria varía de acuerdo a la composición del mortero y a la consistencia deseada. Si el contenido de cemento es alto, el mortero será de alta resistencia y de poco tiempo entre amasado y colocación, será mas o menos trabajable y tiene una contracción del 3% si el mortero es seco; en cambio si el contenido de cal es alto tendrá menor resistencia, será mayor el tiempo entre amasado y colocación, será mas plástico y permeable, pero tendrá mayor retracción. Si el contenido de arena es alto, la resistencia disminuirá y será poco trabajable, pero tendrá poca retracción. Por lo anterior debe buscarse una combinación adecuada a las condiciones de obra.

En cada país la clasificación de los morteros obedece a propiedades específicas de resistencia a la compresión. La norma mas difundida es la ASTM-270, la cual clasifica los morteros de pega por propiedades mecánicas y por dosificación. En esta norma se aceptan 5 tipos de mortero en orden decreciente de resistencia. La tabla No.24 a continuación resume esta clasificación.

TABLA NO.24. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS DE PEGA PARA MAMPOSTERÍA SIMPLE SEGÚN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DIAS Y SEGÚN DOSIFICACIÓN

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa) (Kg/cm ²) (P.S.I.)			CEMENTO PORTLAND	CEMENTO ALBANILERÍA	CAL	AGREGADO FINO SUELTO
M	17.2	175	2500	1 1	1 -	0.25	Entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizado
S	12.4	126	1800	0.5 1	1 -	0.25 a 0.50	
N	5.2	53	750	- 1	1 -	0.5 a 1.25	
O	2.4	25	350	- 1	1 -	1.25 a 2.50	
K	0.5	5	75	1	-	2.50 a 4.00	

El mortero para mampostería sin refuerzo debe ser del tipo M, S o N, y los morteros para mampostería reforzada están regulados por la norma ASTM C-476 en la cual se distinguen los tipos PM y PL. (ver tabla N° 25).

TABLA No.25. CLASIFICACIÓN ASTM C-476 DE MORTEROS DE PEGA PARA MAMPOSTERÍA REFORZADA SEGÚN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS Y SEGÚN DOSIFICACIÓN (PARTES POR VOLUMEN).

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			CEMENTO PORTLAND	CEMENTO MAMPOSTERÍA	CAL	AGREGADO FINO SUELTO
	(Mpa)	(Kg/cm ²)	(P.S.I.)				
PM	17.2	175	2500	1	1	0.25 a 0.50	
PL	17.2	175	2500	1	-		2.25 a 3.00

Los morteros de relleno se encuentran regulados por la Norma ASTM C-476 (ver tabla No.26). Los morteros de relleno son aquellos que se utilizan para verter en el interior de los muros con el objeto de aumentar la sección neta resistente del muro y favorecer la unión entre la manpostería y el refuerzo.

TABLA No.26. MORTEROS DE RELLENO - PARTES POR VOLUMEN

TIPO DE RELLENO	CEMENTO PORTLAND	CAL	AGREGADO FINO SUELTO	AGREGADO GRUESO SUELTO
Relleno fino	1	0 a 0.1	2.25 a 3.0	-
Relleno grueso	1	0 a 0.1	2.25 a 3.0	1 a 2

En Colombia el uso de los morteros de cal y cemento empezó en el año 1975 cuando se observó que la resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla con los cuales se construyeron algunos edificios de cinco pisos con muros portantes era baja. Sin embargo, el uso de estos morteros ha encontrado dificultades por la mala calidad de las cales.

- Morteros de cemento: Son los mas empleados en Colombia, se componen de arena y cemento Portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena usados. Es hidráulico y debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; se acostumbra mezclarlo en obra, revolviendo primero el cemento y la arena y después adicionando el agua.

En el mortero de cemento al igual que en el hormigón, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad.

En algunos casos se emplean arenas con ligeros contenidos de limo o arcilla, para darle mayor trabajabilidad al mortero, sin embargo, los morteros fabricados con este tipo de arena no son muy resistentes.

Si el mortero tiene muy poco cemento la mezcla se hace áspera y poco trabajable ya que las partículas de arena se rozan entre si, pues no existe suficiente pasta de cemento que actúe como lubricante.

Por otro lado si el mortero es muy rico, es decir, con alto contenido de cemento, es muy resistente pero con alta retracción en el secado, o sea muy susceptible de agrietarse; estos morteros muy ricos sólo se usan en obras de ingeniería que exijan altas resistencias, tales como muros de contención o cimientos.

En Colombia el uso del mortero de cemento es ampliamente difundido, y se dosifica de acuerdo a la proporción en peso de cemento y arena.

La tabla No.27 resume las diferentes proporciones de los morteros usados en Colombia.

TABLA No.27. USOS DE LOS MORTEROS DE CEMENTO

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Los morteros 1:1 a 1:3 son morteros de gran resistencia y deben hacerse con arena limpia.

Los morteros 1:4 a 1:6 se deben hacer con arena limpia o semilavada.

Para los morteros 1:7 a 1:9 se puede usar arena sucia, pues estos morteros tienen muy poca resistencia.

Los morteros según su uso se pueden clasificar así:

- Morteros que tienen suficiente resistencia y por lo tanto pueden soportar cargas a compresión, como sucede en la mampostería estructural.
- Morteros que mantienen unidos los elementos en la posición descada, tal es el caso del mortero de pega.

- Morteros que proveen una superficie lisa y uniforme, estos son los morteros de revestimiento y revoque.
- Morteros que sirven para llenar juntas entre diferentes elementos constructivos.

USOS DEL MORTERO

Los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros.

Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimiento como pañetes, repellos o revoques.

- **Mortero de pega:** debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines porque está sometido a las condiciones especiales del sistema constructivo, y una resistencia adecuada ya que debe absorber esfuerzos de tensión y compresión.
- **Morteros de relleno:** Se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una adecuada resistencia.
- **Morteros de recubrimiento:** Ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante.

PROPIEDADES DE LOS MORTEROS EN ESTADO PLÁSTICO

▪ Manejabilidad: Es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, es decir, de la facilidad para dejarse manejar. La manejabilidad está relacionada con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena.

Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC No.111, aunque en la práctica, hasta ahora, se ha definido por la apreciación del albañil. En la tabla No.28 se recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo a los tipos de construcción y a los sistemas de colocación.

▪ Retención de agua: se refiere a la capacidad del mortero de mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo un ladrillo.

Para mejorar la retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire.

La retención de agua influye en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, pues un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento.

- Velocidad de endurecimiento: Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas; dependen de la composición de la mezcla y de las condiciones ambientales como el clima y humedad.

TABLA No.28. FLUIDEZ RECOMENDADA DEL MORTERO PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN

CONSISTENCIA	FLUIDEZ %	CONDICIÓN DE COLOCACIÓN	EJEMPLO DE TIPOS DE ESTRUCTURA	EJEMPLO DE SISTEMA DE COLOCACIÓN
Dura (seca)	80 – 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100 – 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 – 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

PROPIEDADES DE LOS MORTEROS EN ESTADO ENDURECIDO

• Retracción: se debe principalmente a la retracción de la pasta de cemento y se ve aumentada cuando el mortero tiene altos contenidos de cemento. Para mejorar esta retracción y evitar agrietamientos es conveniente utilizar arenas con granos de textura rugosa, y tener en cuenta además que en clima caliente y de muchos vientos, el agua tiende a evaporarse mas rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, que se traducen en grietas visibles.

La retracción es proporcional al espesor de la capa, a la riqueza en cemento de la mezcla y a la mayor absorción de la pared sobre la que se vaya a aplicar.

• Adherencia: es la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga.

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero.

- Resistencia: Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente. Si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión.

Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente y más impermeable será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero; y que para un mismo contenido de cemento en un volumen determinado de mortero el más resistente y probablemente el más impermeable será aquel mortero que presente mayor densidad, o sea aquel que en la unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero; un mortero hecho con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para un mismo contenido de cemento.

Por último el contenido de agua del mortero tiene influencia sobre su resistencia; los morteros secos dan mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados.

- Durabilidad: Al igual que en el concreto, la durabilidad se define como la resistencia que presenta el mortero ante agentes externos como: Baja temperatura, penetración de agua, desgaste por abrasión y agentes corrosivos. En general, se puede decir que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad.

- Apariencia: La apariencia del mortero después de fraguado juega un importante papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para lograr una buena apariencia es necesario aplicar morteros de buena plasticidad.

DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTO PORTLAND

Al igual que en el concreto, existen numerosos métodos para diseñar morteros, pero todos ellos son de ensayo-error. A continuación se expondrá uno de ellos:

PASO 1: Contenido de cemento.

Los gráficos No.10 y 11 obtenidos de la investigación realizada por el Ingeniero Rodrigo Salamanca en el Laboratorio de Ensayos e Investigaciones de la Universidad Nacional de Bogotá o del gráfico No.13 obtenido por el ingeniero Josué Galvis R., con las arenas regionales, en su investigación "Diseño de mezclas de concreto y mortero para la ciudad de Manizales", permiten obtener el contenido de cemento, sabiendo la resistencia esperada de éste a los 28 días y su manejabilidad; los gráficos 10 y 13 son para morteros plásticos, con una fluidez entre 100 y 115% y el gráfico 11 es para morteros medianamente fluidos.

PASO 2: Contenido de agua.

El gráfico No.12 de la investigación del ingeniero Salamanca permite calcular el contenido de agua por m^3 de mortero con base en la resistencia a la compresión a los 28 días; el gráfico trae la relación agua-cemento y conocida ésta y el contenido de cemento, se puede encontrar la cantidad de

agua, el gráfico No.14 que pertenece a la investigación del ingeniero Galvis, también trae la relación agua-cemento Vs resistencia a los 28 días.

PASO 3: Contenido de arena.

Para calcular el contenido de arena se resta a 1 m^3 de mortero, el volumen de cemento, de agua y de aire incluido.

$$V_{\text{arena}} = 1 - (V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}})$$

PASO 4: Cálculo del volumen de arena.

Volumen de Cemento = al peso del cemento obtenido en el paso 1 dividido por la densidad del cemento que varía entre $3,05$ y $3,18\text{ g/cm}^3$.

El volumen de arena es igual al peso de la arena dividido entre el peso específico saturado y superficialmente seco de la arena, obtenido en ensayo de laboratorio.

El volumen de aire incluido es de 3.5% aproximadamente y se refiere a la cantidad de aire que en forma de burbujas queda atrapado en la masa del mortero una vez compactado.

Ejemplo de dosificación:

Se pretende dosificar un mortero para una resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm^2 (3000 psi).

El mortero es plástico con una fluidez entre 100 y 115% . El módulo de finura de la arena es 3.0 .

PASO 1: Cuantía del Cemento

En el gráfico No.10, con la resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 con y el módulo de finura de la arena de 3.0 se obtiene:

Cemento = 480 Kg por m^3 de mortero.

PASO 2: Cantidad de agua

En el gráfico No.12 con la resistencia a la compresión a los 28 días se encuentra:

Relación agua-cemento: $A/C = 0.52$

Luego: Cantidad de agua =

$A/C = 0.52$

$A = 0.52 \times 480 = 250$ litros

Aqua = 250 litros por m^3 de mortero.

PASO 3: Contenido de arena.

Se sabe por ensayos de laboratorio que:

-Densidad del cemento = 3.08 g/cm³ = 3080 kg/m³

-Peso específico de la arena saturada y superficialmente seca = 2.55 g/cm³

-Peso unitario suelto de la arena = 1.6 g/cm³

-Volumen del cemento: V_c

$$V_c = \frac{480\text{kg}}{3080} = 0.156 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de mortero}$$

-Volumen de agua = 250 litros = 0.250 m³

-Volumen de aire incluido = 0.035

-Luego el volumen de arena V_{ar} será:

$$V_{ar} = 1 - V_c - V_{agua} - V_{aire}$$

$$V_{ar} = 1 - (0.156 + 0.250 + 0.035)$$

$$V_{ar} = 0.441 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de mortero}$$

- Masa de la arena = Var x Densidad de la arena.

$$\text{Masa de arena} = 0.441 \times 2550$$

$$\text{Masa de arena} = 1124.6 \text{ kg por m}^3 \text{ de mortero.}$$

Para una masa unitaria suelta de la arena de 1.6 g/cm³ se tiene:

$$1124.6/1600 = 0.703 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de mortero.}$$

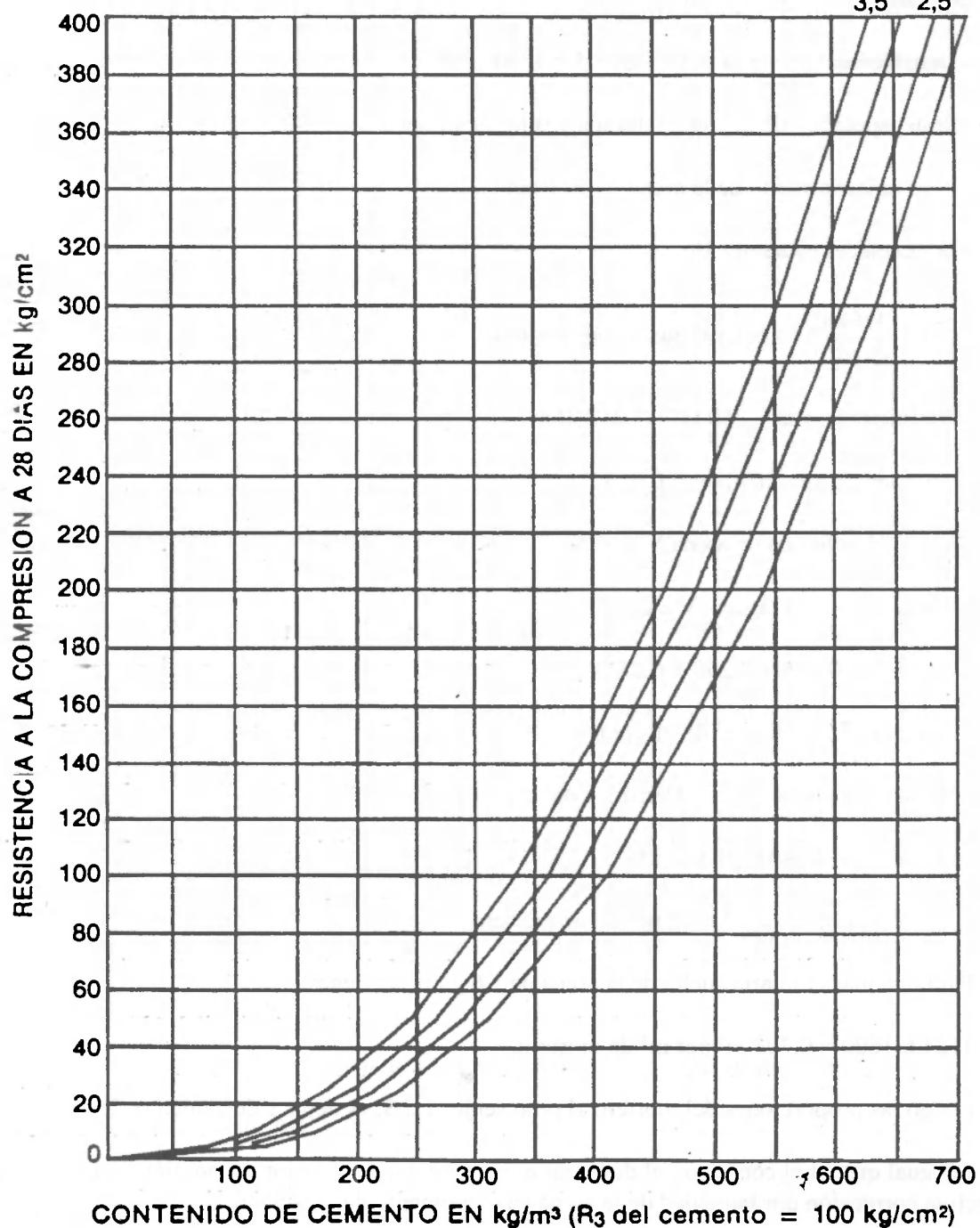
Luego las proporciones del mortero al peso serán: 1:2,3, es decir 1 de cemento, 2,3 de arena.

Al igual que en el concreto, al dosificar el mortero con la anterior proporción, debe hacerse la respectiva corrección por humedad de la arena en el momento de mezclado.

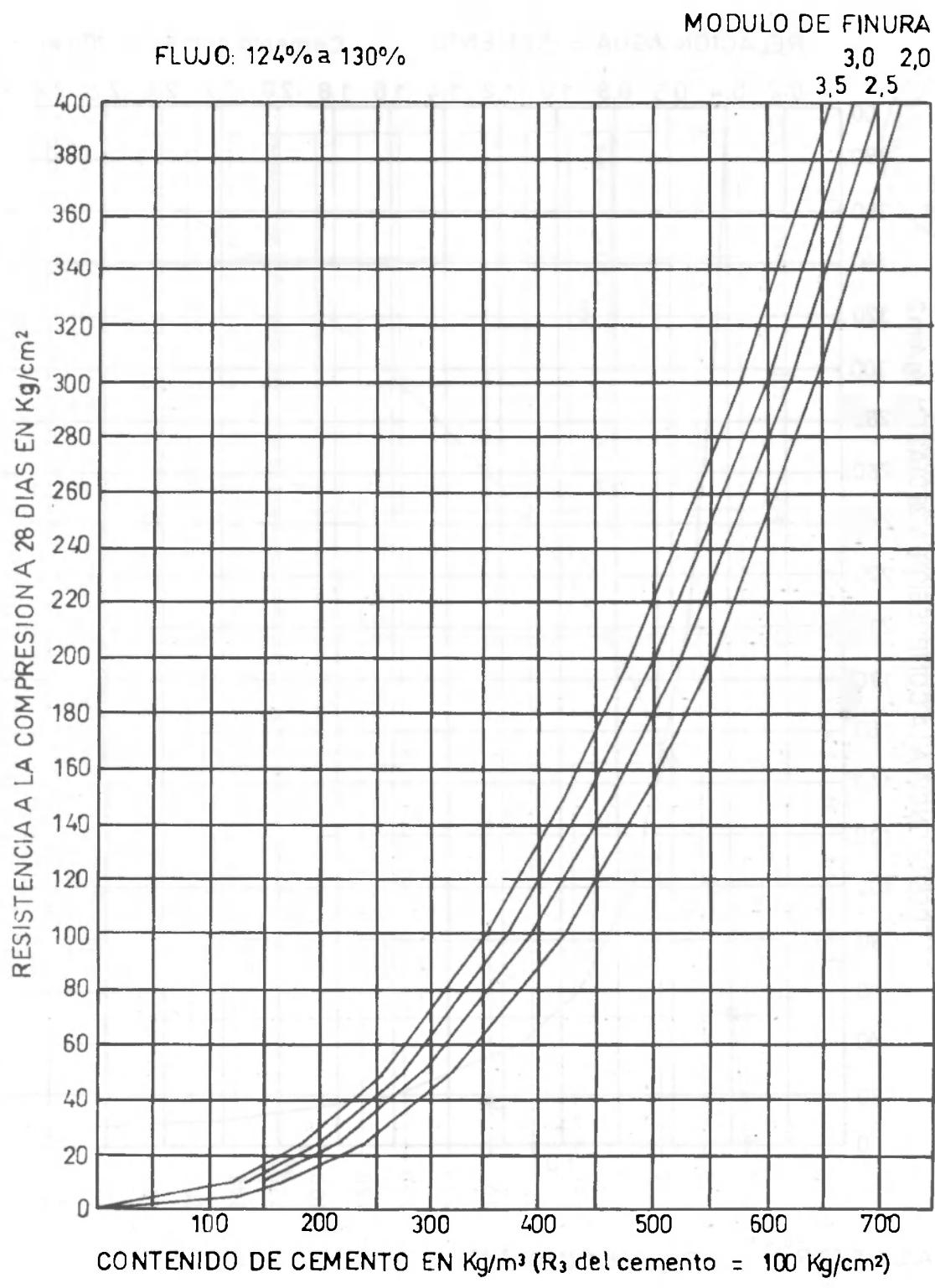
MODULO DE FINURA

FLUJO: 102% a 113%

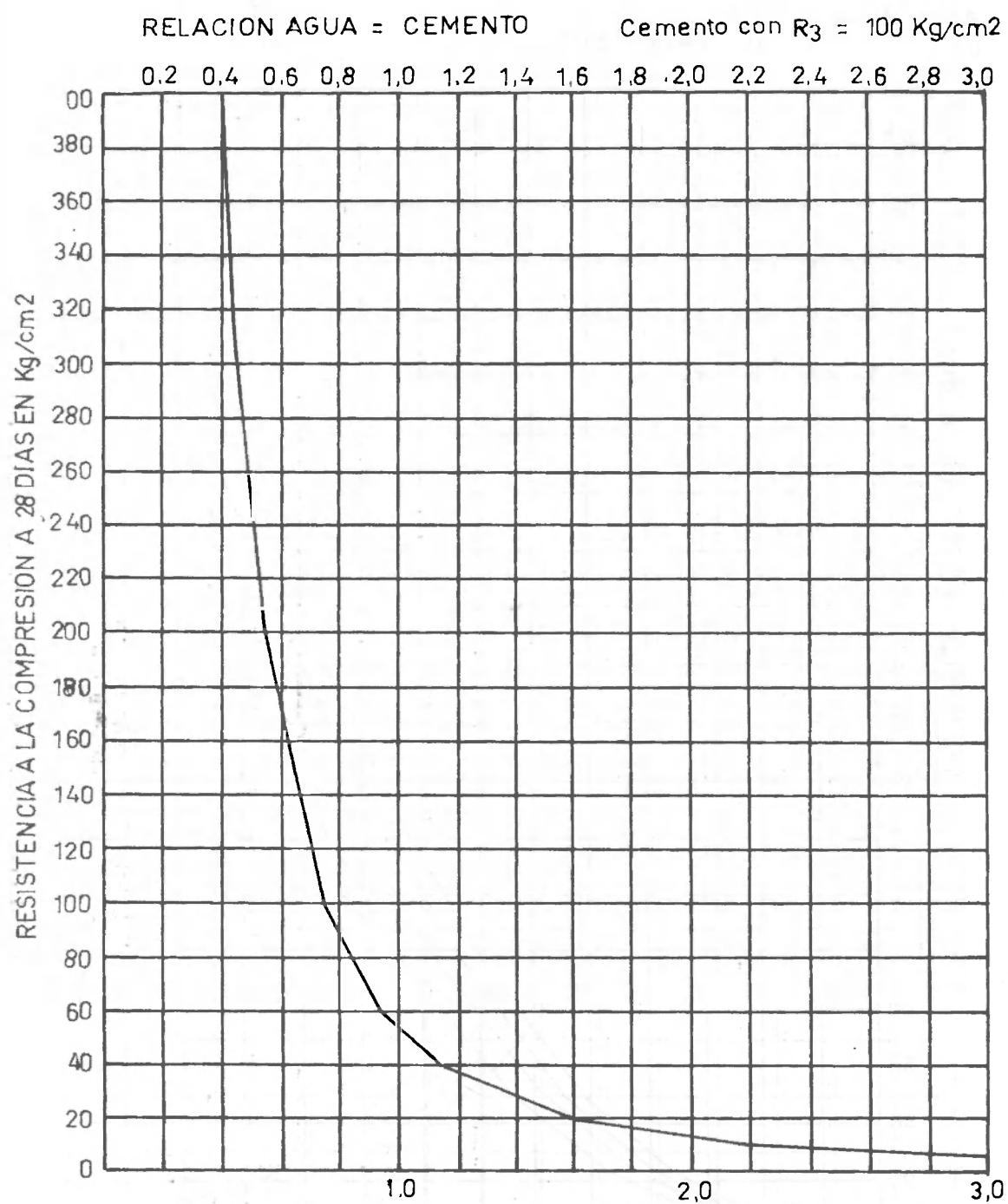
3,0 2,0
3,5 2,5



GRAFICA No.10. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO MORTERO SECO



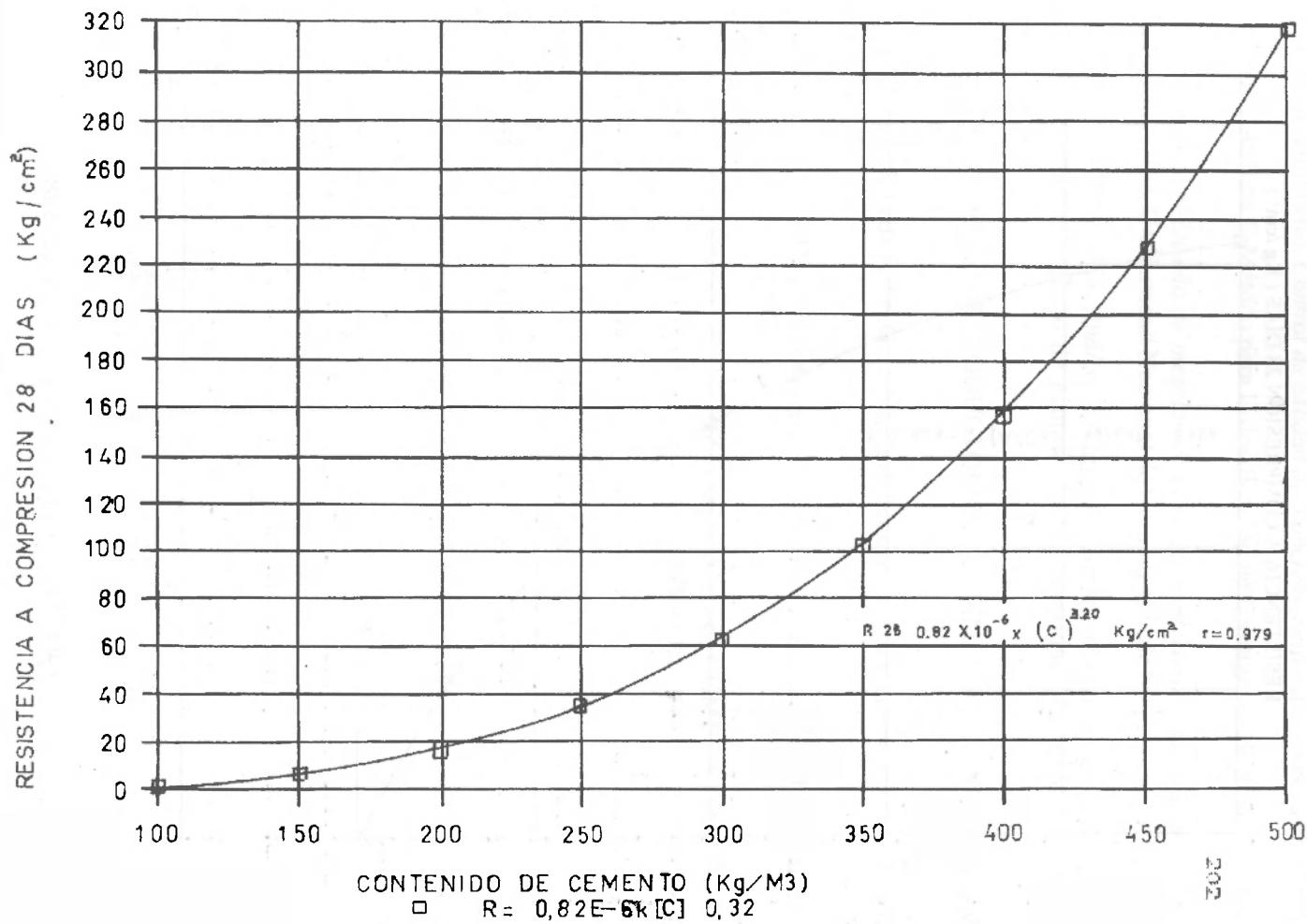
GRAFICA No.11. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO MORTERO HÚMEDO



$$A/C = 6.58 R_{28}^{0.17} \quad R_{28} = 55.1 (A/C)^{-2.13}$$

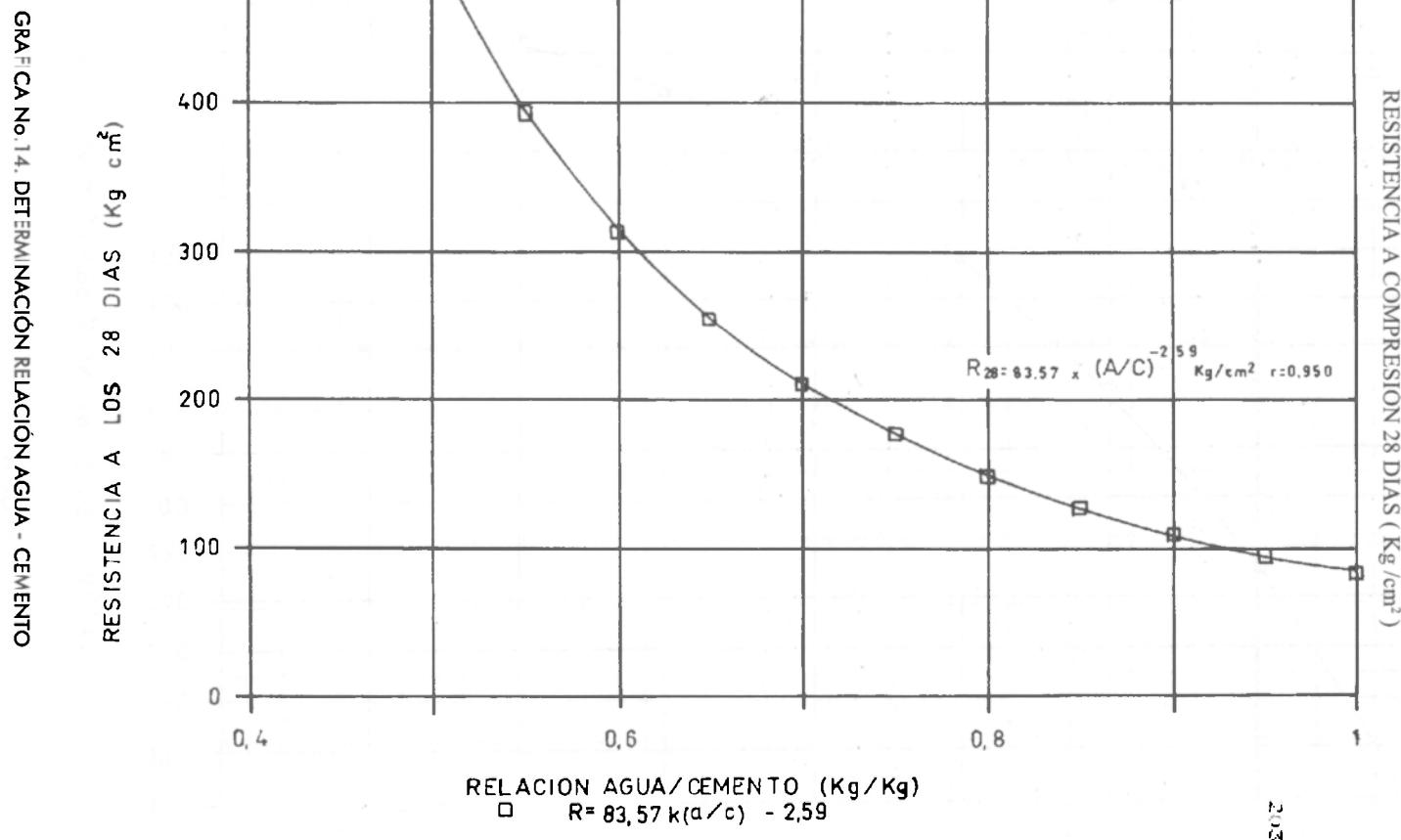
GRAFICA No.12. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO

CONVENIO U. NACIONAL - COMITE CAFETEROS
MORTEROS CON ARENA DEL RÍO CHINCHINÁ



GRAFICA N° 13. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO

CONVENIO U. NACIONAL - COMITE CAFETEROS
MORTEROS CON ARENA DEL RÍO CHINCHINA



BIBLIOGRAFÍA

ARANGO T., Jesús Humberto. *Control de calidad del concreto.* Seminario sobre la Norma ACI 318 77.

BALADO GARCÍA, Juan F. Método para la dosificación de hormigones. Segunda Edición. 1963.

GALVIS RAMOS, Josué. *Diseño de mezclas de concreto y mortero para la ciudad de Manizales.* Informe de Investigación. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 1988.

GUTIERREZ DE LÓPEZ, Libia. *Análisis de las características de los agregados para concretos y morteros en Manizales.* Trabajo de promoción. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 1983.

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. ICPC. *Curso sobre diseño de mezclas de concreto.* Medellín. 1980.

Mc MILLAN, F.R y TUTHILL, Lewis. *Cartilla del concreto.* Instituto mexicano del cemento y del concreto. A.C. 1982

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero.* Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1987.

SANDINO PARDO, Alejandro; RODRIGUEZ, Carlos Alberto; GÓMEZ CORTÉS, Jose Gabriel; NARANJO VILARO, Ricardo. *Tecnología del concreto.* Bogotá. 1988.

CAPÍTULO 4

MATERIALES CERÁMICOS

INTRODUCCIÓN

Material cerámico significa material sometido al fuego.

Los materiales cerámicos aplicados en construcción tienen por objeto sustituir la piedra natural, bien sea porque ésta falte o para obtener materiales pétreos con propiedades y características distintas de los naturales, por lo que se denominan piedras artificiales.

Los materiales cerámicos se clasifican en dos grandes grupos:

- a) Productos cerámicos que adquieren la consistencia requerida por medio del fuego.
- b) Productos cementados, formados por la combinación de aglomerantes y acrílicos preparados en frío, que toman consistencia por medio del proceso químico de fraguado.

COMPOSICIÓN

Los materiales cerámicos están compuestos principalmente de arcilla, tienen además un porcentaje de óxidos de sílice, aluminio, hierro, calcio y magnesio; al óxido de aluminio deben los materiales cerámicos su resistencia al fuego y al óxido de hierro su coloración.

ARCILLAS

Son agregados de partículas microscópicas o submicroscópicas derivados de la descomposición química que sufren las rocas. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros, pero vuelto a amasar con agua adquieren su plasticidad; tienen una permeabilidad muy baja.

La característica específica de la arcilla es la cohesión o resistencia cohesiva que aumenta al disminuir la humedad. Es difícil de compactar en estado húmedo, e imposible de drenar por métodos ordinarios. Compactada es resistente a la erosión y a la tubificación. Esta sometida a la expansión y retracción con los cambios de la humedad y con la actividad de los minerales arcillosos que la componen.

Sus propiedades dependen no sólo del tamaño y forma de la partículas sino también de su composición mineral y del medio químico o de la capacidad de intercambio iónico.

- **Minerales arcillosos:** Los minerales arcillosos son especialmente silicatos de aluminio, hierro o magnesio, algunos también contienen álcalis y/o tierras alcalinas, con componentes esenciales. Estos

minerales son en su mayoría cristalinos y los átomos que los componen están dispuestos en modelos geométricos definidos. La mayoría de los materiales arcillosos tienen estructuras laminares o en capas. Sólo unos pocos tienen estructuras tubulares o fibrosas. Normalmente una masa de suelo contiene una mezcla de varios.

Los minerales arcillosos tienen tamaños muy pequeños, menores de 2 mm y sus partículas son electroquímicamente activas; presentan afinidad por el agua y tienen gran plasticidad. Todos los minerales arcillosos están básicamente formados por dos unidades elementales, una es la de sílice en la que cuatro oxígenos forman las puntas de un tetraedro y encierran un átomo de silicio. La otra está encerrada por átomos de aluminio o magnesio, y a veces de hierro, níquel, cromo o litio, por seis oxidilos que tienen la conformación de un octaedro, unidad se llama brucita si el átomo encerrado es el de magnesio y gibsita si el átomo encerrado es de aluminio.

Todas las combinaciones posibles de estas unidades básicas para formar minerales arcillosos producen una carga neta negativa en el exterior de los grumos; una suspensión de suelo arcilloso-agua tiene una reacción alcalina $\text{pH} > 7$, siempre y cuando el suelo no esté contaminado con una sustancia ácida.

La principal fuente de minerales arcillosos es la meteorización química de las rocas que contienen:

- feldespato ortoclásico
- feldespato plagioclásico
- mica (muscovita),

que se catalogan como silicatos complejos de aluminio. Sin embargo de acuerdo con investigaciones recientes (Grimm 1968) los minerales arcillosos pueden formarse a partir de cualquier roca, siempre y cuando existan suficientes álcalis y tierras alcalinas para efectuar los procesos químicos necesarios.

La acción de meteorización en las rocas produce un gran número de minerales arcillosos con la propiedad común de afinidad por el agua pero en cantidades ampliamente diferentes.

Principales Minerales Arcillosos

a) Caolinita: La unidad estructural de la caolinita consta de capas alternadas de tetraedros de silicio con las puntas embebidas en una unidad octaédrica de alúmina (gibsita), es decir, que la estructura básica de la caolinita está formada por una capa de gibsita sobre una capa de sílice, razón por la cual este mineral se denomina de dos capas o bicapa, disposición que da por resultado una considerable resistencia y estabilidad con escasa tendencia a las intercapas para absorber agua y expandirse, razón por la cual la caolinita es poco activa.

Otro mineral arcilloso de la familia de la caolinita es la haloisita; difiere de la primera en que las dos láminas de sílice y gibsita (unidad fundamental) están enrolladas en tubos, por lo cual es muy liviana e inestable en procesos de secado.

Las arcillas caoliniticas y haloisiticas se encuentran en sitios muy lluviosos, pero bien drenados; se emplean principalmente en la fabricación de porcelanas por la ausencia de hierro.

b) Ilita: Se obtiene principalmente de la muscovita y la biotita y a menudo se llama arcilla micácea. La ilita está formada por una capa octaédrica de gibsita entre dos capas de tetraedro de silicio, lo que produce un mineral de tres capas con la diferencia adicional de que algunas de las posiciones del silicio están llenas con átomos de aluminio y que entre las capas hay adheridos iones de potasio que producen la deficiencia de carga, esta unión se traduce en una condición menos estable y en consecuencia en una actividad mayor.

La vermiculita es un mineral arcilloso de la familia de la ilita excepto por la presencia, entre las láminas, de una doble capa molecular de agua mezclada con iones de calcio o de magnesio, en la que se sustituye la gibsita por la brucita. La vermiculita se expande a temperaturas considerablemente altas, debido a que las capas de agua se transforman en vapor de agua con grandes expansiones.

Tanto la ilita como la vermiculita son utilizadas para fabricar objetos livianos por su baja densidad.

c) Montmorillonita: Está formada por unidades laminares ordenadas en estructuras de tres capas; el enlace entre lámina constituido por las fuerzas de Van der Wals es muy débil; se producen varias sustituciones de átomos de aluminio por silicio y de magnesio, hierro, litio o zinc por aluminio en la capa octaédrica. Estos intercambios producen una carga negativa neta relativamente grande en el mineral, ocasionando una gran capacidad de intercambio catiónico y afinidad por el agua.

La meteorización de minerales arcillosos montmorilloníticos produce a menudo arcillas caoliníticas; en áreas en donde la meteorización ha progresado ambos minerales se encuentran presentes.

La montmorillonita, el mineral arcilloso mas activo de los que se ha enumerado, se forma en ambientes húmedos y de escaso drenaje; en Colombia se encuentra en la cordillera central y en la región norte.

La bentonita es una arcilla montmorillonita que se encuentra en depósitos volcánicos fácilmente meteorizados; es particularmente activa en términos de expansión en presencia de agua, se usa en la perforación de pozos petroleros y en la exploración de suelos como lodos de percolación.

Las propiedades de la bentonita son variables de acuerdo al origen y grado de meteorización del material volcánico original. En el país se encuentra en el Valle del Cauca.

Plasticidad de la arcilla

La plasticidad es quizás la propiedad de la arcilla que mas interesa en la fabricación de materiales cerámicos y se define como la propiedad del suelo al agregarle agua de formar una masa suave y manejable; una vez cocida a una determinada temperatura, pierde esta propiedad.

Cuando la masa es muy plástica aproximadamente un 80% de arcilla, se denomina grasa; en este caso la superficie tiende a secarse y agrietarse; se corrige echando material no plástico (arena, polvo de roca, etc). Cuando la masa es poco plástica, aproximadamente 40% de arcilla, se denomina árida o magra, se corrige quitando material no plástico mediante tamizado. La arcilla destinada a la fabricación de materiales para la construcción no debe ser ni muy magra ni muy grasa.

- Las arcillas al ser cocidas sufren los siguientes procesos:

- A una temperatura entre 100 y 250°C se elimina el agua higroscópica adquiriendo porosidad.
- Entre 250 y 600°C pierden el agua de absorción y sufre una disociación del sílice y la alúmina.
- Entre 600 y 800°C adquieren propiedades puzolánicas.
- De 800 a 1200°C, las arcillas calizas eliminan el anhídrido carbónico con gran retracción hasta en 10%.
- De 1200 a 1500°C se vitrifican.

Los productos cerámicos que se obtienen mediante cocción de la arcilla se clasifican en:

a) Simples, son aquellos que se obtienen con un sólo fuego y no tienen vidriado, y a su vez se clasifican en:

- Ordinarios: ladrillos, tejas, baldosas y tubos sin vidrear, fabricados con arcillas impuras.
- Refractarios: se fabrican con arcillas aluminosas libres de óxidos; soportan altas temperaturas sin quemarse ni fundirse, como los ladrillos y placas para revestimientos de hornos y chimeneas.

b) Compuestos: materiales cerámicos que se fabrican con dos fuegos con recubrimiento o esmalte, pueden ser:

- Gres: se fabrican con arcillas carbonosas; con el fuego adquieren estructura compacta; no tienen recubrimientos, como los tubos para la conducción de ácidos.
- Porcelana: se fabrican con arcillas ricas en caolinita, funden a 1400°C se vitrifican y se emplean en la fabricación de vajillas, piezas decorativas, aisladores eléctricos, etc.
- Mayólicas: se fabrican con arcilla calcárea y arena, con el vidreado se impermeabilizan; se usan para fabricar piezas decorativas y para recubrimiento.

Características

Comúnmente los materiales cerámicos son:

- duros
- frágiles
- alto punto de fusión
- bajas conductividades eléctrica y térmica
- adecuadas estabilidades química y térmica
- altas resistencias a la compresión, tensión y flexión.

Ventajas

- a) Tienen diversidad de usos: para rayos láser, motores de combustión, elementos de control, elementos para purificación de gases, etc.
- b) Presentan un buen desempeño funcional.
- c) Son durables.
- d) Poseen una versatilidad en servicios.

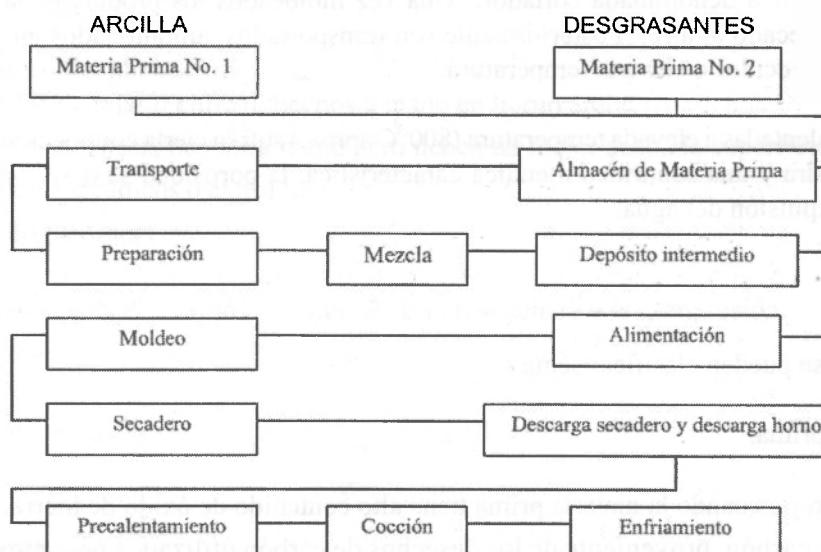
LADRILLOS

Son elementos constructivos en forma de prisma rectangular que pueden ser de arcilla cocida o arcilla cruda; a estos últimos se les llama adobes y sólo son utilizados en cercas o construcciones pequeñas, tienden a ser reemplazados por los bloques o por los ladrillos cocidos.

Hoy en día se utiliza el adobe reforzado con fibras naturales, como fique, poliéster o paja; también se hacen mezclando la arcilla con un 5% de cemento con el objeto de dar mayor resistencia.

Producción

ESQUEMA DE PRODUCCIÓN



Generalmente la materia prima no se presenta preparada para el uso, sino que se necesita tratamientos adecuados de excavación, de molturación, de mezclado con diferentes materiales y frecuentemente también con agua. El modo de presentarse la materia prima y el tipo de yacimiento (profundidad de las excavaciones, irregularidades de estratificación), así como la compacidad y mezcla con material extraño nocivo, el grado de humedad natural, etc., definen los tipos de máquinas que se pueden emplear para la extracción.

En el proceso de preelaboración, la dureza de uno o más componentes, las dimensiones con las que puede venir del yacimiento, la mayor o menor dificultad de absorber los contenidos de humedad necesarios, lleva respectivamente a la elección de ciertas máquinas de moliuración y a establecer el tiempo necesario de reposo antes del moldeo. Este tipo de reposo se conoce con el nombre de meteorización (preenvejecimiento) que se realiza antes de ser llevado al pudridero.

El envejecimiento o maduración es un proceso bastante importante porque afecta positivamente la calidad de la arcilla pues reduce la temperatura de cocción entre 65 y 70°C, disminuye la contracción total, se ahorra entre un 8 y 10% de combustible, se tiene menos desechos y se aumenta la resistencia mecánica en seco y cocido, al mismo tiempo que se disminuye la porosidad de la pieza cocida.

El tiempo de maduración y los efectos logrados varían según el tipo de arcilla.

El material se pasa luego por una sucesión de molinos (trituración y molienda) que le dan al grano de arcilla las dimensiones apropiadas para su propia manipulación.

La materia básica para la fabricación del ladrillo, es una mezcla, más o menos natural de arcilla y otros componentes, salvo casos excepcionales la mezcla fina se prepara con porcentajes de humedad variable en función de la materia prima, de los tipos de producción deseados y de las máquinas empleadas. El agua proporciona a la mezcla plasticidad.

La pasta sale del molde en forma continua, y se corta en piezas de longitud preestablecida por una máquina automática denominada cortador. Una vez moldeados los productos, la humedad se extrae mediante el secado al aire. Posteriormente son transportados, amontonados en pilas de gran altura en el horno y cocidos a elevada temperatura.

Las arcillas calentadas a elevada temperatura (800°C aprox.) sufren cierta contracción, adquiriendo la dureza de la piedra y una sonoridad metálica característica, la porosidad se deriva de los huecos resultantes de la expulsión del agua.

Clasificación

Los ladrillos se pueden clasificar según:

- La materia prima.
 - a) Cerámica roja, cuando la materia prima tiene alto contenido de óxido de hierro.
 - b) Escoria de carbón, proveniente de los desechos de carbón utilizados para mover turbinas; contienen escoria propiamente dicha y Fly-ash o ceniza fina; no son plásticas, por lo que hay que adicionarle entre un 5 y 15% de arcilla plástica para el moldeo.

El ladrillo fabricado con estas escorias presenta algunas ventajas frente al ladrillo convencional, a saber:

- Bajas absorciones, baja porosidad, por la alta presión en la fabricación.
- Alta resistencia a la compresión.

- No presenta eflorescencia pues no contiene sales solubles.
- Bajas retracciones por la humedad de moldeo, (7-8%) por lo tanto uniformidad en el tamaño y economía en el repollo.
- Costos muy bajos de producción debidos a la materia prima, al secado y a la cocción.
- Beneficios ecológicos.

c) Silíceos - Calcáreos, son hechos con material resultante de la combinación de materiales puzolánicos, cal y agua.

- Forma.
 - a) Macizo o tolete.
 - b) Hueco, con discontinuidades en la matriz, el volumen de los huecos es superior a un 30% del volumen total.

Si las perforaciones son verticales el ladrillo se llama limpio y si son horizontales el ladrillo se llama farol.

- El uso.
 - a) Para interiores, tienen poca resistencia a la intemperie, humedad, sal, viento helado, su temperatura de cocción es entre 800 y 900°C.
 - b) Para exteriores, temperatura de cocción entre 1000 y 1050°C, tienen alta resistencia a la intemperie y se usan en fachadas.
- El proceso de fabricación.
 - Ladrillos de tejar o chircal, hechos a mano en horno árabe.
 - Ladrillos de mesa, hechos a mano pero tienen un mejor acabado superficial.
 - Ladrillos mecánicos o extruidos.
 - Ladrillo prensado.
- Según norma NTC No.451 de acuerdo a su resistencia a la compresión.
 - Tipo I.
 - Tipo II.
 - Tipo III.
- Por su cocción.
 - Adobe, seco al sol.
 - Santo vitrificado, por exceso de cocción son deformados y negruzcos.
 - Escafilado, parcialmente vitrificado con parches.
 - Recochos, son aquellos sometidos a una cocción correcta.
 - Pitones, presentan manchas pardas y rojizas por la poca uniformidad en la cocción.
 - Porteros, poco cocidos por su ubicación en el horno.

TABLA No. 29. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA FLEXIÓN

TIPO	RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN kg/cm ² ÁREA O SECCIÓN BRUTA			
	PROMEDIO DE 5 UNIDADES		INDIVIDUAL	
	MACIZO	HUECO	MACIZO	HUECO
Tipo I	300	70	250	60
Tipo II	200	50	150	40
Tipo III	80	40	60	30

TIPO	ABSORCIÓN %	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN kg/cm ²
Tipo I	12	40
Tipo II	16	30
Tipo III	20	20

- Densidad: La densidad promedio para un ladrillo macizo es de 1,75 g/cm³ y para un hueco es de 1 g/cm³.

A simple vista un buen ladrillo se reconoce por las siguientes características:

- no tiene grietas.
- uniformidad en el color.
- sonido metálico.
- masa es homogénea.
- aristas vivas, es decir bien definidas.
- formas y dimensiones iguales.
- no es muy frágil.
- no es muy poroso.
- presenta facilidad de corte.
- no tiene alabeo.

Propiedades químicas

Los ladrillos tienen resistencia a la humedad o acción química del agua, y a la acción de sales y ácidos asociados. Esta resistencia depende de:

- temperatura de cocción.
- porosidad.
- intensidad en la sintetización, es decir, intensidad en la soldadura a nivel molecular.
- propiedades químicas de la arcilla.
- permeabilidad.

Las características de un ladrillo con buena resistencia química son:

- absorción entre 6 y 7%
- resistencia mecánica a la compresión muy alta.
- una pérdida de masa por disolución no mayor del 3%, cuando se coloca en ebullición, por una hora en ácidos concentrados.

Estos ladrillos se utilizan en torres para ácidos, ductos para la conducción de gases, calderas, etc. En general, el ladrillo común no tiene buena resistencia química.

PATOLOGÍAS DEL MATERIAL CERÁMICO COMO ACABADOS DE FACHADA

En la superficie de los ladrillos colocados a la vista y en los enchapes, frecuentemente aparecen manchas de diferentes colores y formas que si bien no producen daño físico en éstos, si distorsionan y afean la apariencia estética de todo el conjunto.

De acuerdo con su origen y apariencia, a estas manchas se les dan distintos nombres: exudados, eflorescencias, salitres, natas, musgos, hongos, etc., pero hay que considerar que lo importante no es el nombre sino la causa que lo produce y la forma de evitarlas o eliminarlas.

En términos generales se puede decir que estas manchas son producidas por sales, musgos, materia orgánica, mugre, microorganismos y reacciones químicas que a su vez producen sales; pero el agua es el elemento nocivo que produce estos males.

Cabe anotar que la porosidad del material cerámico, definida como dimensiones y distribución de los poros, modifica mucho la aparición de estos fenómenos.

Por sales

Cuando las manchas son el resultado de las sales solubles que se encuentran en la mampostería, éstas pueden provenir del mortero, del material cerámico o de ambos materiales; generalmente son de color blanco.

Si provienen del mortero son sales solubles de calcio que son componentes del cemento o de la cal que se agrega como aditivo, o del agua de preparación.

En el caso de que las sales estén contenidas en el material cerámico, pueden tener su origen en la materia prima, en el proceso de producción o haber sido absorbidas por éste cuando se arruma sobre suelos salinos, cenizas, desechos orgánicos o inorgánicos, residuos que contengan salitres etc.

Hay que tener en cuenta que estas sales se disuelven en el agua con que se mojan los ladrillos y son arrastradas a la superficie, donde al evaporarse, quedan en forma sólida dando lugar a las manchas de color blanquecino generalmente y se denominan en forma genérica como eflorescencias.

Son muchos y complejos los factores que influyen en la formación de manchas, ya que los elementos bajo las mismas condiciones de calidad, fabricación y puesta en obra pueden presentar:

- Manchas que cubren completamente la cara del ladrillo.
- Manchas que afectan solamente las juntas del mortero y el borde del ladrillo.
- Manchas anulares en las caras de los ladrillos.
- Manchas en el centro de las caras de los ladrillos.

El agua es el factor principal y necesario para que las manchas se formen.

Por microorganismos y materia orgánica

Estos elementos producen manchas de color oscuro y en su desarrollo es imprescindible la presencia de agua, es decir, se desarrollan en medios húmedos.

La materia orgánica puede venir del agua de preparación del mortero, impurezas de las materias primas, de los ladrillos (raramente) y de la atmósfera. La materia orgánica con la humedad del muro es transportada a la superficie en los dos primeros casos y se adhieren al muro en el tercero. Debido a su permanente exposición al aire, se oxida produciendo su color oscuro característico. Estas condiciones de humedad en elementos con saturación permanente y en sitios sombreados, propician el desarrollo de organismos vegetales como algas, hongos, líquenes (lama) etc.

Por mancha de vanadio (verde-amarillenta)

El vanadio es una impureza que se encuentra en algunos yacimientos de arcilla y aunque, generalmente, su proporción es baja, ocasiona manchas bastante visibles en los elementos producidos por esta arcilla.

Generalmente, hace su aparición en el centro de la pieza inmediatamente el elemento arcilloso es retirado de los hornos, inicia su etapa de reabsorción, principalmente, cuando el ambiente posee una humedad relativa considerable, que oscila entre el 0.5 y 3%.

Para proteger el material cerámico utilizado como fachada, se deben emplear productos hidrófugos e impermeabilizantes.

Los hidrófugos son los productos que tienen la propiedad de repeler el agua. En nuestro medio los más utilizados son las siliconas en sus distintos tipos. Cuando se impregna una superficie con un hidrófugo, éste no sella los poros sino que los reviste interiormente y por lo tanto permite que el agua contenida en el mismo salga al exterior hasta equilibrar la presión de vapor de agua del interior con la presión del vapor de agua de la atmósfera.

Los impermeabilizantes son productos que tienen la propiedad de impedir que el agua penetre a través de la superficie sobre la que se aplica, debido a que forma una película continua que sella los poros.

A este tipo de material pertenecen el alquitrán, la brea, las resinas acrílicas, y cierto tipo de pinturas etc.

VIDRIO

Es otro de los materiales cerámicos usados comúnmente en la construcción, es un material compacto, homogéneo, transparente y muy resistente a la acción de los agentes atmosféricos.

La fabricación del vidrio está basada en las propiedades del cuarzo, que mezclado con la potasa y la sosa le dan la transparencia, inalterabilidad y resistencia a las temperaturas elevadas. Con el silicato de potasio y óxido de plomo se obtiene el cristal; con el silicato de sodio y la cal se obtiene el vidrio común y con el silicato de potasio y la cal se obtienen vidrios resistentes a altas temperaturas. En general, los vidrios y cristales son mezclas de silicatos de sodio y potasio con pequeñas cantidades de magnesio, aluminio y óxidos de hierro y manganeso.

Propiedades físicas y mecánicas

El vidrio no posee punto de fusión fijo, sino temperatura de reblandecimiento; a rojo blanco es muy fluido prestándose para el calado en moldes; al descender al rojo cereza pasa al estado plástico; cuando esta licuado puede soplarlo, moldearse y estirarse.

Su peso específico promedio varía entre 2,40 - 2,72. Su dureza y brillo aumentan con el contenido de cal y disminuyen con el óxido de plomo; su dureza, en la tabla de Mohs varía entre 4 y 8.

El módulo de elasticidad es de 700000 kg/cm² y la tensión de seguridad es de 25 kg/cm².

Su resistencia a la compresión y a la flexión es de 125 kg/cm². Sin embargo, su resistencia depende en gran parte del estado de su superficie, rayones, daños físicos y ataques químicos, la reducen considerablemente.

La Tabla No.30 resume el máximo esfuerzo a que puede estar sometido cada tipo de vidrio, para un porcentaje de ruptura no superior al 1% en vidrios de 4 mm de espesor.

TABLA No.30. ESFUERZO MÁXIMO SEGÚN TIPO DE VIDRIO

TIPO DE VIDRIO	CARGA PERMANENTE	CARGA MOMENTÁNEA
Vidrio plano estirado	2200 Lb/pul ²	4500 Lb/pul ²
Vidrio plano flotado	1500 Lb/pul ²	3000 Lb/pul ²
Vidrio plano pulido	1400 Lb/pul ²	2500 Lb/pul ²
Vidrio plano grabado	1100 Lb/pul ²	2100 Lb/pul ²

El vidrio conserva un tinte verdoso, visible en el corte. El cristal es mas puro, incoloro, transparente y brillante.

Propiedades acústicas

Las propiedades acústicas se refieren a la capacidad que posee el vidrio de detener o disminuir la intensidad de un ruido.

Una lámina de vidrio tiene una capacidad de aislamiento relativamente bajo. En la Tabla No.31 se dan los aislamientos acústicos en función de algunas dimensiones de la lámina de vidrio, estos valores pueden incrementarse usando vidrios laminados o unidades dobles o triples de vidrio, separadas por cámaras de aire.

TABLA No. 31. AISLAMIENTOS

ESPESOR NOMINAL (mm)	ALTURA FIJA (cm)	ANCHO VARIABLE (cm)	PESO kg/m ²	TOLERANCIA ESPESOR (mm)	AISLAMIENTO ACÚSTICO (decibéles)
2	240	100	5.20	1.8 a 2.2	26
3	240	140	7.21	2.7 a 3.2	27
4	240	180	9.52	3.7 a 4.2	28
5	240	200	12.07	4.6 a 5.2	29
6	240	240 320	14.60	5.6 a 6.3	30
7	240	260 280 300 360	16.09	6.6 a 7.3	31
10	240	225	23.37	9.2 a 9.8	33

Expansión térmica

El coeficiente lineal de expansión térmica para el vidrio por variación de temperatura en grados centígrados es de 8.5×10^{-6} dilatación relativamente baja. Esta dilatación debe tenerse en cuenta cuando se instalan vidrios en marcos metálicos, para evitar la rotura de los vidrios como resultado de la contracción o dilatación de los marcos.

La tabla No.32 presenta la expansión térmica para algunos materiales empleados en la construcción.

TABLA №.32. EXPANSIÓN TÉRMICA

MATERIAL	EXPANSIÓN TÉRMICA x °C
Plástico acrílico	90×10^{-6}
Aluminio	24×10^{-6}
Hierro fundido	11×10^{-6}
Concreto	$9 \text{ a } 12 \times 10^{-6}$
Acero	12×10^{-6}
Ladrillo	$9 \text{ a } 10 \times 10^{-6}$
Vidrio	8.5×10^{-6}

Producción del vidrio

Para la fabricación se siguen las siguientes etapas:

- a) Preparación de la mezcla.
- b) Fusión.
- c) Extracción de impurezas.
- d) Elaboración
- e) Recocido.

En Colombia se produce el vidrio plano estirado, utilizando el proceso Fourcault. En este proceso el vidrio es estirado verticalmente y en forma continua desde el Debiteusse (bloque refractario que flota sobre el vidrio fundido), hasta las máquinas en donde es cortado en diferentes medidas. La temperatura del vidrio y la velocidad de las máquinas definen el espesor de la lámina. Durante el recorrido desde el Debiteusse hasta la máquina cortadora el vidrio es sometido a un proceso de recocido que le permite ser cortado fácilmente.

Aunque los vidrios producidos por este proceso son de gran calidad, hay algunas limitaciones en medidas y espesores y pueden presentar cierto grado de ondulación.

Existen otros procesos para la fabricación del vidrio tales como: Vidrio soplado. El soplado del vidrio se hacía antiguamente por expertos operarios, pero en la actualidad se dispone de máquinas especiales para el efecto. La masa fluida se coloca en el extremo de un caño y se sopla, luego se coloca la ampolla dentro de un molde y se produce la forma deseada. Para producir vidrio plano por soplado de esta manera se corta la ampolla una vez enfriada según una generatriz y se vuelve a calentar para desarrollarla y aplatarla sobre una plancha metálica muy pulida.

Vidrio colado, se obtiene laminando una masa de vidrio en estado pastoso entre un cilindro y una plancha metálica muy pulida.