

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA  
"JOSE SIMEON CAÑAS", UCA  
Departamento de Mecánica Estructural, Apartado Postal (01)168, Autopista Sur, San Salvador, El Salvador, América Central

**Materia: MATERIALES DE CONSTRUCCION**

## GUIA DE CLASES No. 8 MATERIALES DE CONSTRUCCION



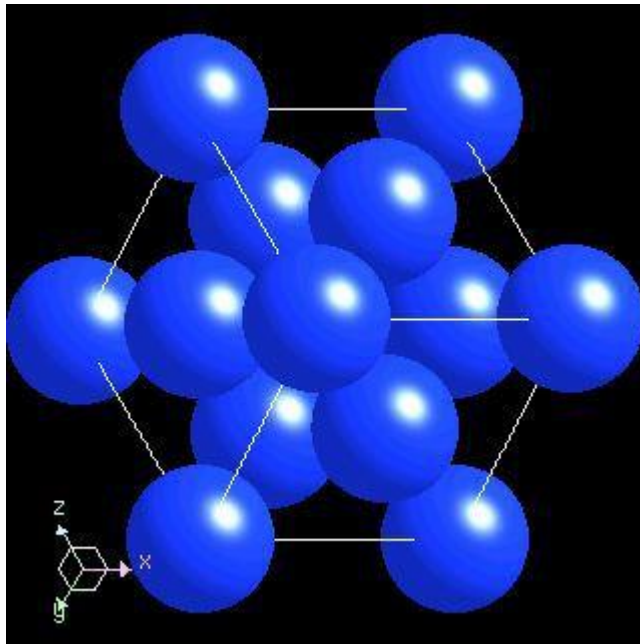
### 6. Materiales inorgánicos.

#### 6.1. Compuestos cerámicos.

<http://paginas.ccm.itesm.mx/~masanche/download/ceramicos.ppt#257,3,Introducción> (mayo 2006)

Los compuestos cerámicos son materiales orgánicos, no metálicos, formados por elementos metálicos y no metálicos, enlazados principalmente por enlaces iónicos, y algunas veces covalentes.

Sus enlaces iónicos o covalentes les confieren una alta estabilidad y son resistentes a las alteraciones químicas. A temperaturas elevadas pueden conducir iónicamente, pero muy poco en comparación con los metales. Son generalmente aislantes. Tienen una amplia gama de propiedades mecánicas, sin embargo, su comportamiento mecánico real suele ser menos predecible que el de los metales, por eso su uso en aplicaciones críticas es muy limitado. Los materiales cerámicos no son tan simples como los metales, sin embargo pueden clasificarse y estudiarse en función de sus estructuras cristalinas, que suelen ser más complejas que las estructuras BCC y FCC. Por ejemplo, los cerámicos pueden adoptar estructuras del tipo Hexagonales, como la figura que se presenta a continuación correspondiente al SiO<sub>2</sub>



Otros patrones cristalinos que pueden adoptar los materiales cerámicos son: Tetragonal Ortorrómbico, monocíclico, tricíclico, y romboédrico.

Los compuestos cerámicos son duros, frágiles, con baja tenacidad y ductilidad, buenos aislantes térmicos y eléctricos, elevada temperatura de fusión y gran estabilidad química.

Se clasifican en CERAMICOS TRADICIONALES, como la arcilla, sílice y feldespato; y CERAMICOS DE USO ESPECIFICO PARA INGENIERIA, que son compuestos de alta pureza como el aluminato tricálcico  $AL_2O_3$  usado en el cemento Pórtland.

## 6.2. Arcilla y sus productos.

<http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm#introd> (mayo 2006)

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

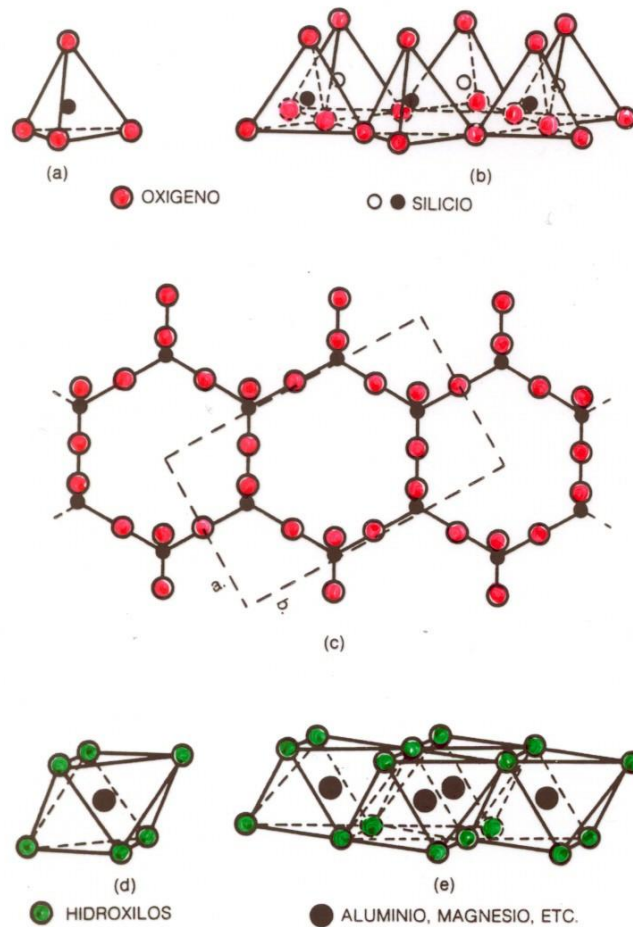
- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), en su mayor parte compuestos que contienen silicatos en forma laminar (filosilicatos), cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 0.02 mm).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico (fragmentos de rocas), con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 0.02 mm.
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.

Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 0.02 mm. Según esto todos los compuestos a base de silicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu\text{m}$ .

La unidad estructural básica de los filosilicatos son tetraedros de silicio y oxígeno  $(\text{SiO})_4^{4-}$  (Figura 1a). Dichos tetraedros se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$  (capa tetraédrica), que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos, como puede verse en las figuras 1b y 1c. El silicio tetraédrico puede estar sustituido, en parte, por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ . Estas sustituciones isomórficas dan lugar a cargas libres.

Los oxígenos del cuarto vértice del tetraedro (oxígenos sin compartir u oxígenos apicales), se dirigen perpendicularmente a la capa y forman parte de una capa octaédrica adyacente, formada por octaedros de grupos  $\text{OH}^-$  que se unen compartiendo las aristas (fig. 1 d y e).



**Figura 1**

Los cationes de la capa octaédrica son, generalmente,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  o  $Fe^{3+}$  y más raramente Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encuentran sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos  $(OH)^{-}$  de la capa octaédrica, de forma que, en este plano, quede un  $(OH)^{-}$  en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los  $(OH)^{-}$  son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (Figura 2).

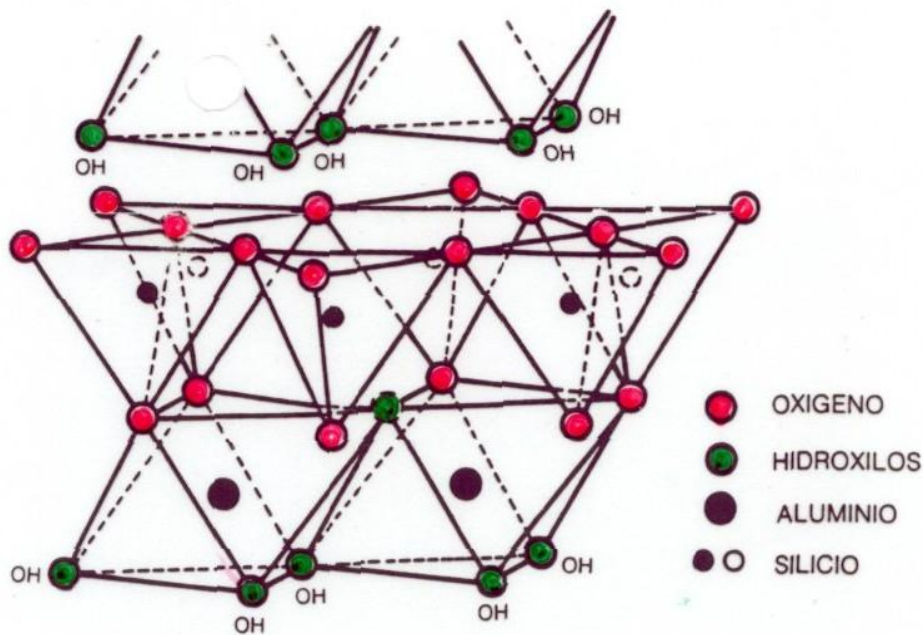


FIG. 2. Estructura ideal de un filossilicato 1:1 dioctaédrico.

Las importantes aplicaciones industriales de las arcillas radican en sus propiedades fisico-químicas que son consecuencia de su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a  $2 \mu\text{m}$ ) y su morfología laminar (filossilicatos)

Como consecuencia de estos factores, pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades hidrodinámicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga eléctrica en las láminas es también la base de muchas aplicaciones industriales.

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad, también tienen una alta capacidad de intercambio catiónico, que se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar o en los canales estructurales

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente

de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de algunas arcillas, y es crucial en los diferentes usos industriales. La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.)

En general al primer tipo (las que se utilizan en construcción) se las denomina **arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes**, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo...). Se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados.

Al segundo tipo se las denomina **arcillas especiales**, son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

Las arcillas especiales se pueden dividir en caolines y arcillas caoliníferas, y bentonitas, sepiolita y paligorskita. (más información en: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm#introd>, mayo 2007)

## PROPIEDADES FISICAS DE LA ARCILLA

<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/>

<b>PLASTICIDAD</b>	Se define como la capacidad de adquirir y retener una nueva forma cuando se moldean. Las arcillas suelen poseer un alta plasticidad.
<b>ATRACCION CAPILAR</b>	Es la representación de la fuerza en la superficie entre el aire y el agua, que actúa paralelamente a la superficie del agua. Permite que las laminillas se mantengan en su posición y esta atracción será mayor en el momento que las laminillas se ponen en contacto.
<b>COHESION</b>	Se puede definir como la adherencia entre las partículas del suelo debida a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares. La cohesión puede observarse en un suelo si las partículas de éste quedan adheridas entre sí
<b>CONTRACCION</b>	Se define como el cambio de volumen que sufren los suelos, cuando son sometidos a cambios en su contenido de humedad. Se da por una desecación del agua de amasado y su grado de plasticidad
<b>ABSORCION</b>	Propiedad que mide la cantidad de agua retenida, que es capaz de incorporar un material hasta llenar completamente sus poros, después de permanecer sumergido en agua. La absorción en las arcillas varía entre un 20% y 70%. Además

	de agua son capaces de absorber aceites, materias colorantes, etc.
<b>PESO ESPECIFICO</b>	Se define como el peso de una sustancia comparado con el peso de un volumen igual de agua. Es el peso de la unidad de volumen del material. Es aproximadamente de 2.10.
<b>PESO VOLUMETRICO</b>	Es la relación entre el peso de un material y el volumen del recipiente que lo contiene. <ul style="list-style-type: none"> <li>• En su estado seco tiene el valor aproximado de 1010 kg/m<sup>3</sup>.</li> <li>• En su estado húmedo posee el valor aproximado de 1760 kg/m<sup>3</sup>.</li> </ul>

## PROPIEDADES MECANICAS

El proceso de endurecimiento o de alcanzar resistencia a la compresión, se debe generalmente a reacciones químicas, aunque en la arcilla utilizada como suelo de cimentación, esta propiedad es esencialmente física, ya que la materia coloidal que contienen en estado de gel sueldan a las partículas entre sí.

### 6.3. Mampostería.

#### 6.3.1. Tipos de mampostería

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes%5Cmanizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/MAMPOSTERIA%20ESTRUCTURAL.htm> (mayo 2006)

La mampostería es la unión de bloques o ladrillos de arcilla o de concreto con un mortero para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento.

Inicialmente la mampostería se hizo con piedra labrada que se unía mediante una "argamasa" de cal o aún "al tope". Este material fue ampliamente usado en la antigüedad por los romanos para construir sus puentes y acueductos. En el conocido acueducto de Segovia en España, los bloques de piedra, cortados al detalle se unen sin argamasa.

Modernamente, se aprovechan los ladrillos de arcilla y los bloques de concreto de gran resistencia, unidos mediante morteros de cemento. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables.

La mampostería puede tener refuerzo en forma de varillas y entonces se denominará mampostería reforzada, cuando las varillas se introducen por los huecos de los ladrillos y se anclan con concreto de relleno; y mampostería confinada, en la que el refuerzo se coloca en elementos de concreto (vigas y



columnas de amarre), situados en la periferia del muro. La norma NSR-98 autoriza la mampostería de cavidad reforzada, aún no usada en el país, aunque sí muy conocida en la literatura técnica.

**Mampostería con refuerzo integral.** Es la mampostería con refuerzo embebido en celdas rellenas, conformando un sistema monolítico. También tiene refuerzo horizontal cada cierto número de hiladas. El refuerzo se usa para resistir la totalidad de las fuerzas de tensión y ocasionalmente, para resistir los esfuerzos de compresión y cortante que no pueda resistir la mampostería simple.

**Mampostería confinada.** Es la mampostería con elementos de concreto reforzado (vigas y columnas de amarre), en su perímetro, vaciados después de construir el muro de mampostería simple.

**Mampostería simple o no reforzada.** Es el tipo de mampostería estructural sin refuerzo. Los esfuerzos dominantes son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas horizontales. La NSR-98 las prohíbe explícitamente para las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia. Por esta condición ya no se usan en nuestro medio.



Figura 3 edificio multifamiliar en mampostería reforzada

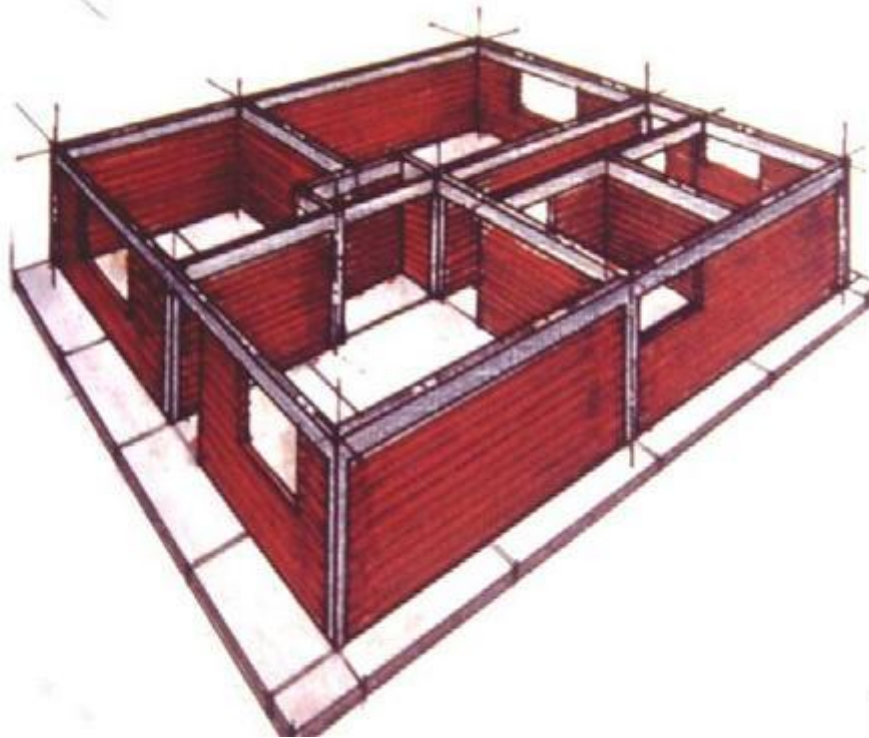


Figura 4 Esquema estructural de casa unifamiliar en mampostería confinada,

### 6.3.2. Ladrillo de arcilla <http://dei.uca.edu.sv/mecanica/>

Los bloques de arcilla cocida son una unidad hueca o sólida de mampostería, que poseen alta resistencia estructural, debido a que son diseñados para ser utilizados en la construcción de paredes destinadas a soportar cargas. Estas paredes pueden ser tanto exteriores como interiores. Su forma típica es la de un prisma rectangular endurecido por el calor.

La mampostería de arcilla es manufacturada siguiendo especificaciones estándares establecidas por instituciones internacionales, en este apartado se considera lo establecido por la norma ASTM y el código UBC.

#### CLASIFICACION

Se pueden encontrar tres tipos de unidades de mampostería de arcilla:

##### ➤ **Ladrillo sólido**

La norma ASTM C62 establece que las unidades sólidas serán aquellas en que su relación entre el área neta y el área gruesa, en cualquier plano paralelo a la superficie que servirá como cama para el mortero, es superior a 0.75.

La norma ASTM y el código UBC clasifican a las unidades sólidas de arcilla por el grado, el cual depende de las condiciones climatológicas a las que estará expuesto, y se detallan a continuación:

GRADO SW	Ladrillo sometido a condiciones severas de humedad e intemperie o a congelamiento de las unidades cuando se saturan con agua. $F_u = 0.175 \text{ kg/cm}^2$ sobre área bruta
GRADO MW	Ladrillo sometido a condiciones moderadas de humedad e intemperie. $F_u = 154 \text{ kg/cm}^3$ sobre área bruta
GRADO NW	Ladrillo que presenta poca resistencia a daños ocasionados por la humedad e intemperie, pero aceptable su uso con la debida protección. $F_u = 87.5 \text{ kg/cm}^3$ sobre área bruta

- **Ladrillo con acabados decorativos**

Estos ladrillos son utilizados como revestimientos o donde la apariencia de la superficie (acabado) de los ladrillos es un requerimiento.

Según la norma ASTM C216 y el código UBC21-1 este tipo de ladrillo se clasifica en grados, el cual depende a las condiciones climatológicas a la que estará expuesto y en tipos.

Las unidades de ladrillo con acabados decorativos se clasifican en dos grados:

GRADO SW	Ladrillo sometido a condiciones severas de humedad e intemperie o a congelamiento de las unidades cuando se saturan con agua.
GRADO MW	Ladrillo sometido a condiciones moderadas de humedad e intemperie.

Las unidades de ladrillo con acabados decorativos se clasifican en tres tipos:

TIPO FBS	Ladrillo para uso general en paredes expuestas al exterior, en paredes interiores y divisiones, donde las variaciones de tamaños están requeridos en el tipo FBX.
TIPO FBX	Ladrillo para uso general en paredes expuestas al exterior, en paredes interiores y divisiones, donde el alto grado de perfección mecánica y la variación mínima permisible de tamaño están requeridas.
TIPO FBA	Ladrillo manufacturado y seleccionado para producir efectos característicos de arquitectura resultantes de no uniformidad de tamaño y textura de unidades individuales.

- **Ladrillo hueco**

Las unidades huecas son aquellas en las que la relación entre al área neta y el área gruesa, en cualquier plano paralelo a la superficie que servirá como cama para el mortero es menor que la especificada para el ladrillo sólido, 0.75.

Las unidades huecas de arcilla según la norma ASTM C652 y el código UBC 21-1 son clasificadas por el grado, el tipo y la clase.

El *grado* de los ladrillos dependerá de las condiciones climatológicas a las que este expuesto.

GRADO SW	Ladrillos huecos utilizado donde se requiere un grado de resistencia alto a la acción de heladas, desintegración por humedad y a la acción por congelamiento debido a la penetración de agua en las unidades. $F_u = 0.175 \text{ kg/cm}^2$ sobre área bruta
GRADO MW	Ladrillo hueco utilizado donde se requiere un grado de resistencia moderado a la acción de heladas y donde es poco probable el congelamiento de las unidades debido a la penetración de agua, cuando están expuestas a bajas temperaturas. $F_u = 0.154 \text{ kg/cm}^2$ sobre área bruta

La clasificación por *tipos* tiene el objeto de diferenciar en los ladrillos los factores que afectan la apariencia en paredes terminadas.

TIPO HBS (Estándar)	Para uso general en paredes interiores y exteriores. El rango de variación en tamaño y color es mayor que el permitido en el HBX.
TIPO HBX (Plus)	Ladrillo hueco para uso general en mampostería donde se requiere mayor grado de precisión y baja variación permisible en el tamaño de lo requerido por el tipo HBS.
TIPO HBA (Arquitectónico)	Ladrillo hueco para uso general en mampostería donde se requiere producir efectos arquitectónicos de características tales como la ausencia de uniformidad en el tamaño y textura de las unidades individuales.
TIPO HBB (Básico)	Ladrillo hueco para uso general en mampostería donde el color, textura, acabado, uniformidad, o límite de fisuras, alabeo u otras imperfecciones que afecten la apariencia no son de consideración.

NOTA: Cuando el tipo de ladrillo no sea especificado, deberá gobernar lo requerido para ladrillo Tipo HBS.

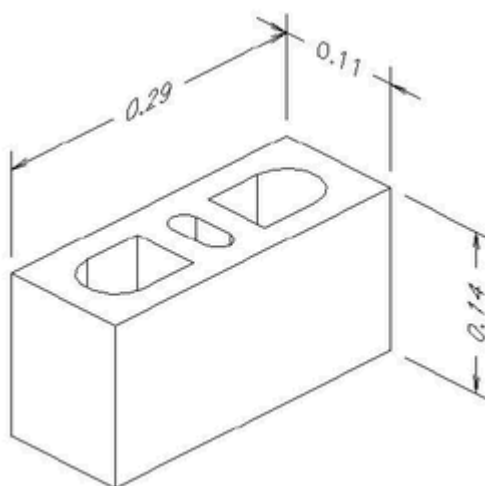
Los ladrillos huecos de arcilla se clasifican en dos clases.

CLASE H40V	Ladrillo hueco donde sus áreas huecas o espacios huecos son mayores del 25%, pero no mayores que el 40%, del área de la sección transversal gruesa de la unidad medida en un plano paralelo que contenga los núcleos, celdas, o ranuras profundas. Los espacios vacíos, el espesor del alma, y el espesor de las celdas deberán cumplir con los requerimientos de la sección de espacios huecos de la norma ASTM C652 y código UBC 21-1.
CLASE H60V	Son los ladrillos huecos donde se requiere que el área de los huecos sea mayor. La suma de estas áreas vacías deberá ser mayor de 40%, pero no mayor que 60%, del área de la sección transversal gruesa de la unidad medida en un plano paralelo que contenga los núcleos, celdas o ranuras profundas. Los espacios vacíos, el espesor del alma, y el espesor de las celdas deberán cumplir con los requerimientos de la sección de los espacios huecos y los requisitos mínimos establecidos por la norma ASTM C652 y el código UBC 21-1.

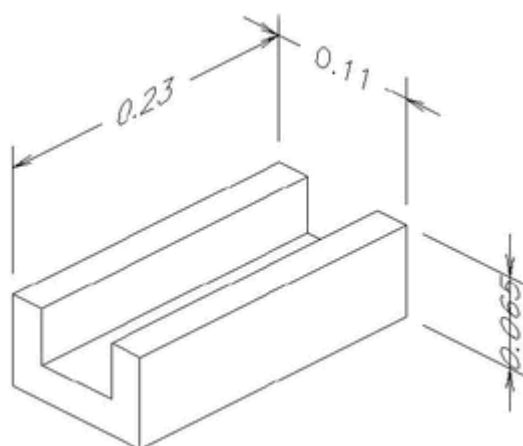
Dimensiones de ladrillos fabricados industrialmente, disponibles en El Salvador:

**INMACO.** <http://www.inmaco.com.gt/Catalogo.htm> (maypo 2006)

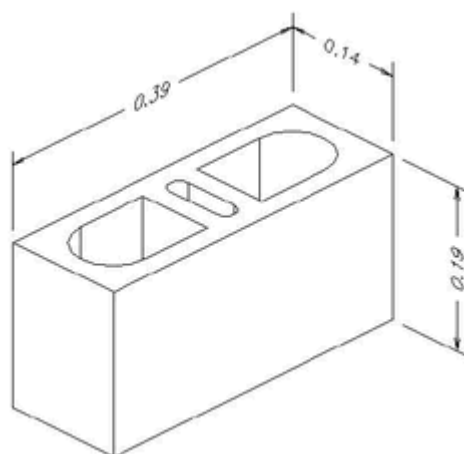
Algunos ejemplos de productos INMACO:



Ladrollo tubular



Bloque solera



Super block

INVESTIGAR:

Productos celoblock

Dimensiones de ladrillos de arcilla artesanal

Usos de la arcilla industrial.