

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



ESTUDIO SOBRE AGLOMERANTES DISPONIBLES

EN LA

REPUBLICA DE GUATEMALA

GUILLERMO ALFONSO FURLAN RALON  
GUATEMALA

1993

BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

ESTUDIO SOBRE AGLOMERANTES DISPONIBLES

EN LA

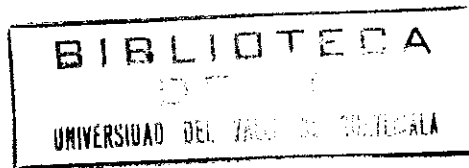
REPUBLICA DE GUATEMALA

GUILERMO ALFONSO FURLAN RALON  
GUATEMALA

1993



ESTUDIO SOBRE AGLOMERANTES DISPONIBLES  
EN LA  
REPUBLICA DE GUATEMALA



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

ESTUDIO SOBRE AGLOMERANTES DISPONIBLES

EN LA

REPUBLICA DE GUATEMALA

GUILLERMO ALFONSO FURLAN RALON

TRABAJO DE INVESTIGACION PRESENTADO PARA OPTAR  
AL GRADO ACADEMICO DE

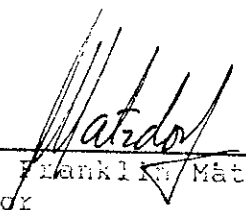
LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL

GUATEMALA

1,993

Vo.Bo. :

(f)

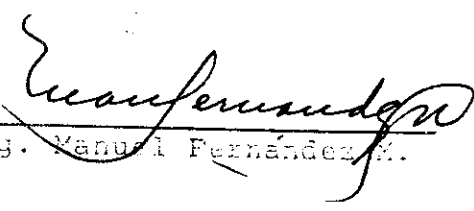
  
Ing. Franklin Matzdorf M.  
Asesor

Tribunal:


(f)

  
Ing. Franklin Matzdorf M.

(f)

  
Ing. Manuel Fernández M.

(f)

  
Ing. Luis Pineda Del Cid.

Fecha de aprobación: 30 de agosto de 1993

## CONTENIDO

|      |   |    |
|------|---|----|
| -I-  | Introducción                                |    |
| -II  | Aglomerantes .....                          | 1  |
|      | A)-Historia.....                            | 1  |
|      | 1)-Cal Hidratada.....                       | 3  |
|      | 2)-Cemento Portland.....                    | 4  |
|      | 3)-Yeso.....                                | 4  |
|      | 4)-Puzolana.....                            | 5  |
|      | 6)-Arcilla.....                             | 6  |
| -III | Aglomerantes de uso frecuente .....         | 9  |
|      | A)- Cal Hidratada.....                      | 10 |
|      | 1)-Clasificación.....                       | 10 |
|      | 2)-Requerimientos químicos.....             | 13 |
|      | 3)-Producción .....                         | 14 |
|      | 4)-Usos de la cal.....                      | 14 |
|      | B)-Cemento Portland y su clasificación..... | 17 |
|      | 1)-Producción.....                          | 19 |
|      | 2)-Usos .....                               | 20 |
|      | C)-Arcilla.....                             | 21 |
|      | 1)-Usos frecuentes de la arcilla.....       | 27 |
|      | i)-Fabricación de adobe.....                | 27 |

|  |    |
|--|----|
| IV Aglomerantes de uso poco frecuente .....              | 29 |
| A) -Yeso.....  | 29 |
| 1) -Producción.....                                      | 29 |
| B) -Puzolanas.....                                       | 30 |
| 1) -Clasificación.....                                   | 30 |
| 2) -Producción.....                                      | 31 |
| 3) -Usos.....  | 36 |
| ii) -Fabricación de bloques.....                         | 36 |
| iii) -Cementos mezclados.....                            | 36 |
| 4) -Aglomerantes de cáscabillo de arroz.....             | 37 |
| 5) -Clasificación de los cementos<br>de mampostería..... | 40 |
| 6) -Requerimientos físicos.....                          | 41 |
| 7) -Cemento portland puzolánico.....                     | 43 |
| i) -Arcilla calcinada.....                               | 45 |
| ii) -Usos de la arcilla como material<br>cementante..... | 46 |
| iii) -Material crudo conveniente.....                    | 47 |
| VI) -Conclusiones.....                                   | 48 |
| VII) -Bibliografía.....                                  | 49 |

## PREFACIO

El motivo por el cual se escogió el tema en el que esta basado este trabajo fue pensando en la diversidad de materiales aglomerantes que hay disponibles en Guatemala, y lo poco conocidos y utilizados algunos de ellos.

## I. INTRODUCCION

Una de las necesidades básicas que todo ser humano debe cubrir es la vivienda. En Guatemala existen millones de personas que no cubren parcial o totalmente esa necesidad debido a muchos factores, pero el principal es el costo de la construcción, debido al alto costo de los materiales que se acostumbraron utilizar en nuestro medio.

Es irónico que viviendo en un país en el que los recursos naturales son tan abundantes y los elementos primordiales para la fabricación de materiales de construcción están prácticamente al alcance de la mano gran parte de nuestro pueblo vive en casas de cartón, lámina galvanizada o fibras naturales. Este trabajo según se va desarrollando muestra como las civilizaciones antiguas, incluyendo las que se asentaron en nuestro territorio, hicieron uso de materiales aglomerantes para edificar viviendas, palacios y templos.

## II-AGLOMERANTES

### A) HISTORIA

El primer material aglomerante que se conoció fue el barro, al que siguió el mortero de cal, y a este el yeso vivo y el cemento KEENE . Las pirámides de Egipto contienen material de yeso (data de hace mas de 3,000 años) lo mismo que el templo de Apolo en Bassae, Grecia. (año 400 A.C.)

El concreto de cemento Portland que hoy se conoce, es una invención nueva, sin embargo Marco Vitrubio Polion (arquitecto romano del siglo I A.C.) conoció ya hace mas de 2,000 años los principios relacionados con la elaboracion de concreto, y que ordinariamente se cree son descubrimientos recientes. Con todo, el cemento puzolánico calcinado volcánicamente y naturalmente cuantificado que conoció Vitrubio, tenía poca semejariza con el cemento portland actual, que es un producto calcinado artificialmente.

Los romanos fabricaron mucho concreto, bastante bueno, aun juzgando las presentes normas, para lo cual se basaron en la antigua forma del cemento natural.

Despues de mucho tiempo, los estudios precursores de John Smeaton cuando se preparaba a reconstruir el faro de Edystone de 1756 a 1759, revivieron el arte del hormigón y pusieron los cimientos para el desenvolvimiento de los cementos hidráulicos artificiales. Se acepta que la patente inglesa de Joseph Aspdin, en 1824, fue la precursora del cemento Portland que hoy conocemos; pero en virtud del descubrimiento en 1813 de yacimientos adecuados de cemento natural que se usaron en la construcción del canal de

Erie, después de 1871, David O. Saylor fundó la primera planta de cemento Portland de importancia industrial en Estados Unidos, en Coplay Pensilvania.

El primer concreto que registra la historia fue hecho por G.W. Bartholomew en Bellefontaine, Ohio en 1891; cabe decir que aún se encuentra en excelente estado. (KIRK-OTHEMER)

A continuación se describe brevemente la historia de algunos aglomerantes, los cuales serán tratados con detalle a lo largo de este trabajo.

#### 1) La cal

La historia no recuerda donde se inició el proceso de producción de la cal. Dado que la temperatura de calcinación para producir la cal es mucho mayor que la del yeso se infiere que fue un proceso descubierto después.

Hay evidencia que los Mayas descubrieron que la piedra caliza calcinada podría endurecerse lentamente, después de ser humedecida y subsecuentemente expuesta al aire. La cal fue producida calcinando piedra caliza en hornos de leña. El mortero usado por ellos fue de cal, barro abundante y probablemente, ceniza volcánica. Aunque los egipcios y los persas usaron morteros de yeso, el mortero de cal no apareció en el viejo mundo hasta pocos años antes de Cristo.

Los mayas hicieron extensivo uso de las paredes masivas, su interior era burdo, mampostería de piedra fracturada cementada con arcilla o mortero de cal, revuelto con pequeñas piedras en una masa homogénea. Una apariencia de mampostería de piedra, ajustada y burda, cubría la superficie, dando la

ilusión de mampostería de pared de bloques. Esta práctica puede ser vista en las estructuras de Tikal, Chichén Itzá y Uxmal.

La cal es producida al calentar la piedra caliza a una temperatura de cerca de 900° centígrados. Es producida de carbonato de magnesio o de calcio, los cuales son minerales abundantes y aparecen en las rocas calizas. Estas pueden aparecer como una roca sedimentaria o metamórfica y así su rango puede variar desde una roca suave como el yeso, a una dura como mármol.

## 2) Cemento Portland

A pesar que los romanos ya conocían, en el año 400 A.C., lo que se puede denominar el primer concreto hecho por el hombre, no fue sino hasta 1756 cuando en Gran Bretaña se pusieron las bases para el desarrollo de los cementos hidráulicos conocidos actualmente.

La primera planta industrial de cemento Portland que se sabe fue montada en E.E.U.U. en 1871. Este es el cemento más importante, aparte de ser el principal componente del concreto, se parece a la cal de Portland Bill, Inglaterra, de allí su nombre.

## 3) Yeso

Es probable que este sea el cemento más antiguo que se conoce, ya que se han encontrado muestras de su uso en las pirámides de Egipto.

El yeso, cuando es puro, es un sulfato hídrico de cal. Cuando no se encuentra en estado puro es frecuente encontrarlo adherido con diferentes cantidades de cal, magnesita, óxido de hierro, aluminio y sal común.

El sulfato de calcio es frecuentemente encontrado en asociación de yeso, lo que se considera contaminante para usarlo de plastificante en construcción.

#### 4) Puzolanas

Algunos arqueólogos han encontrado las primeras evidencias de uso de material puzolánico en morteros producidos, principalmente, con alfarería pulverizada.

Los griegos y romanos conocieron sus bondades, e incluso notaron que al hacer mezcla con cal obtenían propiedades no conocidas, como resistencia al agua de mar, asimismo pudieron hacer construcciones dentro del agua.

La puzolana es un material formado, principalmente, por sílice, amorfo y no posee propiedades cementantes por sí solo, pero al estar finamente dividido reacciona con hidróxido de calcio que, en la presencia de humedad a temperatura normal, forma compuestos insolubles, los cuales sí poseen propiedades cementantes.

A pesar que en países desarrollados existe la puzolana natural, no fue sino hasta hace relativamente poco que apareció en el mercado el cemento Portland mezclado con puzolana.

En países del pacífico del sur se han encontrado puzolanas mezcladas con materiales piroclásticos y materiales vidriosos, lo que demuestra su origen volcánico. Además las puzolanas presentan tierras diatomíticas y algunas rocas síliceas.

De las puzolanas artificiales, probablemente la ceniza (fly ash) es el material más usado alrededor del mundo.

Esta ceniza es el residuo de la combustión de carbón pulverizado en plantas productoras de energía.

La ceniza consiste de un desperdicio sólido el cual es sacado de la cámara en algunos casos, un residuo de ceniza es sacado del fondo de los hornos . En años recientes se ha dirigido la atención a la obtención de puzolanas de cascabillo de arroz, esto en los países del Asia del Sur donde la producción de arroz alcanza varios miles de toneladas.

#### 5) Arcilla

Sin lugar a dudas el más antiguo de los aglomerantes utilizados actualmente es la arcilla. Esto debido a que no necesita de algún proceso más que la presencia de humedad y su posterior secado para funcionar como agente cementante de dos o mas cuerpos. Inclusive hay vestigios de civilizaciones en donde no se unian piezas con la arcilla, sino que la arcilla en si se usaba para moldear las paredes de las edificaciones.

Durante todo el proceso evolutivo de la humanidad son muchos los casos de civilizaciones que se pueden mencionar como ejemplo de la efectividad

de la arcilla en construcción, entre estos casos se puede mencionar a los asentamientos humanos que se dieron entre los ríos Tigris y Eufrates, donde todas las edificaciones eran hechas a base de arcilla.

El culto a los dioses los llevó a hacer grandes templos, los cuales construían con arcilla y madera, al igual que las viviendas comunes de la población. Más al oriente, en la región del Hindu-Kuch se pueden encontrar hoy en día no solo vestigios de estas construcciones, sino que construcciones actuales que siguen el mismo estilo del usado hace miles de años por sus ancestros.

El hecho de las conquistas de pueblos a manos de otros extendió mucho de las costumbres y conocimientos de las civilizaciones dominantes, y no escapa a este rango expansionista las técnicas de construcción. En Palestina, como un ejemplo del uso que se le dió a este material en esa región está el de los famosos muros de Jericó, que no han de haber sido más que murallas levantadas con arcilla.

Así, son muchos los casos que se pueden mencionar de civilizaciones que a su modo emplearon la arcilla como material de construcción. Por ejemplo, en Egipto se usó la arcilla mezclada con arena, con material bituminoso en Caldea o cal en la Mesopotamia.

En otras regiones del mundo también se han identificado vestigios del uso de la arcilla. En Perú se encontró la ciudad precolombina más grande de la América del Sur, Chan-Chan, ocupando un área de  $14 \text{ km}^2$  donde se usó, en su mayoría la arcilla como material de construcción.

En ruinas de ciudades Etruscas, en Italia, se han encontrado pruebas del uso de arcilla, al igual que en ciudades del imperio romano. En el centro de Europa se usó la arcilla como la usaron los romanos, formando bloques y sometiendo a altas temperaturas, para originar los ladrillos que hoy en día conocemos.

Es larga la lista de civilizaciones que conocieron las bondades de la arcilla como material base para sus construcciones, y no podemos dejar de mencionar uno de los más grandes ejemplos de su uso, y este es el de la Gran Muralla China, ya que hay partes de ésta que está construida de bloques de arcilla.

El cocimiento de los ladrillos se perfecciona en la edad media, y para el siglo XII su uso se extiende hacia España, toda Italia, Bizancio y el resto de Europa, de donde pasó a América después de la conquista.

Las arcillas calcinadas tienen una larga historia, ya que desde hace mucho tiempo se les conoce, principalmente en lugares que tienen una antigua civilización, tal es el caso de Egipto, donde se le llamó Homra; en Indonesia se le conoce como Semen Merah, y en la India se le llama Surkhi, de esta última se hará mención más adelante.

### III-AGLOMERANTES DE USO FRECUENTE

Anteriormente se mencionó de forma breve la historia de los aglomerantes más conocidos durante el proceso de evolución de la humanidad, y a continuación se les menciona de nuevo, pero ahora se expondrán los aspectos técnicos de su obtención o fabricación, además de sus usos más frecuentes, y en los casos que corresponda usos poco frecuentes en nuestro medio, como el caso de las puzolanas, donde se podrá apreciar el potencial de este material.

El objetivo de este trabajo no es recalcar lo tantas veces dicho en otros trabajos acerca de materiales tradicionales como el cemento Portland, la cal o el yeso, por lo que no se hace tanto énfasis en técnicas de su uso o de su composición.

#### A) Cal Hidratada

Es un polvo seco, producto del tratamiento de piedra caliza calcinada y con suficiente agua para satisfacer su afinidad química con el agua durante su proceso de hidratación. Esto consiste esencialmente de hidróxido de calcio o una mezcla de hidróxido de calcio y óxido de magnesio o hidróxido de magnesio o ambas (ASTM).

## 1) Clasificación de la cal

Boynton (1966) clasificó la cal así: Rica en calcio y Dolomítica: la primera tiene más del 90% de carbonato de calcio, mientras que la dolomítica contiene entre 40 y 43% de carbonato de magnesio.

Los estándares británicos dividen la cal de la siguiente forma:

### Alta en calcio

Estas son las que contienen la combinación  $Ca+MgO$  en más de 60%, pero menos de 4% de  $MgO$ .

### Cal de magnesio

Estas son las que contienen más del 65% de cal magnesia, pero que debe tener más del 4% de magnesia.

### Cal Semihidráulica

Son esas donde la cal y la magnesia exceden el 60% y que además contienen sílica en más del 5%.

La ASTM clasifica la cal de la siguiente forma:

### TIPO N

Cal normalmente hidratada para usos en mampostería.

### TIPO S

Cal especialmente hidratada para usos en mampostería.

#### TIPO NA

Cal hidratada con entrada normal de aire para usos en mampostería

#### TIPO SA

Cal hidratada con entrada especial de aire para usos en mampostería.

La diferencia entre los términos especial y normal es su habilidad de obtener alta plasticidad temprana y alta retentividad de agua. Algunos códigos de construcción no sugieren el uso de cales con aire atrapado, dado que existe reducción en las capacidades de carga y adherencia en elementos de mampostería, pero, por el contrario, es recomendable en países donde existe deshielo, ya que en esos casos incrementa la resistencia.

## 2) REQUERIMIENTOS QUIMICOS

La cal hidratada para usos en mampostería deberá cumplir los siguientes requerimientos:

|   | N   | NA  | S  | SA |
|---|-----|-----|----|----|
| Oxidos de calcio y magnesio,<br>% mín.  | 95  | 95  | 95 | 95 |
| Dióxido de carbón % máx.<br>Si la muestra es tomada en el<br>lugar de fabricación | 5   | 5   | 5  | 5  |
| Si la muestra es tomada de<br>otro lugar  | 7   | 7   | 7  | 7  |
| Oxidos no hidratados,<br>% máx.   | --- | --- | 3  | 3  |

Los estándares señalan además propiedades físicas para la cal, tales como:

- FINURA
- TRABAJABILIDAD
- RESISTENCIA HIDRAULICA

## 3) PRODUCCION

Después que la piedra caliza se machaca, hasta obtener un tamaño bastante uniforme, se calienta en hornos giratorios a temperaturas mayores de 900° Centígrados. La temperatura particular que se selecciona depende de la pureza de la piedra caliza. El calentamiento produce una reacción llamada calcinación. Cuando la cal viva se hidrata, mezclándola con una cantidad

apropiada de agua, se produce una reacción conocida como apagamiento. Este va acompañada por una producción considerable de calor y un aumento de volumen .

#### 4)USOS DE LA CAL

La mayor parte de la cal se consume en la forma apagada, como ingrediente de mortero o yeso. La mayor parte de mortero que se usa actualmente es de cal y cemento, lo que le da al mortero el doble de resistencia que si se usa sólo cal, aunque únicamente dos terceras partes de fuerte que si se usa solo cemento.

Hay otros usos importantes que se le dan a la cal, tales como:

-Estabilización de suelos.

-Fabricación de bloques de cal y arena o cal y otro material.

-Pintura de cal

Como estabilizador de suelos la cal se utiliza en suelos limosos o arcillosos para construcción de carreteras o cimentaciones. La forma más simple de estabilizar es esparcir la cal sobre la superficie a tratar y mezclarla con el propio suelo, cambiando las propiedades plásticas del suelo haciéndolo más fácil de trabajar y capaz de resistir altas cargas.

Cuando se mezcla con arcilla, la cal absorbe el agua del suelo, y en la presencia de material silíceo la cal forma propiedades cementante. Este proceso se ve acelerado en presencia de altas temperaturas, por lo que es recomendado para climas tropicales como algunas regiones de Guatemala.

Para la fabricación de bloques es deseable el uso de materiales arcillosos, por lo descrito en la parte anterior.

La pintura de cal está formada de cal y agua, la cual puede ser aplicada sobre plastificantes de cal, paredes de ladrillo o muros de tierra. Es fabricada diluyendo cal en agua y para estabilizarla puede ser adherida sal común.

Un uso de gran importancia de la cal es el de los cementos de mampostería, donde la cal es parte componente junto con la puzolana, que se detalla en el capítulo referente a las puzolanas.

## B) CEMENTO PORTLAND.

Hay varios tipos de cemento Portland, entre estos estan:

### -PORTLAND NORMAL (tipo 10)

Este es aplicado en usos generales de construcción, cuando no se indica lo contrario, estos usos generales son entre otros hacer concreto estructural, levantados, pavimentos y otros usos donde no hay presencia de sulfatos.

### -PORTLAND MODERADO (tipo 20)

Este cemento tienen mejor resistencia a la acción de sulfatos que el Portland normal, por lo que es usado ante grandes concentraciones de sulfato, como por ejemplo concentraciones de agua de mar. Otra propiedad importante es que genera tasas más bajas de temperatura que el cemento portland normal.

### -CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA (tipo 30)

Es usado donde se necesitan altas resistencias en periodos cortos, usualmente de una semana o menos.

La composición química del cemento Portland se describe a continuación:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1: SILICATO TRICALCICO        | $3\text{CaOSiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$          |
| 2: SILICATO DICALCICO         | $2\text{CaOSiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$          |
| 3: ALUMINATO TRICALCICO       | $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 = \text{C}_2\text{S}$ |
| 4: ALUMINOFERITO TETRACALCICO | $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{F}_2\text{O}_3$  |

Los porcentajes relativos de estos compuestos pueden ser determinados por análisis químico. Cada uno de los componentes exhibe un comportamiento diferente.

El silicato tricálcico endurece rápidamente y es gran responsable por el acomodo inicial y la resistencia temprana. En general la resistencia temprana del cemento portland aumentara con el incremento del porcentaje de  $C_3S$ .

El silicato bicálcico tiene efectos en el incremento de la resistencia del cemento hasta una semana después de haber sido hecho el concreto.

El aluminato tricálcico contribuye al desarrollo de resistencia en los primeros días, por eso es el principal compuesto a hidratar. Es el menos deseable de los compuestos, dada la generación de altas temperaturas y sus reacciones con determinados suelos y agua con alto contenido de sulfatos. Los cementos hechos con poco  $C_3A$  usualmente generan poco calor y alta resistencia, y muestran gran resistencia al ataque de sulfatos.

El ferroaluminato tetracálcico ayuda en la fabricación de cemento portland debido a que permite usar bajas temperaturas con la escoria, y que contribuye poco a la resistencia aun pensando en una rápida hidratación.

## 1) PRODUCCION

El cemento Portland se obtiene mezclando materiales que aportan calcio (carbonato de calcio en forma de caliza o de yeso) con materiales que aportan sílice y alumina (generalmente barro), moliendo y calcinando la mezcla en un horno rotatorio a aproximadamente 1800 K. Es importante que no quede calcio libre, ya que puede hidratarse y desintegrar el cemento endurecido. La mezcla resultante recibe el nombre de escoria de cemento, y se muele hasta obtener un polvo fino.

## 2) USOS DEL CEMENTO PORTLAND

Por demás está mencionar que el cemento Portland es el principal elemento del concreto, que no es más que un conglomerado de material grueso incluido en una matriz de arena, agua y cemento. Además del concreto, se usa en morteros, que son mezclas similares de arena, agua y cemento.

Se usa también en lo que se llama lechada, que consiste en una mezcla de cemento, arena y arena fina. Todas las mezclas mencionadas son plásticas al momento de su fabricación, pero alcanzan dureza variadas según sea la mezcla, y de eso depende también el tiempo en que alcanzan dicha dureza.

El uso más frecuente del cemento Portland es la fabricación de concreto, y demás está decir que su composición es una mezcla de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua.

La importancia en la calidad del cemento para un buen concreto depende de muchos factores, entre los cuales se señalan los siguientes: el tamaño de las partículas de cemento tiene una fuerte influencia en el nivel de reacción con el agua. Para un peso dado de un cemento finamente molido, el área de superficie de las partículas es mayor que para un cemento burdamente molido; esto resulta en un mayor nivel de reacción con el agua y en un proceso de endurecimiento más rápido para grandes áreas de superficie.

### C) ARCILLA

Químicamente son silicatos de aluminio hidratados, formados durante el proceso de disolución a<sup>1</sup> que están sometidas por el agua las partículas gruesas de la roca primaria.

Entre los minerales que se encuentran formando las partículas de arcilla hay varios tipos, entre ellos caolinita, montmorillonita y mica.

Físicamente, las partículas arcillosas se diferencian de otras en que son planas y alargadas o laminares y, por lo tanto, tienen mayor área superficial por unidad de peso que en el caso fueran esféricas o cúbicas.

La forma laminar es el factor principal al que se debe la plasticidad de la arcilla cuando se mezcla con agua. Las partículas se pueden orientar con sus caras paralelamente, y las películas de agua que las rodean permiten fácilmente el deslizamiento de unas láminas respecto a otras.

Un cambio en la orientación de las partículas se crea es la causa de las diferencias que se observan en el comportamiento de las muestras de arcilla inalteradas y remodeladas.

Las partículas de agua que rodean las partículas arcillosas son de la mayor importancia debido a la gran superficie específica de la fracción arcillosa y a la gran cantidad de humedad que lleva. Como consecuencia asociada, las partículas de arcilla se dice que están hidratadas, es decir, que el agua asociada con ellas está absorbida en su superficie.

En los granos finos de los suelos, las fuerzas de gravitación no son las únicas que ejercen acciones importantes, ya que también hay fuerzas de otros tipos. Esto es debido a que en estos granos, la relación área-volumen alcanza valores de consideración, y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en las superficies de los compuestos alcanzan significancia.

Una teoría común para explicar la estructura interna de las arcillas es la siguiente: la superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa, según se desprende de la estructura iónica. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla, así la partícula atrae a los iones positivos de agua y a cationes de diferentes elementos.

Las moléculas son polarizadas, es decir, en ellas no coinciden los centros de gravedad de sus cargas negativas y positivas, sino que funcionan como pequeños dipolos permanentes. Al ligarse a la partícula por su carga (+), el polo de carga (-) queda en posibilidad de actuar como origen de atracción

para otros cationes. Estos cationes debido a su naturaleza atraen partículas de agua, por lo que cada partícula posee una cantidad de agua a su alrededor.

Existen suelos que al ser remodelados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado Plástica. Estos suelos han sido denominados arcillas por los hombres dedicados a la cerámica.

La palabra pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes con idéntico significado; la plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido, desde antaño, para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

Pronto se descubrió qué existía una relación entre la plasticidad y las propiedades físico-químicas de la arcilla, desde ese momento la plasticidad pasó a ser una propiedad ingenieril, propiamente científica.

Las investigaciones han demostrado que la plasticidad de una molécula depende de su contenido de partículas finas de forma laminar. Por otra parte, en épocas recientes otras ramas de la ingeniería han desarrollado otras interpretaciones de la palabra plasticidad, basándose en las características esfuerzo-deformación de los materiales.

Cuando un material se somete a esfuerzos de tensión uniaxialm, su comportamiento mecánico está descrito por las relaciones esfuerzo-deformación.

Al tratar de definir en palabras simples la plasticidad de un suelo, no resulta suficiente decir que un suelo plástico puede deformarse y remodelarse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, sin embargo, no es plástica en un sentido más amplio de la palabra; hay entre la arcilla y la arena una diferencia importante: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además la arena se desmorona rápidamente al secarse (efecto de tensión superficial).

En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Con esta definición se logra circunscribir la propiedad de las arcillas

Se han realizado experimentos en los cuales se ha podido probar que las propiedades de plasticidad de los suelos se deben a la carga eléctrica de las partículas laminares, que generan campos y actúan como condensadores e influyen en las moléculas bipolares del agua.

En los suelos plásticos, el espesor de estas capas de agua es grande y la interacción de las partículas de suelo determinan su plasticidad.

Atterberg descubrió que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de la cantidad de agua que contengan. Una arcilla seca puede presentar la consistencia de un ladrillo, con


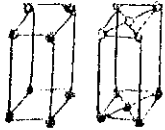





plasticidad nula y esa misma, con cierto contenido de humedad, la de un lodo semilíquido, o inclusive, la de una suspensión líquida.

Según Gilot la palabra arcilla es una palabra con raíces teutónicas, de la terminología científica, arcilla es un material natural proveniente de la tierra con propiedades plásticas, de composición de granos finos, principalmente silicatos de aluminio y de magnesio hidratado. Convencionalmente, arcilla es una fracción inferior a decimas de micrón.

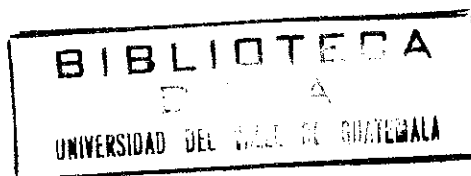
Según Howell, en geología, la palabra arcilla usada hoy en día tiene tres definiciones:

- 1-Un mineral natural con propiedades plásticas
- 2-Una composición de partículas de dimensiones muy finas.
- 3-Una composición de minerales cristalinos, principalmente silicatos de aluminio hidratado y ocasionalmente silicatos de magnesio hidratado.

En 1850, Bravais estableció la existencia de 14 enlaces elementales, que se muestran a continuación:

|   |   |
|---|---|
|    | <p>1- TRICLINICO<br/> <math>\alpha \neq \beta \neq \gamma</math> son diferentes<br/> <math>a \neq b \neq c</math> son diferentes</p>  |
|    | <p>2- MONOCLINICO<br/> <math>\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma</math><br/> A: red simple<br/> B: red con base central<br/> <math>a, b</math> y <math>c</math> son diferentes</p>  |
|    | <p>3- ORTHONORMAL<br/> <math>\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ</math><br/> A: red simple<br/> B: red con base central<br/> C: red en cara central<br/> D: red central<br/> <math>a, b</math> y <math>c</math> son diferentes</p> |
|   | <p>4- ROMBOEDRICO<br/> <math>\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ</math><br/> <math>a = b = c</math></p>   |
|  | <p>5- HEXAGONAL<br/> <math>\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ</math><br/> <math>a = b</math><br/> las bases son centrales</p>  |
|  | <p>6- CUADRATICO O TETRAGONAL<br/> <math>\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ</math>    <math>a = b \neq c</math><br/> A: red simple<br/> B: red central</p>  |
|  | <p>7- CUBICO<br/> <math>\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ</math><br/> <math>a = b = c</math><br/> A: red simple<br/> B: red cubica central<br/> C: red cubica en las caras</p>   |

LOS 7 SISTEMAS DE CRISTALIZACION Y LAS 14 REDES DE BRAVAIS  
 $\alpha, \beta$  Y  $\gamma$  SON LOS VALORES DE LOS ANGULOS  
 $a, b$  Y  $c$  LAS LONGITUDES



## 1) USOS MAS FRECUENTES DE LA ARCILLA

### i) FABRICACION DE ADOBE

El proceso para la fabricación de adobe es esencialmente el mismo que se usa en la fabricación de ladrillo de barro antes de ser horneados.

El barro es trabajado en una consistencia casi líquida, se coloca en moldes y luego se saca para ser dejado secar al sol.

El suelo es seleccionado, no por sus propiedades de compactación si no por su buena resistencia a la hora de secar aunado a poco encogimiento. Por esta razón una gran cantidad de materiales son rechazados, y gran cantidad de materiales finos son usados (arcillas). Los suelos con una gran cantidad de finos son por lo general mezclados con arenas.

El proceso tradicional de mezclado es poner el suelo en un lugar plano, con una profundidad de 0.3-0.5 mts. y agregar la cantidad necesaria de agua para reducir a una consistencia plástica húmeda.

Si se le agrega estabilizantes se puede pensar en cal, cemento o una emulsión bituminosa; además se pueden usar raíces u otro tipo de fibras.

Bien sabido es que para suelos con alto contenido arcilloso el cemento no es conveniente, para esos casos es más conveniente usar cal, en adición de una emulsión bituminosa impermeable.

Los bloques se hacen en moldes de madera, abiertos por arriba y abajo, debe colocarse algún tipo de material desmoldante a las paredes de los moldes para evitar la adhesión de los bloques a los moldes.

Los bloques son dejados en un lugar determinado por 12 horas para que lleguen a su secado primario. El curado total puede tomar hasta cerca de 3 semanas.

## IV )AGLOMERANTES DE USO POCO FRECUENTE

### A) YESO

#### 1) PRODUCCION

La acción cementante del yeso es derivada de la conversión de yeso a un hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  a  $1/2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) en un proceso de calcinación; al agregar agua el hemihidrato revierte el proceso y se endurece otra vez.

#### USO DEL YESO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

El mayor uso que se le da al yeso es como retardante en la manufactura de cemento Portland. En todo el mundo la mayor parte del yeso se usa con ese propósito, pero al examinar otros usos que se le dan al yeso se nota una clara diferencia entre los países tercermundistas y los países desarrollados, ya que en los primeros el uso del yeso como material de construcción es sustancialmente menor, esto debido en gran parte a la carencia de facilidades de producción.

## B) PUZOLANAS

### 1) CLASIFICACION DE LAS PUZOLANAS

Las puzolanas se clasifican según sus elementos constituyentes que contribuyen a su actividad. Las siguientes cinco clases son generalmente las reconocidas:

I- Vidrio volcánico

II- Opal

III- minerales arcillosos

IV- Zeolitas

V- Oxido hidratado de aluminio.

Las puzolanas naturales o poseen propiedades como ocurren en la naturaleza o pueden ser fácilmente convertidas por calcinación o por pulverizado fino .

### 2) PRODUCCION

Las puzolanas que aparecen naturalmente son por lo general, usadas sin ningún proceso, pero en algunos casos se necesita secar y pulverizar el material. Este secado se hace algunas veces simplemente con el calor del sol,

pero es más convencional el secado en secadores rotatorios inclinados; mientras tanto el pulverizado se hace con molinos de bolas.

Cuando se trata de puzolanas obtenidas de cascabillo de arroz, hay que empezar diciendo que hasta la fecha no hay normas formalmente aprobadas, pero a pesar de eso se sigue procesando en países de surAsia, la ceniza del cascabillo es obtenida de los hornos donde este material se usa de combustible, pero el problema es que da como resultado diferentes calidades de ceniza. En tiempos recientes se han diseñado incineradores especiales para obtener calidad uniforme. La ceniza proveniente de este proceso es, en un 90%, sílice.

La tecnología para producir puzolonas varía dependiendo del tipo de la misma. La puzolana de arcilla calcinada se hace moldeando la arcilla en forma de ladrillos, los cuales se secan y luego se queman en hornos, para después pulverizarlos.

Esta no es una técnica nueva, ya que en la antigüos ya se practicaba en lugares como Roma, Egipto e India. Su práctica se reinicia el siglo pasado en Inglaterra, donde al mezclarse con cal se notaron ciertas propiedades cementantes; para el caso la arcilla calcinada hace el papel de la ceniza volcánica, que es una puzolana natural.

La ceniza proveniente del residuo de hornos (FLY ASH) es otra fuente (artificial) de puzolanas. Estas cenizas provienen del residuo de la combustión en grandes plantas generadoras de energía y altos hornos donde se quema carbón. Sus propiedades puzolónicas fueron descubiertas durante la década de

los 30 en Estados Unidos; no requiere algún proceso para su utilización en la fabricación de cementos.

La ceniza volcánica es otra fuente de obtención de puzolanas, después del proceso de extracción es requerido para fabricar cemento tamizado, secado y algunas veces pulverizado.

En Guatemala, la principal fuente de obtención de material puzolánico es de origen volcánico, hay diferentes tipos y se encuentra en todo el país.

Las puzolanas de origen volcánico están compuestas de una mezcla de silicatos y contienen material vítreo y cristalino. De un estudio realizado por el centro de investigaciones de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se ha tomado el siguiente fragmento:

\*Se ha experimentado con cuatro tipos de puzolanas naturales : ceniza volcánica, del periodo cuaternario, encontrada cerca de la ciudad de Guatemala; arena pomez, de un depósito pumítico cerca de la ciudad de Guatemala; saclum, tomada de un depósito superior Jurásico Neocomiano (capas rojas) en Alta Verapaz y Diatomita encontrada en un aluvión cuaternario a 22 km. al noreste de la ciudad de Guatemala. \*

Los exámenes microscópicos indican que todas las puzolanas son polvos finos, pero la ceniza volcánica aparece como la más gruesa, mientras que el saclum y la diatomita como la más fina.

Por medio de análisis de óxidos y propiedades físicas de los materiales fueron determinados y se presentan a continuación:

| Oxidos  | ceniza<br>volcánica | arena<br>pómez | saclum | diatomita |
|---|---------------------|----------------|--------|-----------|
| CaO %   | 1.7                 | 0.3            | 6.3    | 0.1       |
| SiO <sub>2</sub> %                            | 35.0                | 38.0           | 67.0   | 80.0      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %              | 1.8                 | 1.3            | 6.9    | 1.8       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %              | 1.9                 | 2.5            | 4.9    | 2.7       |
| MgO   | 4.8                 | 3.6            | 9.9    | 6.5       |
| Densidad g/cm <sup>3</sup><br>grav.específica | 2.49                | 2.41           | 2.26   | 2.09      |
| (g/cm <sup>3</sup> )                          | 0.97                | 0.90           | 0.87   | 0.68      |

Después de hacer varias pruebas de muestras hechas con los materiales de la anterior tabla, se llegó a la conclusión que los mejores materiales para fabricar cementos mezclados son la arena pómez y la ceniza volcánica, ya que fueron los materiales más consistentes ( en cuanto a resultado de pruebas a compresión). Para algunas pruebas, el Saclum y la diatomita mostraron altas resistencias, pero en otras la resistencia fue casi cero.

Hay formas artificiales de obtener puzolanas, pero entre las que más atrae la atención de investigadores es la puzolana que se obtiene del cascabillo de arroz, la que da origen a un aglomerante que es promisorio en países donde se siembran grandes cantidades de arroz, especialmente en Asia, donde son producidas más de 20 millones de toneladas al año, y mucho de este cascabillo se desperdicia.

En el Instituto de tecnología de India se ha desarrollado la tecnología que ha dado como resultado un producto compuesto por cascabillo de arroz, cal y

cemento Portland, todo mezclado y molido en molino de bolas por un periodo de 6 horas. La proporción de cascabillo de arroz es de 64%, cal 27% y cemento Portland 9%.

La resistencia desarrollada a la compresión es de 20 a 28N/mm<sup>2</sup>, a los 28 días.

Estudios realizados en la universidad de Nuevo Gales, en Australia, muestran que a temperaturas de quemado mayores a 700 grados centígrados forman cristales de ceniza no reactiva, y que el quemado incontrolado desperdicia mucha de la potencial capacidad del cascabillo.

### 3)USOS DE LA PUZOLANA

#### i)FABRICACION DE BLOQUES

En Guatemala, Indonesia y algunos países de Africa se han encontrado grande bancos de material puzolánico de origen volcánico. En Asia, el principal uso que se le ha dado a este tipo de material es la fabricación de bloques, estos son producidos a mano, y contienen un 80% de material volcánico y 20 % de cal.

En Tanzania, donde hay bancos de material bastante grandes, se ha hecho un uso similar, ya que se mezcla la ceniza en partes iguales con cal y es vendido en bolsas de 20 kg. bajo el nombre de "pozzolime binder"; su uso principal es el de la fabricación de bloques.

## ii) CEMENTOS MEZCLADOS

Son producidos por la mezcla de cemento Portland, puzolana y otro ingrediente. La mezcla con molino de bolas es una práctica usual y conveniente en la mezcla, ya que logra dar muy buena homogeneidad. Existen varios métodos para realizar las mezclas, y estas tienden a ser importantes en donde el cemento Portland alcanza precios muy elevados; además se le pueden agregar materiales propios del lugar, que pueden ser puzolanas o materiales inertes.

La idea principal de producir este tipo de cemento es lograr un material aglomerante que este intermedio entre la resistencia del cemento Portland y los "pozzolime binders" producidos en países africanos. También tiene la ventaja de la dureza rápida del portland con la facilidad de usar materiales de relleno locales, para nuestro caso puzolanas de origen volcánico.

El uso de este tipo de aglomerante es para concretos de baja resistencia y no para concretos estructurales.

## 4) AGLOMERANTES DE CASCABILLO DE ARROZ

Una gran ventaja que tiene este material es su bajo costo comparado con el precio del cemento Portland.

En la India se ha logrado producir un buen cemento mezclado a base de cemento Portland y cascabillo de arroz como material puzolánico, como ya se mencionó.

En Tailandia se produce un cemento mezclado, desarrollado por el Instituto de tecnología Asiático en Bangkok. Ellos muestran que iguales pesos

de cemento Portland y cascabillo de arroz molidos por dos horas dan una resistencia a los 28 días parecida o incluso mayor que la del mismo Portland.

En Botswana se ha logrado producir un cemento mezclado consistente en 50 % de cemento Portland, 10% de cal, 10% de arcilla calcinada y el resto de ceniza de carbón .

El uso de este tipo de cementos, al que se le conoce como CEMENTO DE MAMPOSTERIA, es el de la unión de piezas usadas para levantado de paredes y no dejar que penetre humedad a través de las mismas. Este material debe cumplir con ciertas características, principalmente relacionadas con la humedad, ya que deben tener la capacidad de retener agua y no dejar que le sea absorbida toda por el elemento o pieza de mampostería con la cual tiene contacto, ya que el agua es de suma importancia durante el fraguado para la obtención de la resistencia esperada.

Para ser mezclada, la puzolana debe cumplir con ciertos requerimientos, entre ellos que el porcentaje máximo retenido en el tamiz 45µm debe ser de 20.

Hay dos características principales que los morteros deben cumplir: **TRABAJABILIDAD y ADHERENCIA.**

Las características de trabajabilidad son las que hacen deseable un mortero en construcción, ya que debe ser fácil de extender sobre las unidades de mampostería con las que se esta trabajando, además de resistir el peso de las mismas y su alineación.

La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades, tales como plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia.

La capacidad de un mortero de mampostería de mantener satisfactoriamente su trabajabilidad bajo la influencia de los elementos de mampostería que absorben y evaporan el agua, depende de la retentividad y características del mismo.

Generalmente, los morteros hechos a base de cemento de mampostería tienen excelente trabajabilidad, ya que poseen microscópicas burbujas de aire que son las que le dan esta propiedad.

La adherencia es una característica del mortero endurecido, y es la propiedad física más importante e impredecible. Esta tiene 3 facetas: resistencia, extensión y durabilidad.

Son tantos los factores que afectan estas tres facetas, que es muy difícil divisar, en una prueba de laboratorio, sus resultados, para cada una de éstas, a la hora de estar construyendo. Estas variables incluyen contenido de aire, cohesión del mortero, capacidad de absorber agua de la pieza de mampostería, el tiempo que pasa desde que se colocó el mortero hasta que se puso la pieza de mampostería y las condiciones de curado.

## 5) CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS DE MAMPOSTERIA

La norma C91 ASTM (STANDARD SPECIFICATION FOR MASONRY CEMENT) clasifica los cementos de mampostería de la siguiente manera:

### TIPO N

Para uso en preparación de morteros para unidades de mampostería

### TIPO S

Para uso en la preparación de morteros para unidades de mampostería sin adición de cal hidratada o cemento.

### TIPO M

Para uso en preparación de morteros sin la adición de cal hidratada o cemento.

## 6) REQUERIMIENTOS FISICOS

Los requerimientos que un cemento de mamposteria debe cumplir son los siguientes:

| TIPO DE CEMENTO  | N   | S    | M   |
|--|-----|------|-----|
| Finura, residuo en tamiz 45 $\mu$ m (No. 325), % max.  | 24  | 24   | 24  |
| Expansi3n en Autoclave, % max. tiempo de fraguado, M3todo Gillmore   |     |      |     |
| fraguado inicial, min hrs.   | 2   | 1.5  | 1.5 |
| fraguado final, max. hrs   | 24  | 24   | 24  |
| Resistencia a la compresi3n  |     |      |     |
| La resistencia a la compresi3n de cubos de mortero, compuestos de 1 parte de cemento y 3 partes de arena, por volumen, ser3 igual o mayor, segun edades, a las resistencias siguientes |     |      |     |
| 7 d3as, psi  | 500 | 1300 | 180 |
| 28 d3as, psi   | 900 | 2100 | 290 |
| Contenido de aire en el mortero, preparado y probado segun especificaci3n ASTM C91   |     |      |     |
| min, volumen   | 12  | 12   | 12  |
| % Max, volumen   | 22  | 20   | 20  |
| Valor m3nimo de retenci3n de agua, % de flujo original   | 70  | 70   | 70  |

TABLA EXTRAIDA DE LA ESPECIFICACION C 91 ASTM

Existen varias ventajas de los cementos de mamposteria, pero hay una, entre tantas, que es de gran importancia en Guatemala, y es la que se3ala el Ingeniero Jorge Mario Morales en un articulo hecho junto a con investigadores canadienses y publicado bajo el t3tulo "Puzolanas naturales para construcci3n de vivienda en Guatemala", de donde reproduzco textualmente una porci3n de la introducci3n.

\* El alto costo de los materiales de construcción en Guatemala, ha colocado los precios de las viviendas más allá del alcance de la mayoría de la población. Se estima que la mitad de la población de Guatemala tiene vivienda inadecuada. Guatemala sin embargo, tiene varios depósitos de materiales naturales (Puzolanas; Material finamente dividido, el cual no es reactivo por sí mismo, pero podrá reaccionar con cal y agua a temperaturas ordinarias, para formar compuestos cementantes.), los cuales tienen la potencial posibilidad de sustituir al cemento Portland en muchas aplicaciones de construcción. Con el uso conveniente de estos materiales de bajo costo, reducciones significativas en los costos pueden realizarse las cuales darían como resultado viviendas baratas y adecuadas para una mayor proporción de la población\*

El sacrificio que hay que hacer para obtener un material más barato que el cemento Portland, es el de la resistencia, por lo que los usos de los cementos de mampostería son limitados en comparación a los usos del Portland, por ejemplo, el cemento de mampostería no podrá ser usado en la fabricación de elementos estructurales (vigas, columnas, zapatas, muros de contención, etc.), pero sí puede ser usado en levantados de mampostería, recubrimiento de elementos estructurales, camas para tubería de desagüe, etc.

#### 7) CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO

Actualmente es una práctica común en muchos países del mundo mezclar el clinker con puzolana molida para la fabricación de cemento portland, al que apropiadamente se le llama Cemento Portland Puzolánico.

El hecho de añadir puzolana al cemento Portland convencional genera ciertas propiedades beneficiosas, tales como la reducción de temperatura durante la hidratación; además se ha descubierto que las puzolanas evitan en gran parte la expansión producida por la reacción generada al contacto con elementos alcalinos.

Propiedades beneficiosas como las anteriores son las que han popularizado en países de Europa y Estados Unidos el uso de este tipo de cemento.

Por otro lado hay que señalar que la resistencia temprana del Portland puzolánico es menor que el Portland convencional, pero a edades tardías la resistencia a esfuerzos de compresión es mayor.

La tasa de desarrollo de resistencia a la compresión de los cementos puzolánicos aumenta con la temperatura de curado, mientras que a bajas temperaturas, ésta es afectada en forma más acentuada que la de un cemento Portland. Los concretos Puzolánicos, usualmente, tienen un desplome menor que los concretos de cemento Portland (con contenido igual de agua), aunque hay excepciones con las "fly ash" pulverizadas de contenido de carbón bajo con alta fineza, los cuales reducen el requerimiento de agua del concreto. (Estuardo Moltra)

Una característica importante del cemento Portland puzolánico es su mayor resistencia al ataque químico, tal como los sulfatos del agua de mar.

Esto se cree que es debido a la eliminación del hidróxido de calcio formado durante la hidratación del cemento por los compuestos formados en la reacción con la puzolana.

Se han propuesto varias teorías acerca de esta propiedad del cemento Portland puzolánico, pero en realidad no se ha llegado a la determinación exacta o convincente del fenómeno.

## 1) ARCILLA CALCINADA

Esta es una fuente de obtención de puzolána, y el único material deseable para tener esta fuente es una buena arcilla. El proceso inicial para la fabricación de ladrillos de arcilla quemada es el mismo que se usa en la elaboración de ladrillos convencionales. La composición química de algunas arcillas que han sido calificadas como buenas para el uso que en la presente investigación se menciona es la siguiente:

| COMPONENTE  | CONTENIDO POR PESO |
|---|--------------------|
| Silice+alúmina+óxido de hierro<br>$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ | no menos de 70%    |
| Silica ( $SiO_2$ )  | no más de 40%      |
| Oxido de magnesio(MgO)  | no más de 10%      |
| Oxido de calcio(CaO)  | no más de 3%       |
| Trióxido de sulfuro( $SO_3$ )                                 | no más de 3%       |
| Alkali soluble en agua  | no más de 0.1%     |
| Material soluble en agua                                      | no más de 1%       |
| Pérdida en ignición   | no más de 10%      |

Es sabido que al calentar a altas temperaturas la arcilla se rompe el enlace que forma la arcilla y produce que la sílica y el aluminio se vuelvan reactivos con la cal.

La arcilla puede ser activada por calor a una temperatura entre 600 y 800 grados centígrados.

## 2)USOS DE LA ARCILLA COMO MATERIALES CEMENTANTES

Para ver el uso de las arcillas como parte de un material cementante, reproduzco textualmente un artículo publicado por S.K. Motha titulado "ACTIVATION STUDIES OF JAMMU CLAYS FOR LIME SURKHI MORTAR"

\*El mortero de cal Surkhi fue usado como un importante material de construcción en India hasta finales del siglo XIX.

Aun se puede encontrar este mortero en antiguos edificios, los cuales tiene muchos siglos de antigüedad. Su uso es aun apreciable en algunos lugares de la India.

El siguiente señalamiento de la industria norteamericana de Cal, revela la importancia del mortero de cal Surki

\*Estamos viendo las posibilidades que tanto nos atrae de los cementos puzolánicos para morteros, no decimos exactamente cemento Portland puzolánico, el cual esta ya de sobra conocido, y en el mercado, si no más bien mezclas de cal y puzolana.

En nuestra humilde opinión los fabricantes americanos de cal han perdido una gran oportunidad en no haber desarrollado y mercadeado un mortero de cal-puzolana el cual ha sido usado desde el principio de la civilización.

El cemento Portland se volvió popular hace poco mas de 50 años, y debido a su disponibilidad, uniformidad en producción y rápido endurecimiento desplazó a los aglomerantes anteriores.

Dada la actual crisis energética, es recomendable el uso de este tipo de cementos como el cemento Corcha, que puede tomar el lugar del cemento Portland en muchos usos constructivos.

Durante las últimas dos décadas han habido numerosos intentos de desarrollar proyectos económicos para producir el reactivo Surkhi, que tenga una calidad que cumpla con los estándares hindúes, los cuales podrian ser más baratos que el cemento Portland, claro está, para aplicaciones de baja resistencia.

Este proceso de fabricación incluye hornos en los que se pueda quemar de manera controlada, para mantener en estándar de calidad, seguido por molido en molinos de bolas.

Aparentemente estos proyectos no han podido ser llevados a cabo debido al alto costo del combustible para poder llevar la temperatura a más de los 600 grados centígrados requeridos, lo que lo convierte en más caro que el cemento Portland.

### 3) MATERIAL CRUDO CONVENIENTE.

El éxito de la fabricación de la cal reactiva Corcha depende de la correcta elección de la arcilla, de la calcinación controlada y su pulverización para obtener polvo fino.

En el estado indú de Jamu y Kashmer existen abundantes depósitos de arcilla adecuada para ser activada, según estudios de laboratorio para fabricación de cal Corcha.

Este material cumple con los estándares indúes de resistencia a la compresión (600 psi, mín) y pueden ser activadas calcinándolas en un horno a temperaturas adecuadas, según estudios de laboratorio.

El análisis químico no muestra un índice de reactividad de las arcillas, mientras que un análisis mineralógico da mucho mejor resultado y muestra mejor el índice de reactividad (reactividad aquí significa actividad puzolánica).

## Conclusiones

A lo largo de este trabajo fueron expuestos en forma breve, procesos de obtención de algunos de los aglomerantes más utilizados en todo el orbe. Se puede apreciar como las distintas grandes civilizaciones de la historia de la humanidad han aportado cada una conocimientos para el desarrollo de los aglomerantes usados en construcción, actualmente.

Al observar los procesos de fabricación y obtención de los materiales, se puede notar la simplicidad de algunos de ellos, y no podemos dejar de pensar en lo práctico que resulta su uso en nuestro país, donde no sólo está la fuente de materia prima y la tecnología de fabricación a nuestro alcance, sino que existe una gran necesidad de vivienda. Esta necesidad que no puede ser satisfecha por lo alto del costo del material de elaboración, y es donde entra la disyuntiva si se sacrifica el precio por calidad, ya que existen aglomerantes de los mencionados en este trabajo cuyo costo es menor, y podría estar al alcance de muchos, pero su resistencia también es menor.

## VI) BIBLIOGRAFIA

A Compendium of Information on Selected Low Cost Building Material (Habitat). United Nations Guide for Human Settlements.

Annual Book ASTM Standards . Volumen 04.02. Concrete and  
1988. aggregate. E.E.U.U. Easton.

Annual Book ASTM Standards . Volumen 04.01. Cement.  
1988. Lime. Gypsum . E.E.U.U. Easton.

Ayala, Edgar; Cristallisation des arqiles . Francia.  
1982 L'universite De Nantes.

Brady, George; Henry Clausser. Materials Handbook . E.E.U.U.  
1979 McGraw-Hill. 11 ava Ed.

Leonards, G.A.; Foundation Engineering . E.E.U.U. McGraw-  
1962 Hill.

Mantell, Charles; Materials Handbook. E.E.U.U. McGraw-Hill  
1958

Molina, Estuardo; Cementos Puzolánicos para mampostería en  
1989 Guatemala . Guatemala. Universidad De San Carlos

Morales, Jorge Mario; Day, R.L.; Huizer, A.; Puzolanas  
naturales para construcción de vivienda en  
Guatemala . Guatemala. Centro de Investigaciones de  
Ingeniería.

Peck, R.; Hanson, W.; Thornburn, T. Foundation Engineering  
1974 E.E.U.U. John Wiley and Sons. 2da Ed.

Spence, R.; Cook, D.; Construction Materials . E.E.U.U.  
1983 John Wiley and Sons.

Van Black, Lawrence; Elements of materials Science and  
1985 Engineering. E.E.U.U. Addison-Wesley; 5ta Ed.