



**UNIVERSIDAD MICOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

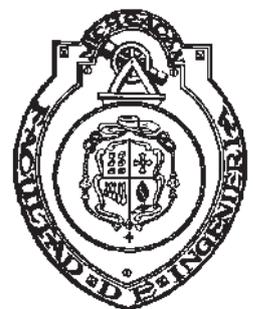
**“CENIZA VOLCÁNICA COMO AGREGADO EN
MORTEROS DE ALBAÑILERIA CON CAL
APAGADA ARTESANALMENTE”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
DIANA YESENIA PÉREZ YEPEZ**

**ASESOR:
M.A. ING. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA**



MORELIA, MICHOACÁN, SEPTIEMBRE DEL 2008

CONTENIDO

1.- INTRODUCCION

2.- FORMACION DE ROCAS Y CENIZAS VOLCÁNICAS EN LA TIERRA

2.1 ROCAS ÍGNEAS

2.1.1 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

2.1.2 ROCAS ÍGNEAS FILONIANAS O ROCAS HIPOBISALES

2.1.3 ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

2.1.4 ROCAS PIROCLÁSTICAS

2.2 ROCAS SEDIMENTARIAS

2.3 ROCAS METAMÓRFICAS

2.4. CENIZA VOLCÁNICA

3. MORTEROS

3.1 DEFINICION DE MORTERO.

3.2 COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS.

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS

3.4. USOS DE LOS MORTEROS

4. ESTUDIOS DE LOS MATERIALES

4.1 ESTUDIO DE LA CAL

4.1.1 DEFINICION DE LA CAL

4.1.2. CICLO DE LA CAL

4.1.3. PROCESO DE FABRICACION DE LA CAL HIDRATADA

4.1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS CALES SEGÚN SU COMPOSICIÓN

4.1.5. DESCRIPCIÓN DE LA CAL APAGADA PARA ESTE ESTUDIO

4.2 ESTUDIO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

4.2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

4.2.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO FINO (ARENAS)

4.2.3. FORMA DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO FINO

4.2.3.1. HUMEDAD SUPERFICIAL

4.2.4. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO PÉTREO UTILIZADO PARA ESTE ESTUDIO.

4.2.5. DESCRIPCION DE LOS METODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGREGADO FINO

- 4.2.5.1. MUESTREO DEL AGREGADO PÉTREO
- 4.2.5.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MODULO DE FINURA
- 4.2.5.3. PESO VOLUMÉTRICO DE AGREGADOS
- 4.2.5.4. MÉTODO DE ENSAYE PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.
- 4.2.5.5. MÉTODO DE ENSAYE PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.
- 4.2.5.6. IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO
- 4.2.5.7. SEDIMENTACIÓN EN ARENAS
- 4.2.5.8. MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200 EN AGREGADOS MINERALES, POR MEDIO DEL LAVADO.
- 4.2.5.9. PRUEBAS DE TERRONES DE ARCILLA EN ARENA
- 4.2.5.10. EQUIVALENTE DE ARENA
- 4.2.5.11. PRUEBA DE PLASTICIDAD
- 4.2.5.12. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (LP)
- 4.2.5.13. DETERMINACION DEL INDICE PLÁSTICO (IP)
- 4.2.5.14. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONTRACCIÓN VOLUMETRICA (CL Y LC)
 - 4.2.5.14.1. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL
 - 4.2.5.14.2. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMETRICA (LC)

4.3.- LÍQUIDO DE AMASADO

- 4.3.1. ELABORACIÓN DEL LÍQUIDO DE AMASADO

5. DISEÑO DE MEZCLAS

- 5.1. CRITERIO DE DISEÑO UTILIZADO PARA OBTENER UNA MEZCLA DE MORTEROS EN ESTUDIO.
- 5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS DE MORTERO EN ESTUDIO.
 - 5.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CAL APAGADA EMPLEADA EN ESTE ESTUDIO
 - 5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA CENIZA VOLCANICA EMPLEADA
 - 5.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA ARENA EMPLEADA EN EL ESTUDIO
 - 5.2.4. DESCRIPCIÓN DEL SOLVENTE UTILIZADO EN EL ESTUDIO (MUCÍLAGO DE CACTÁCEA)
 - 5.2.5. EDADES DE PRUEBA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MORTEROS ADICIONADO (CON MUCÍLAGO DE CACTÁCEA)

6.- PRUEBAS

- 6.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CÚBICOS (2")
 - 6.1.1. ELABORACION DE LA MEZCLA DE MORTERO
 - 6.1.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLUÍDEZ EN LA PASTA DE MORTERO

- 6.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A FLEXIÓN EN ESPECÍMENES DE MORTERO
- 6.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA TENSIÓN EN ESPECÍMENES DE MORTERO
- 6.4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

7.- RESULTADOS.

7.1. INFORME DE LA CALIDAD EL AGREGADO FINO

7.1.1. ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR EL AGREGADO PÉTREO PARA MORTERO

7.2. INFORME DE CALIDAD DEL AGLUTINANTE

7.2.1. ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA CAL APAGADA PARA MORTERO

7.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESION, FLEXIÓN Y TENSIÓN DE LOS MORTEROS.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9. CONCLUSIONES.

10. BIBLIOGRAFIA

I.- INTRODUCCIÓN

Nuestro centro histórico de la ciudad de Morelia, Michoacán, México, es un ser vivo con personalidad propia, en el esta la memoria de la ciudad.

Catedrales y templos correspondieron a una ideología religiosa; los palacios a un estatus político social; las casas a una condición de vida. Cada piedra, mosaico o ladrillo expresa las costumbres y los sentimientos que de lo que ahí vivimos, por lo que nuestra generación es un eslabón más en la construcción de la ciudad [1].

En las primeras etapas de la prehistoria el hombre primitivo disponía exclusivamente de su cuerpo para desarrollar sus actividades, esta situación prevaleció aún en el paleolítico medio, durante el cual se atestigua el uso del fuego. Al final del periodo paleolítico superior, etapa durante la cual el hombre primitivo desaparece bruscamente y su lugar es ocupado por el hombre moderno, la humanidad realizó grandes progresos culturales y empezó a desarrollar mejores instrumentos para la caza, utilizando algunos materiales disponibles para elaborar utensilios, herramientas y armas, cuya utilidad residía en aumentar la capacidad de trabajo y los recursos defensivos del organismo humano. Un hueso afilado o un fragmento de obsidiana cortaban mejor que las uñas de las manos; una porra de madera o un pedazo de piedra sujeta a un mango de madera o hueso, hacía más daño al golpear que las manos solamente [2].

Los materiales utilizados en herramientas o armas debían seleccionarse con precaución, buscando los más duros, tenaces y pesados, de esta forma los huesos más útiles resultaban ser los más largos y compactos; las rocas preferidas eran pedernales, las cuarcitas, las calizas compactadas, los vidrios volcánicos y algunas variedades de rocas ígneas. En un principio empleaban la piedra prácticamente en su forma natural, después le daban la forma adecuada labrando y puliendo los fragmentos, para mejorar sus características y obtener puntas de lanza, rascadores, etc.

Los materiales que utilizaban como protección contra la intemperie, resultaban igualmente primitivos. Si el grupo era nómada, se transportaban pieles de animales y piezas ligeras de madera para armar sus alojamientos temporales. La existencia de las cuevas o grutas resolvían sus necesidades por el tiempo necesario. Los bosques brindaban lo indispensable para la construcción de refugios de madera, ramas y hojas, con frecuencia los combinaban con lodo.

El descubrimiento de la agricultura, marcó nuevos rumbos a las actividades de grupos errantes, ya que era necesaria la presencia de los labriegos primitivos en el de las siembras, por lo menos durante el tiempo necesario para cuidar los cultivos y levantar las cosechas. Si estas resultaban abundantes, se aseguraba la alimentación y por consiguiente ya no se buscaba la misma, y así podía establecerse en el lugar, si satisfacía otras necesidades como el agua, madera para combustible y otros materiales.

Las habitaciones y almacenes debían elaborarse como alojamientos y obras de defensa. Se protegía así al individuo y sus riquezas (alimentos). Se usaba cualquier material disponible en el lugar para edificar muros y techos; se ensayaba con trancos y árboles jóvenes, también combinando las ramas de arbusto con lodo. Se probaba la arcilla moldeada y seca, también los fragmentos de piedra [3].

En el periodo neolítico el hombre se hizo sedentario y comenzaron a aparecer los primeros refugios rudimentarios en diferentes partes del mundo, prueba de ello son los numerosos restos de monumentos funerarios y cavernas artificiales que aún existen, donde emplearon roca, madera y lodo como material de construcción, también aprendieron a utilizar el fuego para calentar bloques de piedra con el fin de facilitar su trabajo, para alterar el color de los pigmentos de los minerales y cocer figuras de arcilla [4].

Pronto resultó la ventaja de usar las piezas constructivas con forma de prismas y el empleo del aglomerante para dar más resistencia a las obras [3].

Es así como comienza el avance del hombre por buscar nuevos y mejores materiales para la construcción de obras adecuadas a sus propósitos, agradables a la vista y capaces de provocar un valor estético, perfeccionando los materiales y las técnicas constructivas. Las construcciones monumentales (pirámides) de los egipcios tanto edificios y tumbas de grandes dimensiones que se distinguían por medio de una mastaba (banco de adobe) de planta rectangular con muros de talud, que evolucionó a la pirámide escalonada y mas tarde a la pirámide de caras planas, construidos a base de cloques colosales de piedra caliza y granito nos dan una vista, a los avances que fue teniendo la raza humana, en el uso de los materiales para la construcción de sus obras [2].

Los griegos después de conocer los templos de los egipcios, en el siglo VII a.C. comenzaron a construir sus propios templos en piedra caliza, en el sur de Italia y Silicia. Ellos descubrieron un cementante natural (cal aérea), combinada con una sustancia inerte para formar una argamasa y después de utilizarla en este material se cubrían con mármoles o estucos para obtener un acabado más estético. Se utilizaron materiales como ladrillo, piedras, mármoles, mosaicos y la argamasa.

Más adelante en el siglo III a.C. los romanos dieron indicio de los nuevos avances. Los materiales usados por éstos fueron los sillares de piedra de cantería local, utilizados junto con vigas de madera, tejas y baldosas cerámicas. La piedra elegida variaba desde la toba y el travertino del centro de Italia, brillante mármol blanco importado de Grecia y Asia menor. Los mármoles dieron esplendor a las construcciones romanas, al igual que los edificios griegos anteriores, pero la argamasa, inventada por los romanos, les permitió levantar edificios imposibles de construir con el anterior sistema de estructuras adinteladas. La argamasa era una amalgama de piedras informes, cal y puzolana volcánica, que dio a los arquitectos romanos los medios para cubrir espacios enormes con grandes arcos y bóvedas y liberar al diseño arquitectónico de los modelos rectilíneos que se usaron en la arquitectura griega. [2].

Marco Lucio Viturbio Polion (70 a.C.), arquitecto e ingeniero romano, fue sin duda el mayor constructor del impero romano, durante la época del emperador César Augusto; su obra consta de 10 libros escritos en rollo papel pergamino sobre arquitectura. En el tomo II de su obra “Evolución de la Construcción. Uso de los Materiales”. Menciona: la cal debe prevenir el calcinado de la piedra caliza, ya suave o dura pero necesariamente blanca. La cal fabricada con piedra de grano fino de tipo mas duro, resultara buena para las partes estructurales. La cal de piedra porosa servirá como estucos, la proporción para la arena excavada de banco será de tres partes de arena y una de cal, si se usara arena de río o arena de playa marina, se usaran dos partes de arena y

una de cal. Al inicio de nuestra era los romanos lograron un avance significativo al agregar puzolana al mortero de cal, produciendo su carbonatación sin necesidad de exposición al aire y al contacto con el agua y así dar lugar al endurecimiento mucho más rápido [5].

Los morteros son materiales de construcción empleados, desde épocas antiguas, para unir (pegar) muros de mampostería, así como para recubrirlos (aplanar), ya sea como elemento estructural de protección o como ornamento.

En el siglo III a.C. en Roma, comenzó a generalizarse el empleo del mortero cal-arena, por influencia de Grecia [6].

Las mamposterías artificiales tienen bloques hechos por el hombre, sin someterse a temperatura como el caso de los adobes, que sólo es una mezcla de arcilla con agua y algún estabilizante vegetal como rastrojo, palmas, o estabilizante geológico como ceniza volcánica; o bloques obtenidos mediante conocimiento como los casos de ladrillos, tejas, tabiques [2].

En Monte Albán, Oaxaca, México se empleó el mortero de cal en el preclásico superior (600 a.C. a 100 d.C.) en pisos. Los mayas también lo emplearon en sus estucos murales [7].

Los naturales mexicanos precolombinos ante la imposibilidad de llevar las calizas a 1200°C, idearon el agregado de aditivos [8] y/o fibras para mejorar la resistencia mecánica de los morteros.

Otros autores hablan del hecho de que se construía en comunidad y ayudaban los parientes y amigos, a los cuales se les retribuía con comida y los desechos de ésta algunas veces se incorporaban a los morteros.

En 1549, en la ciudad de Morelia, se construyó el primer edificio de cal y canto (mampostería), el convento de San Miguel y en 1550 el Virrey ordenó que situaran unas calderas al norte del valle de Guayangareo, cerca de Cuitzeo para la calcinación de la cal [9].

EL NOPAL PASÓ DE SÍMBOLO PATRIO A VIGÍA DEL PATRIMONIO

El nopal, la planta cactácea símbolo patrio de México y parte esencial de la dieta de los mexicanos, se ha revelado un excelente conservante del patrimonio arqueológico mexicano.

La sustancia viscosa albergada en el interior de la hoja de este cactus comestible, que ocupa un lugar privilegiado en el escudo y bandera de México, se utiliza en innumerables prospecciones para conservar restos arqueológicos.

"Con el nopal se ha logrado una sustancia fácil de manipular, que no cambia el color de la superficie en la que se aplica".

Uno de los primeros edificios restaurados con esta técnica fue una antigua casa ubicada en el centro de la Ciudad de México.

Últimamente se ha usado el nopal para recubrir los muros y su capa pictórica, lo que permite un resultado muy positivo.

Este exitoso precedente ha extendido el uso del extracto de nopal a otros edificios históricos, como uno de los palacios ubicados en las pirámides arqueológicas de Teotihuacán, en las cercanías de la capital mexicana, o en el recinto religioso de Iztapalapa, en el sur de esta metrópolis.

Para elaborar el compuesto con el que se restauran los edificios es necesario deshidratar, calentar y fermentar las hojas de la cactácea en un proceso que se prolonga más de un mes.

"Las mejores hojas son las viejas, aquellas que tienen más de 10 años, pues son las que presentan un mejor mucílago.

El nopal tiene además amplias perspectivas de crecimiento comercial debido a sus cualidades medicinales, farmacéuticas y para el forraje animal.

El Congreso mexicano instó en noviembre pasado al gobierno a defender la denominación de origen y producción del nopal ante la posible amenaza de que China y Japón, otros de sus mayores productores, patenten estos vegetales.

Según el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), de las 300 especies distintas de nopal que existen en el mundo, unas 150 son autóctonas de México.

2.- FORMACIÓN DE ROCAS Y CENIZAS VOLCÁNICAS EN LA TIERRA

En un esquema simplista, el globo terrestre está constituido en el centro por un núcleo formado por compuestos de hierro y níquel. Éste a su vez se divide en dos partes: núcleo exterior que llega hasta los 5100km de profundidad, y núcleo interior que va desde el centro de la tierra hasta unos 6370km de profundidad. Un manto fluido (magma) de aproximadamente 2900km, rodea al núcleo, y envolviendo al manto se encuentra la corteza terrestre que es la capa más superficial y su profundidad depende del lugar donde se encuentre, esto es debajo de los océanos oscila entre los 5 y 10km debajo de los continentes donde puede llegar hasta los 40km. Esta compuesta por tres tipos de rocas principalmente: rocas ígneas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias. Las rocas ígneas representan el 95% del volumen total de la corteza terrestre, las rocas metamórficas el 4% y las rocas sedimentarias el 1% restante. Cada grupo de rocas tiene su divisorio o subgrupos [10].

A continuación se describe la formación de cada uno de los principales grupos de rocas y sus sub-divisiones.

2.1 ROCAS ÍGNEAS

Se llaman rocas ígneas o magmáticas a las rocas que, debido a las altas temperaturas, en las que a veces se superan los 6000°C, y a las altas presiones en el interior de la tierra, en el manto se funden y dan lugar al magma.

Generalmente un magma tiene un peso específico menor que una roca sólida, por eso un magma sube a la superficie apoyado por la alta presión y por los gases dentro del magma. Si el magma sube hacia la superficie se va a formar un volcán. Pero algunas veces no alcanza a subir hasta la superficie por falta de presión, entonces se forman diques, stocks o lacolitos.

Así el magma, cuando se enfría y se cristaliza da lugar a la formación de estas rocas, estas a su vez se dividen en tres grupos, dependiendo de donde se lleve a cabo el proceso de cristalización.

Los grupos son:

2.1.1 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

Las rocas ígneas intrusivas son el resultado de un lento proceso de enfriamiento de los cuerpos magmáticos, en su trayectoria ascendente hacia la superficie de la corteza terrestre, o bien, que se enfrían en las grandes profundidades de la tierra.

Una de las características importantes de las rocas ígneas intrusivas, es que, en el proceso de cristalización no se lleva a efecto la volatización de elementos gaseosos, sino más bien pasan a formar parte de los cuerpos rocosos.

ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS MÁS COMUNES

Granito: es una roca con textura masiva o compactada, su color es gris claro, y los minerales componentes son el cuarzo y la biotita.

Granodiorita: es una roca constituida de cuarzo, en proporciones más reducidas que el granito, de feldespato plagioclasas y ortoclasa.

Diorita: es una roca de color verdoso o cenizo, contiene feldespatos plagioclasas, horblenda, el cuarzo en esta roca se encuentra en muy reducidas proporciones.

En cuanto al uso que tienen este tipo de rocas, tienen una gran utilidad en la industria de la construcción de obras civiles debido a que los materiales que las integran, son insolubles en su mayor parte, lo cual garantiza una vida útil prolongada de todas las construcciones realizadas con estos materiales. En especial el granito es una roca que se emplea en la construcción de monumentos y ornatos.

2.1.2 ROCAS ÍGNEAS FILONIANAS O ROCAS HIPOBISALES

Son aquellas rocas formadas por la cristalización de la lava en líneas de fractura en el interior de la roca terrestre en su ascenso hacia la superficie. Estas rocas son poco conocidas por tener una distribución limitada en la superficie de la tierra.

Como principal ejemplo de las rocas filonianas tenemos:

Microdiorita: es una roca que contiene plagioclasas, pero con cristales pequeños.

Pegmatita: es una roca normalmente oscura con cristales demasiado grandes (10cm – 1m) de minerales. Contiene feldespatos, cuarzo micas o feldespatos, felespatoides y otros silicatos de aluminio como componentes principales.

2.1.3 ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

Cuando el magma es expulsado hacia la superficie a través de fracturas de la corteza terrestre, se lleva a cabo una reacción debido al cambio brusco de temperaturas y presiones en un tiempo muy corto, así el magma va formando un pequeño relieve hasta formar un cono debido principalmente a la cristalización de la lava.

En otras palabras las rocas ígneas extrusivas, son el producto de la cristalización del magma en la superficie terrestre [10].

Dentro de esta categoría las rocas más conocidas son:

Riolita: es una roca que por lo general presenta un color blanco, con una composición química y mineralógica parecida al granito, siendo compuesta por cristales de cuarzo, feldespato, ortoclasa y plagioclasas.

Dacita: esta roca es de composición mineralógica semejante a la granodiorita, esta compuesta por fenocristales de cuarzo, y por feldespatos plagioclasas entre otros [10].

Basalto: es una roca de coloración negra. Y su composición es principalmente de feldespatos, plagioclasas y olivino.

2.1.4 ROCAS PIROCLÁSTICAS

Se originan en el caso de una actividad volcánica de forma explosiva, el magma expuesto mediante el ambiente, se fragmenta, se expulsa y se reparte en forma de material suelto. Este material no compactado se denomina tefra, independientemente de la composición o del tamaño de los granos. Los diferentes fragmentos sueltos o compactados, son llamados piroclastos. Los piroclásticos ocupan una posición intermedia entre las rocas magmáticas y las rocas sedimentarias. El aspecto de su origen de una erupción volcánica es un argumento para considerar los piroclásticos como magmáticas, en el aspecto, que son transportados antes de su sedimentación los piroclásticos son parecidos a las rocas sedimentarias.

Los fragmentos volátiles de las rocas piroclásticas son mezclas de fragmentos de las rocas y gases calientes que se alejan a una gran velocidad del lugar donde fueron expulsados.

Los fragmentos de roca piroclástica tienen un amplio rango de clasificación granulométrica, estas comprenden roca densa, roca pulverizada o una combinación de las dos. Estos fragmentos al ser expulsados pueden abarcar un recorrido desde su origen hasta 200 kilómetros dependiendo de las condiciones de viento y climáticas al momento de la erupción, cubriendo áreas desde 1 a 20,000 km², y su volumen puede ser de hasta 1000 km³.

Así, el término tefra es un terreno nuevo que los vulcanólogos y geólogos le han dado a los materiales que son arrojados con violencia durante la erupción de un volcán. Pero los materiales tefra, se clasifican dependiendo del tamaño de sus partículas [10]:

Tamaño de los fragmentos	Tefra (sin compactación)	Piroclásticas (compactadas)
>64mm	Bombas	Piroclásticas
2 -64mm	Lapilli	Toba de lapilli
< 2mm	ceniza	Toba de ceniza, ignimbrita.

2.2 ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias son el resultado de la desintegración o disgregación de las rocas preexistentes por agentes geológicos externos. Se forman en la superficie de la corteza terrestre, por lo que también son llamadas rocas secundarias. Esta disgregación se lleva a cabo por el intemperismo, por factores como el aire, agua y viento, que arrastran los sedimentos a lugares más planos y profundos por lo cual también estos sedimentos son afectados por la acción de la gravedad que hacen que los sedimentos se compacten y formen nuevas rocas.

Rocas sedimentarias más comunes.

Caliza.- es una roca formada por la precipitación de carbonatos o algunas veces por la acumulación de restos orgánicos como pueden ser invertebrados, vertebrados o plantas. Cuando se presenta pura presenta un color blanco, pero si tiene impurezas como son fragmentos de arcillas, bióxido de silicio, óxidos de fierro, etc., presentan cambios en sus coloraciones pueden ser, amarillo, rosa, cenizo y negro [10].

Conglomerado.- Es una roca que equivale a una grava cementada, de hecho parece un concreto fraguado sin molde y compactada. Sus espacios vacíos están llenos de arenas y los minerales más comunes de estas rocas son el cuarzo y la calcedonia.

2.3 ROCAS METAMÓRFICAS

Son las rocas que se originan debido a la transformación de las rocas preexistentes, esta transformación se lleva a cabo por los ataques a los cuales son sometidas las rocas, estos ataques son: por la temperatura extrema, la presión de otros cuerpos rocosos que se encuentran encima de estas, la tensión provocados por movimientos tectónicos o por soluciones de productos químicos que se encuentran en la naturaleza.

Debido a esto, las rocas que eran originalmente ígneas o sedimentarias cambiaron su estructura debido a la acción de metamorfismo y dan como resultado un roca con nuevas condiciones físicas, por lo que su estructura, textura y composición mineralógica son modificadas.

Rocas metamórficas más comunes:

Filitas; son rocas generadas por el metamorfismo de las arcillas y lutitas. Presentan cristales muy pequeños.

2.4. CENIZA VOLCÁNICA

La ceniza volcánica es roca que ha sido convertida en polvo o arena por la actividad volcánica. Estas cenizas tienen un tamaño inferior a 2mm, por ello la columna eruptiva las eleva a gran altura donde son arrastradas por el viento a grandes distancias antes de caer al suelo. Sin embargo, en erupciones muy grandes, la ceniza está acompañada por piedras que tienen el peso y densidad de granizos. La ceniza volcánica es muy caliente cerca del volcán, pero es fría cuando cae a distancias mayores. La caída de ceniza bloquea la luz del sol, reduciendo la visibilidad, causando, algunas veces, la oscuridad. La caída de ceniza puede también estar acompañada por relámpagos.

La ceniza se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva. La naturaleza normalmente violenta de una erupción, incluyendo chorros de vapor de agua (erupción freática), produce como resultado una gran cantidad de magma y tal vez roca sólida que rodea el viento volcánico, torneando las partículas hasta reducirlas al tamaño de granos de arena.

La pluma que se ve a menudo sobre un volcán en erupción está compuesta principalmente de cenizas y vapor. La eyección de grandes cantidades de ceniza provoca un cono de cenizas. La acumulación de cenizas tiende a cementarse hasta formar capas de una roca llamada toba volcánica. Las partículas más finas pueden ser arrastradas por el viento a lo largo de muchos kilómetros, que dan al paisaje un aspecto "polvoriento" al depositarse.



El término piroclasto se refiere a cualquier material volcánico sólido arrojado al aire durante una erupción. Si se eyecta magma líquido en forma de aerosol, las partículas se solidifican en el aire formando pequeños fragmentos de vidrio volcánico [11].

La ceniza volcánica fresca es arenosa, abrasiva, algunas veces corrosiva, siempre desagradable y puede causar molestias a niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias.

La ceniza desgasta y atasca la maquinaria. Contamina y obstruye la ventilación, suministros de agua y drenajes. La ceniza también causa cortos circuitos eléctricos en las líneas de la transmisión (sobre todo cuando está mojada). La exposición a largo plazo de la ceniza húmeda puede corroer los metales.

La ceniza se acumula como una fuerte nevada pero no se funde. El peso de la ceniza puede causar el colapso de los techos. Una capa de ceniza de una pulgada (25.4mm) llega a pesar de 5-10 libras (2.28kg – 4.35 kg.) por pie cuadrado (962cm²) cuando está seca, pero cuando está mojada de 10-15 libras (4.53-6.8kg) por pie cuadrado. Además, la ceniza mojada es resbaladiza. La ceniza puede quedar suspendida por el viento, y puede perturbar la vida de los habitantes inclusive por varios meses después de una erupción.

La ceniza volcánica también sirve como un recurso natural para la construcción y industria. La ceniza volcánica multa-formada grano se usa como un compuesto puliendo, y puede encontrarse en la pasta dentífrica y casa que friegan compuestos.

Los romanos mezclaron ceniza volcánica granular con cemento de la cal para crear un nuevo mortero más resistente. Este mortero les permitió a los romanos construir edificios fantásticos, los acueductos, los caminos, puertos. Hoy en día todavía se usa en construcciones.

La ceniza volcánica se usa como un relleno en adhesivos, cerámicas, etc.

3. MORTEROS

3.1 DEFINICION DE MORTERO.

La palabra mortero se deriva del latín Morterius, que es el nombre que se le dió “el caldero que se uso para cocer la cal” [2].

Es un material plástico, el cual es una mezcla de arena, algún aglutinante, como la cal, un líquido de amasado, como el agua y en ocasiones un aditivo, que al unirse forman una masa pastosa y moldeable que se endurece en un tiempo de aproximadamente 24 horas ya sea en el aire o en el agua, formando así una roca artificial, cuyas características y calidades varían según sea necesario (resistencia, forma, tamaño, etc.).

3.2 COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS.

En el esquema siguiente se describe su composición en una forma muy general, ya que todos los morteros cumplen con esta condición.

MORTERO = AGLUTINATE + MATERIAL ÁRIDO + LÍQUIDO DE AMASADO

En lo que varían los morteros es en las propiedades de cada material componente del mortero, el uso que se le vaya a dar, los materiales disponibles, el presupuesto económico y demás factores presente en una obra, de la dosificación aglutinante-agregado, de las características y granulometría del material inerte y de calidad y de cantidad del líquido de amasado. Por lo cual se explica en que consiste cada uno de los materiales que componen un mortero [10].

AGLUTINANTES

Los aglutinantes que se empleen responderán a las características mecánicas exigidas.

Los aglutinantes son materiales que mezclados con agua o algún solvente se hacen plásticos y al endurecer logran alcanzar un grado de resistencia mecánica. Las cuales pueden ser cal, cemento, yeso, arcilla, entre otros, sustancias o materiales que sirven para aglomerar, adherir, unir, etc. De acuerdo con sus características proporcionan al mortero resistencia, tiempos de fraguado, durabilidad y economía diferentes. Como los aglutinantes puros (aparte del yeso de estuco) presentan cambios volumétricos, se agrietan durante el endurecimiento, por lo consiguiente habrá que mezclarlos con arena a porcentajes determinados [2].

MATERIAL INERTE

El material inerte utilizado para la elaboración de morteros es la arena de origen volcánico; el más comúnmente utilizado es la arena negra triturada proveniente del basalto, también la arena de río o las calizas funcionan bien. El material inerte se usa para cumplir con varias funciones dentro del mortero:

- Proporciona resistencia mecánica al mortero.
- Para reducción al mínimo de los cambios volumétricos que se originan al fraguar el aglutinante.
- Permite la entrada del CO₂, favoreciendo la etapa de carbonatación (endurecimiento) del mortero de la cal hidratada.

La arena al mezclarse con los aglomerantes constituye “el soporte” para el mortero y su resistencia a la compresión. La arena debe de estar limpia, lavada, sin lodos, ni impurezas orgánicas.

Las arenas de grano redondeada proporcionan un mortero más fácil de trabajar que las arenas de trituradoras [2].

DIFERENTES TIPOS DE MORTEROS

- **Mortero aéreo.** Es aquel que fragua al contacto con el aire, como los morteros de arcilla, yeso y cal hidratada.
- **Mortero hidráulico.** Tiene la propiedad de endurecer rápidamente, además tienen las propiedades de fraguar en contacto con el agua o en presencia de humedad como el yeso hidráulico, cal hidráulica, mortero comercial y de cemento.
- **Mortero bituminoso.** Son los morteros en los cuales se emplean emulsiones asfálticas o cemento asfáltico para su elaboración.

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS

Los morteros se clasifican de acuerdo al tipo de fraguado o según su composición (Tipo de aglutinante) [5].

CLASIFICACIÓN DEL MORTERO POR EL TIPO DE FRAGUADO

Mortero físico.

El paso del estado pastoso o semi-líquido al sólido se verifica mediante el secado o fraguado que se da sin recursos químicos, esto puede aplicarse a los morteros de barro, morteros de suelo refractario, morteros de asfalto y los modernos morteros con adhesivos a base de materiales sintéticos.

Mortero químico.

El fraguado se lleva a cabo por medio de una reacción química, por ejemplo en este tipo de mortero contamos con los morteros de cal, cemento, yeso y mortero comercial. Las mezclas entre estos tipos de morteros y el empleo de distintos aditivos también se hacen frecuentemente.

MORTEROS

- AÉREOS:
 1. DE ARCILLA
 2. DE YESO
 3. DE CAL HIDRATADA

- HIDRÁULICOS:
 1. DE YESO HIDRÁULICO
 2. DE CALES HIDRÁULICAS
 3. DE CEMENTO
 4. COMERCIAL

- BITUMINOSOS

3.4. USOS DE LOS MORTEROS

Los morteros por lo general tienen distintas aplicaciones y funciones, en seguida se mencionan algunos de ellos:

La función principal de los morteros es unir y pegar elementos simples en la obra: piedra, ladrillo, bloques, tabique, etc., formando muros, pilares y unidades resistentes.

- Aplanado con acabados especiales para restauración.
- Para banquetas, andadores, plantillas de desplante.
- Junta de albañales y construcciones de registros.
- Para llevar a cabo el revestimiento de superficies, protegiéndolas y decorándolas con aplanados exteriores.

4. ESTUDIOS DE LOS MATERIALES

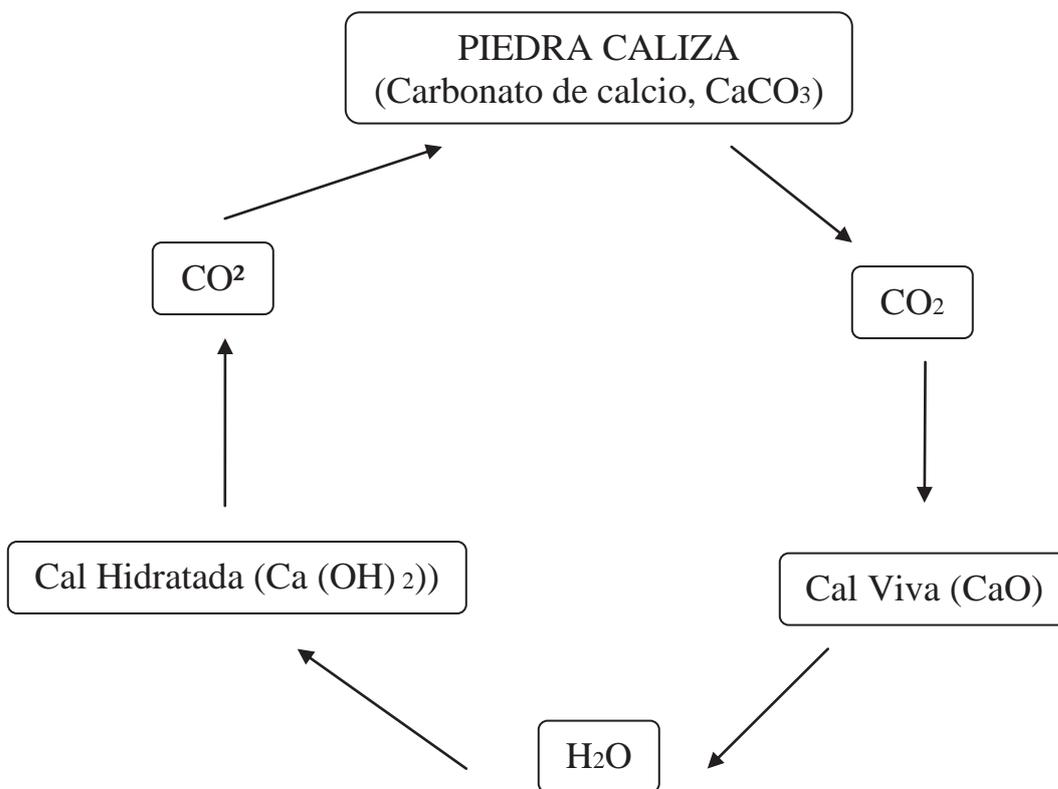
4.1 ESTUDIO DE LA CAL

4.1.1 DEFINICION DE LA CAL

La cal es un compuesto químico muy versátil, derivado de los minerales de la piedra caliza, la podemos encontrar en cualquiera de estas tres formas: piedra caliza, cal viva y cal hidratada.

De estas tres formas, la cal forma un ciclo:

4.1.2. CICLO DE LA CAL



PIEDRA CALIZA (CaCO₃)

La piedra caliza es una roca de origen sedimentario, se formó a partir de material precipitado por acción química y orgánica sobre las aguas de escurrimiento lacustre, zonas marinas, cavernas y llanuras secas. Los elementos de calcio y magnesio que están distribuidos en la corteza terrestre, se encuentran formando la piedra caliza en forma de carbonatos. Tiene diversos modos y por lo tanto, hay muchas variedades de textura, en algunas la textura es tan densa que no hay partículas visibles y la roca parece superficialmente un basalto. En cambio pueden ser granular y reconocerse fácilmente la calcita o dolomita. La roca caliza esta compuesta básicamente por carbonato de calcio (calcita), y por carbonato de magnesio (magnesia) hasta un 30% e impurezas como sílice, alumina, oxido de hierro, entre otros. La roca caliza tiene un contenido total de más del 50% de carbonato de calcio. La forma más pura de calcita y magnesia es blanca; pero la roca caliza más común es gris, café claro o negra. Tiene una gravedad

específica entre 2.72 y 2.94, su dureza es de 3.0 a 3.5 en la escala de Mohs. Tiene una gran uniformidad en la variación de tamaños, es muy estable en presencia de agua.

Existen dos tipos principales de calizas definidas por el origen de su formación, calizas orgánicas, calizas inorgánicas y calizas químicas [10].

CALIZAS ORGÁNICAS

Las calizas pueden originarse mediante la acumulación de las partes duras de organismos, especialmente de invertebrados marinos, que utilizan el carbonato de calcio para formar estructuras de protección o de sostén. Las arenas y los bancos conchíferos, los arrecifes de coral y las arenas coralíferas, son ejemplos de depósitos actuales de carbonato. También se produce la precipitación del carbonato de calcio por la acción de las plantas verdes sub-acuáticas. Esta acumulación acompañada generalmente de algunas impurezas, se llama marga. Tanto en las algas, como entre las bacterias, hay variedades que producen la precipitación del carbonato de calcio.

CALIZAS INORGÁNICAS

La precipitación inorgánica del carbonato de calcio se produce de diferentes maneras. Cualquier trastorno o agitación que reduzca el contenido de anhídrido carbónico del agua, puede determinar la precipitación, una disminución de la presión o elevación de la temperatura del agua. La evaporación puede causar el mismo resultado.

Existen diversas variedades de calizas como pueden ser: greda, dolomita, caliza fosfórica, estalactitas y estalagmitas, travertino, tufa caliza, mármol, etc. Existen en todo el mundo calizas de diferentes grados de pureza, las rocas clasificadas como comerciales contienen cantidades variables de carbonato de magnesio.

- ❖ Caliza rica en calcio: cuando el elemento magnesio se haya en una cantidad inferior del 5% en una piedra caliza.
- ❖ Caliza magnesiana: si esta proporción de carbonato de magnesio es mayor al 5%
- ❖ Caliza dolomítica: una caliza que contenga entre 30 y 45% de magnesio.
- ❖ Caliza dolomita: la roca caliza tiene la misma cantidad de carbonato de calcio y carbonato de magnesio.
- ❖ Caliza fosfórica: la roca caliza contiene fosfato de calcio, se encuentra en la Sierra del Estado del Zacatecas y es utilizada para fabricación de fertilizantes.

La principal propiedad industrial de la caliza, es su facilidad de descomposición bajo la acción del calor, o una temperatura de 800 a 900°C, formándose dos productos: la cal viva (CaO) y el dióxido de carbono (CO₂). A su vez, la cal viva con el agua (H₂O) forma la cal hidratada (Ca(OH)₂) (Cortes A. y Bautista M., 1987).

CALIZAS QUÍMICAS

La caliza también se forma cuando el agua que hace contacto con las rocas contiene ácido carbónico en disolución. La disolución de las calizas provoca la formación de conductos atreves de su masa que van a ensanchando paulatinamente, no solo por solución sino por abrasión, llegándose a formar enormes cavernas.

CAL VIVA (CaO).

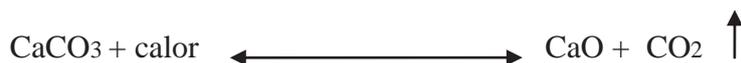
Es llamada así por no endurecer dentro del agua, en contraste con la cal hidráulica, se fabrica a partir de piedra caliza triturada que contenga $\text{Ca} + \text{MgCO}_3 \geq 95\%$ y calcinándose entre 880 y 900 °C.

La cal viva es un polvo blanco, este color puede variar en función de su pureza y calcinación. Esta tiene un olor suave característico que es difícil de describir, excepto que recuerda ligeramente la humedad o la tierra [10]

PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA CAL VIVA

La calcinación se hace siguiendo este proceso:

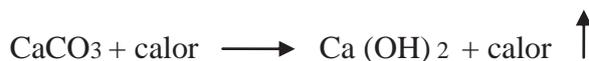
- La caliza se precalienta a 120-150 °C hasta perder el agua que contiene al momento de la extracción de la cantera.
- Se provoca en la caliza su disociación en CaO (óxido de calcio) y CO₂ (bióxido de carbono) a temperaturas de 880 a 900 °C.
- El CO₂ se pierde en la atmósfera, quedando como producto aprovechable el CaO:



El óxido de calcio obtenido de manera endotérmica se conoce como cal viva, caracterizándose por:

- Material sólido en forma de grumos.
- Color blanco de intensidad variable, dependiendo de su pureza química.
- Peso específico entre 3.08 y 3.30
- Material inestable por su avidez de agua (higroscopía)
- pH = 12.5

En presencia de agua libera calor, según la siguiente reacción, convirtiéndose en cal apagada o hidratada:



La reacción anterior puede también producirse cuando el CaO absorbe el vapor de agua de la atmósfera y de las sustancias vegetales y animales con que está en contacto. En el proceso de apagado la temperatura puede elevarse hasta 160 °C [10].

LA CAL HIDRATADA TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

El óxido de calcio (cal viva) en presencia de agua produce una reacción exotérmica, transformando la cal viva en su totalidad en cal apagada, también llamada cal hidratada, siendo su nombre químico hidróxido de calcio.

El endurecimiento de la cal se lleva a cabo muy lentamente, por la evaporación del agua de amasado con que se formó la pasta y la carbonatación por absorción de CO₂ del aire para formar CaCO₃ y MgCO₃ reconstituyendo la caliza original:



- ❖ Cal de color extremadamente blanca.
- ❖ Con un olor suave característico
- ❖ Esponjoso
- ❖ Partículas $\leq 1 \mu$
- ❖ Peso volumétrico 0.57 kg/cm³
- ❖ pH= 12.5
- ❖ No reacciona con el agua, pero es soluble en ella.
- ❖ Con partículas gruesas cuando tiene impurezas como sílice.

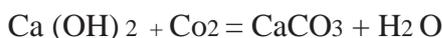
USOS DE LA CAL HIDRATADA

- Morteros de albañilería
- Agricultura
- Pesticidas
- Industria farmacéutica
- Calidad del aire
- Pigmentos
- Construcción

ENDURECIMIENTO DE LA MEZCLA DE CAL HIDRATADA – AGUA

El endurecimiento de la pasta o de la mezcla de cal hidratada con agua que se utiliza como ligante entre los materiales pétreos naturales o artificiales empleados en la construcción, se lleva a cabo muy lentamente, y se debe a la evaporación del agua de amasado con la que se formó la pasta.

Carbonatación por absorción del bióxido de carbono del aire. De esta manera se restituye la caliza de la cual se partió:



Esta reacción es muy lenta y sólo puede llevarse a cabo en un ambiente o aire seco, comenzando a endurecerse a las 24hrs de amasada la pasta, y terminando de carbonatarse al cabo de unos 6 meses o más.

En un ambiente húmedo esta reacción puede llevarse a cabo pero con muchísima dificultad, e imposible de conseguir dentro o en contacto con el agua, la cual la disuelve por la cual se prohíbe su uso en obras hidráulicas. Durante este proceso la pasta o la mezcla experimentan una contracción o disminución de volumen.

El endurecimiento es debido a la evaporación del agua que rodea a las partículas de hidróxido de calcio.

4.1.3. PROCESO DE FABRICACION DE LA CAL HIDRATADA

LA CAL HIDRATADA SIGUE LOS SIGUIENTES PROCESOS PARA SU FABRICACIÓN:

El proceso de fabricación de la cal hidratada incluye en general 6 etapas importantes:

1. Explotación del banco de caliza
2. Trituración
3. Calcinación: precalentado, calcinación y enfriado.
4. Apagado
5. Molienda.
6. Envasado y almacenamiento.

La explotación de los bancos de piedra caliza (el minado de la caliza se realiza al abrir una cantera mediante operaciones a tajo, a cielo abierto o en las laderas, según la topografía de la zona en que se encuentre).

La piedra caliza debe barrenarse y dinamitarse, para fragmentos hasta un tamaño adecuado para su calcinación, una vez fragmentada la piedra, debe ser transportada desde el lugar de explotación hasta el área molienda, a través de camiones de volteo u otro transporte. La molienda consiste en la reducción de tamaño de la materia prima (fragmentos de piedra caliza) al tamaño requerido, ya que el tamaño de reducción dependerá del tipo de horno con el que se calcine, después de la molienda el material es llevado al horno para su calcinación, el horno podrá ser vertical u horizontal según sea el caso, allí se eleva la temperatura hasta 880 y 900° C [10].

Para la descomposición de la piedra caliza, hay tres factores esenciales en esta descomposición:

- La piedra caliza debe ser calentada hasta la temperatura de descomposición de los carbonatos.
- La temperatura debe ser mantenida en este punto durante el tiempo necesario para completar la reacción de descomposición.
- El dióxido de carbono que se produce debe ser removido. En la descomposición térmica del carbonato de calcio puro, hay una pérdida teórica del 44% en peso por el dióxido de carbono no liberado. Esto es llamado pérdida por ignición.

La calcinación de la piedra caliza incluye: precalentado, calcinación y enfriamiento, apagado el material producto de la calcinación, molienda del material resultante, envasado y almacenamiento del material.

El material obtenido después de la calcinación de la piedra caliza, es la cal viva, este será llevado enseguida a una zona de enfriamiento donde su temperatura baja, se realiza una molienda a este material para una nueva reducción del tamaño de los granos, el objetivo de esta operación es para que el proceso de hidratación se realice eficientemente.

Después de lo anterior, se lleva a cabo el proceso de hidratación, donde la cal viva es tratada aproximadamente con un 30% de exceso de agua sobre los requerimientos de la reacción química teórica para que sea transformada en hidróxido de calcio o cal hidratada.

El material de hidratación sale en forma de polvo con una temperatura entre 130 y 150°C, el material se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Finalmente el producto resultante, la cal hidratada es empacada para su comercialización [10].

4.1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS CALES SEGÚN SU COMPOSICION

Existen dos tipos de cales: cales aéreas y cales hidráulicas.

- **CALES AÉREAS**

Una cal aérea es aquella que no endurece dentro del agua.

Es muy importante no confundir la *cal aérea* llamada *cal viva*, con la *cal hidráulica*, ya que esta última contiene muchos silicatos y tiene un comportamiento diferente, sobre todo como material de construcción. La *cal hidráulica* tiene un comportamiento similar al cemento blanco [12].

Sólo la *cal aérea* tiene capacidad **bioclimática** y es capaz de conservarse en perfectas condiciones durante siglos, ya que posee poros que dejan transpirar las paredes y al mismo tiempo la impermeabilizan. También el núcleo que conserva, regula la temperatura del interior de una casa gracias al efecto de "respiración" de la casa a través suyo. Para ello, el resto de los materiales deben ser *tradicionales*, como piedra, barro, ladrillo tradicional, etc.

Las cales aéreas se pueden clasificar como sigue:

Dependiendo del material que se encuentra en la naturaleza con la piedra caliza, la cal se clasifica de la siguiente manera:

- **CAL GRASA**

Es un producto de la calcinación, principalmente del carbonato de calcio, se obtiene una cal viva casi libre de impurezas, con un alto porcentaje de óxido de calcio. Es higroscópica y en contacto con el agua produce los mismos efectos que la cal viva.

Si la caliza contiene hasta un 5% de arcilla y menos del 3% $MgCO_3$, la cal que produce al calcinarse se conoce como cal grasa o rica en calcio, al apagarse da una pasta fina trabajable y untuosa, que aumenta de volumen, pudiendo conservarse indefinidamente blanda en sitios húmedos, pero resguardada del aire tiende a secarse rápidamente.

Las cales grasas son más fáciles de obtener y de mayor rendimiento, incrementan su volumen al apagarse hasta tres veces y media su volumen inicial, su plasticidad es muy buena, es la más utilizada en la construcción por su resistencia [2].

- **CAL POBRE (CAL MAGRA)**

Se obtiene cuando la caliza contiene impurezas tales como arena u otros materiales extraños, están presentes como adulterantes, si la cal obtenida contiene de un 50 a 80% de óxido de calcio con un alto porcentaje de sílice, aluminio y óxido de hierro, se le denomina cal magra o árida, cal pobre. En contacto con el agua reacciona lentamente lo que hace difícil su uso, y poco práctico.

Esta cal se apaga más lentamente que la grasa, desprendiendo menos calor su pasta es menos trabada y untuosa y su uso debe evitarse en las construcciones.

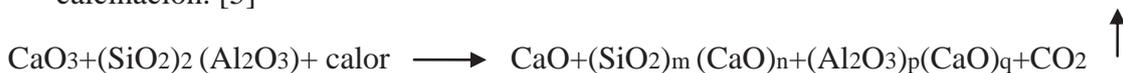
- **CAL QUÍMICA**

Contiene más del 95% de hidróxido de calcio, es utilizada en la fabricación de vidrio, tratamientos de lodo industrial mineral, papeleras y neutralizador de minerales.

La cal grasa es más fácil de obtener y de mayor rendimiento que la cal magnésica, incrementa su volumen al apagarse, hasta tres veces y media del volumen inicial y las de magnesia por mucho dos veces. La plasticidad de la cal grasa es superior a la de la magnesia, pero en cuanto al fraguado y resistencia es mejor la cal de magnesia.

- **CALES HIDRÁULICAS**

Cuando la piedra caliza que se somete a la calcinación, pero contiene o esta mezclada artificialmente con una cierta cantidad de arcilla, mayor de un 55% sin que supere el 20%, a temperaturas superiores a los $1000^{\circ}C$, reaccionan los productos de la disociación de los silicatos que componen la arcilla. Los productos de la descomposición de la arcilla, SiO_2 y Al_2O_3 reaccionan con el CaO , dando origen, la cal hidráulica. De manera aproximada ya que los silicatos y aluminatos de calcio no son bien conocidos, se puede escribir la siguiente reacción que tiene lugar en la calcinación. [5]



La indeterminación de los silicatos y aluminatos se debe a que varían de acuerdo a las temperaturas alcanzadas, dando lugar a productos hidráulicos de propiedades distintas. Al someterse al proceso de apagado una cal hidráulica, el óxido de calcio CaO libre en ella, reacciona en la misma forma que en las cales ordinarias, formando hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$.

Los silicatos y aluminatos permanecen insensibles hasta que el óxido de calcio se haya saturado de agua, cuando esto sucede, los silicatos y aluminatos son atacados, lo

cual se debe evitar para obtener un producto aglomerante adecuado. Esta característica impone a esta cal limitaciones que las cales aéreas no tienen, por lo que es necesario evitar la formación de los aluminatos e hidrosilicatos de calcio que son los que le dan a la cal las características hidráulicas.

Apagadas las cales hidráulicas, tienen las mismas propiedades que las cales aéreas tales como: amasado, fraguado, adquiere mayor resistencia mecánica, menor tiempo de fraguado y menor contracción. Estas mejoras son mayores cuando mayor

proporción de arcilla contiene la piedra caliza, pues mayor será la cantidad de silicatos y aluminatos obtenidos con la reacción CaO [2].

Las cales hidráulicas tienen aproximadamente la siguiente composición química:

● CaO (Óxido de Calcio)	64.00 %
● SiO_2 (anhídrido Silícico)	24.99 %
● Al_2O_3 (Alúmina)	4.50 %
● Fe_2O_3 (Óxido de Hierro)	1.00 %
● MgO (Óxido de Magnesio)	1.00 %
● SO_3 (Anhídrido Sulfúrico)	0.50 %
● Pérdidas por calcinación	5.00 %

[Saad, 1982]

Sólo cuando la cal contenga más de 10% de silicatos, fragua bajo el agua.

Dentro de las cales hidráulicas existen los siguientes tipos de cales:

● **CALES HIDRÁULICAS NATURALES**

Son naturales ya que no tiene ningún tipo de aditivo, como los cementos y poseen mucha más resistencia que una cal aérea, que para poder usarse en construcción deberá estar siempre mezclada con algún tipo de aditivo llamados puzolánicos (cemento, ceniza volcánica, escoria, etc.) para obtener resistencia. La resistencia de este tipo de cales naturales hidráulicas viene dada por la combinación de sílice que se da durante el proceso de cocción de la cal.

● **LAS CALES HIDRÁULICAS NO NATURALES**

Consiguen su resistencia por adición de elementos puzolánicos durante la hidratación de la cal es decir durante su apagado, no durante la cocción.

Las cales hidráulicas naturales se pueden utilizar en construcción y rehabilitación de edificios antiguos, ya que no contiene ningún tipo de Sulfato, Aluminatos, Sales, etc. y que pueden dañar tanto el edificio a rehabilitar o a construir [12].

CLASIFICACIÓN DE LAS CALES POR SU CONTENIDO DE ARCILLA

(Estudio realizado por Vicat) [2].

NATURALEZA DEL PRODUCTO	INDICE HIDRAULICO	% DE ARCILLA EN LA CALIZA	TIEMPO DE FRAGUADO	OBSERVACIONES
Cal grasa o magra	0.00 – 0.10	0.00 – 5.30	6 meses ó mas. Lento	Fragua solo en aire
Cal débilmente hidráulica	0.10 – 0.16	5.30 – 8.20	16 – 30	Días
Cal medianamente hidráulica	0.16 – 0.31	8.20 – 14.80	10 – 15	Días
Cal propiamente hidráulica	0.31 – 0.42	14.80 – 19.10	5 – 9	Días
Cal eminentemente hidráulica	0.42 – 0.50	19.10 – 21.80	2- 4	Días
Cal limite o cemento lento	0.50 – 0.65	21.80 – 26.70	1- 12	Horas
Cemento rápido	0.65 – 1.20	26.70 – 40.00	5 – 15	Minutos

[Saad, 1982].

4.1.5. DESCRIPCIÓN DE LA CAL APAGADA PARA ESTE ESTUDIO

Para elaborar los morteros para este estudio se utilizó cal apagada fabricada por el Arq. Alberto Bedolla.

Cuando apagamos una cantidad de cal cualquiera, la podemos almacenar en una "balsa" o "pudridero" durante años, dejando que siga *apagándose* y madurándose. El periodo mínimo para poder ser usada es de dos meses; cuantos más años pase en reposo, mejor comportamiento tendrá después, carbonatándose de forma óptima al utilizarse en morteros.

Por supuesto, no todas las canteras de cal ofrecen la misma calidad de producto y cuanto mayor porcentaje de carbonato tenga una cal, mejor calidad tendrá la *cal apagada*, siendo las ideales las que se acercan a la composición del [mármol](#) [12].

La cal al ser “apagada” alcanza una temperatura de 90° C por lo que hay que tener cuidado. Sólo debe hacerse en recipientes metálicos o de ciertos plásticos. Durante este proceso y posteriormente, la cal se vuelve *caústica* y puede provocar quemaduras químicas muy graves.

Esta cal la podemos clasificar según su composición como una “cal aerea”

4.2 ESTUDIO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

4.2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

En los trabajos de ingeniería, el utilizar el tipo y la calidad de agregado adecuado, no debe pasarse por alto, ya que estos materiales ocupan entre el 60 y 75% del volumen del mortero, sus características influyen en la mezcla tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla, durabilidad, resistencia y economía debido al abundamiento que les proporciona a las mezclas [IMCYC, 1992].

Los agregados pétreos provienen de la mezcla de (concreto y mortero) rocas y minerales, proporcionándoles ciertas características según su origen que puede ser ígneo sedimentario, metamórfico, el intemperismo y la erosión de la roca la transforma, dando origen a la grava, arena, limo, arcilla y otros materiales.

Los agregados pétreos se componen de materiales de distintos tamaños, esto da lugar a la primera clasificación de los agregados de acuerdo con su tamaño dividiéndolos en finos y gruesos [10].

- **Agregados Finos.** Lo constituye la arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores de 5 mm.
- **Agregado grueso.** Constituye una grava o piedra triturada cuyas partículas son mayores de 5mm y predominan entre 9.5mm y 38mm [S.A.R.H. ,1982].

Tanto la arena como la grava naturales son producto de la excavación o draga de algunas minas, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce a través de procesos mecánicos industriales, triturando piedra de cantera, piedra bola o grava de gran tamaño.

Los agregados deben cumplir con varios de los siguientes requisitos para darles un uso adecuado:

- Deben ser partículas durables
- Limpias
- Resistentes
- Libres de productos químicos
- Libre de arcilla y materiales finos, ya que afectan la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento a cualquier aglutinante.

Para la elaboración de morteros solo se emplea el agregado fino (arena), por esta razón en este estudio se analizaron solamente las características del agregado fino y los métodos de ensaye a que es sometido.

Las rocas dependiendo de su origen, que puede ser ígneo, sedimentario o metamórfico se componen de varios minerales.

4.2.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO FINO (ARENAS)

Las arenas son el conjunto de granos sueltos e incoherentes y estructura cristalina que provienen de la desintegración de la roca por proceso mecánico y químico, las cuales atraviesan la malla No. 4 y son retenidos en la malla No. 200, y que arrastrados por corrientes aéreas o fluviales, se acumulan en lugares determinados o también se pueden obtener por trituración y molienda de rocas.

Atendiendo a su procedencia se pueden clasificar en:

- **Arena natural.-** Proviene de la desintegración de roca natural (material pétreo, inerte, que pasa la malla No. 4) producida de forma natural, cuyos fragmentos son depositados y transportados por fuerzas naturales, en depósitos. La arena natural no se somete a ningún proceso químico y físico para ser empleada principalmente como agregado en la elaboración de concretos, morteros y mezclas para carpetas asfálticas.
- **Arena manufacturada.-** Material inerte obtenido artificialmente, conforme a un proceso de reducción progresiva, mediante cualquier proceso de trituración y molienda de las rocas duras de materiales pétreos secundarios previamente fragmentados en dimensiones adecuadas, el material resultante debe pasar por la malla No. 4, se usa principalmente en la elaboración de concretos y morteros. Presentan superficies rugosas y granos angulosos, no contiene gran cantidad de polvos, ya que se pierden en el proceso de criba y selección al que son sometidas. Estas arenas son buenas para la elaboración de morteros y concretos siempre que provengan de piedras duras y no tengan aristas muy vivas y con ángulos muy agudos pues hace que disminuya la resistencia de estos elementos [Saad, 1982].

De acuerdo con el tamaño del agregado se clasifica en: (Ayala, 1999)

- Arena gruesa. Los granos pasan la malla No. 4 y son retenidos en la malla No. 10.
- Arena media. Los granos pasan la malla No. 10 y son retenidos en la malla No. 40.
- Arena fina. Los granos pasan la malla No. 40 y son retenidos en la malla No. 200.

Es importante mencionar la arena de Ottawa aunque no sea muy utilizada en la construcción por su elevado costo, pero con buenas características a la mezcla de mortero.

- **Arena graduada (Ottawa).-** Material pétreo, inerte con un contenido de 99.8% de sílice, en el cual, mediante un tratamiento de rodamiento, se eliminan las aristas y se obtienen partículas casi esféricas con superficie lisa. Este material debe pasar por la malla No. 20.

- Arena normal (Ottawa).- Material pétreo, inerte, igual a la arena graduada de Ottawa, excepto que debe pasar por la malla No. 20 y verterse en la malla No. 30, se usa como agregado en la elaboración de morteros para la fabricación de briquetas [Sadd, 1982].

De acuerdo con su modulo de finura (propiedad que se describe adelante), la arena se clasifica como sigue:

MODULO DE FINURA (MF)	CLASIFICACIÓN
< 2.0	Muy fina
2.0 – 2.3	Fina
2.3 – 2.6	Media fina
2.6 – 2.9	Media
2.9 – 3.2	Media gruesa
3.2 – 3.5	Gruesa
> 3.5	Muy gruesa

[13].

De acuerdo con su origen las arenas se clasifican en:

- **Arenas sílices o cuarzosas.**- se consideran como las mejores debido a su dureza y estabilidad química.
- **Arena caliza.**- estas pueden ser utilizadas si provienen de rocas duras, desechándose las blandas.
- **Arena granítica.**- No debe usarse salvo cuando contenga bastante cuarzo, debido a su alterabilidad y poca homogeneidad.
- **Arena arcillosa.**- Estas pueden ser empleadas cuando contengan menos del 3% de arcilla ya que esta altera el fraguado y plasticidad del mortero [Saad, 1982].

Dependiendo del tipo de yacimiento se denominan:

- **Arena de río:** se caracterizan por ser partículas redondeadas debido al acarreo que han sufrido, pueden contener arcillas y otras impurezas o estar limpias dependiendo de su localización.
- **Arena de mina.-** estas arenas se forman en el interior de la tierra, son de granos más angulosos y ordinariamente contienen arcillas y material orgánico.

De acuerdo con la cantidad y calidad de impurezas que contienen estas arenas se presentan de diferente coloración: azul, pardo y rosa. Las azules son las más puras, por provenir de la desintegración de las andesitas. Las arenas pardas contienen un porcentaje alto de polvos y las rosas contienen óxidos, ambas mediante un proceso de lavado pueden usarse ventajosamente.

Dentro de las arenas rosas existe la llamada pomarosa de características puzolánicas que son aptas para emplearse en la elaboración de morteros a base de cal aérea.

- **Arena de playa o duna.-** Estas arenas son empleadas en la construcción mediante un proceso previo de lavado y siempre que sus granos sean del tamaño adecuado, pues contienen sales alcalinas, que absorben y retienen la humedad, dando con el tiempo de origen a eflorescencias que son perjudiciales para acabados interiores, sus granos son muy pequeños, los morteros que con ellas se forman resultan anti-económicos y tienen muy poca plasticidad.
- **Arena volcánica.-** Estas arenas suelen encontrarse en las faldas y zonas próximas de los volcanes, provienen de rocas ígneas extrusivas tales como el basalto, andesitas y tobas porosas, de donde se extraen materiales como el tezontle, la piedra pómez (espuma volcánica), el tepetate, entre otros.
- **Arenas de cantera.-** Se obtienen de la explotación de cerros y montañas en forma abierta atacando varios frentes, el material resultante se somete a trituración para reducir los tamaños de las partículas.

Estas arenas son de buena calidad si se elige una roca sana y de estructura uniforme, es aconsejable eliminar las rocas tales como pizarras, esquistos y otras que presentan planos de fractura, ya que al ser sometidas a trituración se obtienen agregados lajudos que alteran las propiedades del mortero y concreto, aumentando el contenido de arena y de aglutinante para lograr una mezcla manejable [Saad, 1982].

4.2.3. FORMA DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO FINO

El tamaño y forma de los agregados para mortero se dosifican según el uso que se les vaya a dar, cuando necesitamos un mortero resistente e impermeable, es necesario que el agregado tenga mínimo de vacíos, y cuando se requiere una determinada resistencia es necesario que la lechada sea suficiente para cubrir la superficie de contacto de las partículas del agregado. La forma esférica de las partículas del agregado, proporciona una mezcla de mortero mas resistente y manejable, influye también en su economía, las partículas alargadas o planas, presentan con relación al volumen un área mucho mayor que es necesario recubrir con la lechada, restándole manejabilidad y plasticidad al mortero fresco. La arena de forma esférica proporciona una mezcla mas compacta que otra de granos angulosos y aplastados, por lo cual entre mas se utilicen materiales de forma redondeada, más compactos, resistentes y económicos resultaran los morteros.

4.2.3.1. HUMEDAD SUPERFICIAL

Las partículas del agregado están formadas por materia sólida y de vacíos que pueden o no tener agua. Las condiciones de humedad se describen en seguida.

1. Secado al horno.- Las partículas por tener todos sus huecos vacíos, absorben toda el agua con la que pueda entrar en contacto en el mortero.
2. Secado al aire.- Las partículas al estar en contacto con el medio ambiente se secan en la superficie, pero contienen cierta humedad interior, por lo tanto absorbe poco agua de la mezcla del mortero.
3. Saturados y superficialmente secos.- Las partículas en este estado tienen todos sus vacíos llenos de agua sin tener excedentes de agua en la superficie por lo tanto no absorbe ni aporta agua a las mezclas.
4. Húmedos.- Estas partículas contienen un exceso de humedad en la superficie aportando a las mezclas un exceso de agua que provocará una disminución en su resistencia.

4.2.4. DESCRIPCIÓN DEL AGREGADO PÉTREO UTILIZADO PARA ESTE ESTUDIO.

Para la elaboración de los morteros de este estudio se utilizo una arena natural que se clasifica con respecto al tipo de yacimiento como arena volcánica y no presenta contenido de materia orgánica por lo cual se considera ideal para trabajos en la construcción.

Esta arena proviene del banco de materiales “Joyitas”, que se ubica cerca de la ciudad de Morelia, Michoacán, km 14+000 Carretera Morelia Quiroga.

Para conocer más de este material se hicieron pruebas para obtener sus propiedades físicas y se mencionan a continuación:

- Granulometría
- Pesos volumétricos
- Absorción y densidad
- Impurezas orgánicas
- Sedimentación
- % de material que pasa la malla No. 200
- Contenido de terrones de arcilla
- Equivalente de arena

Todas estas pruebas se describen en seguida:

4.2.5. DESCRIPCION DE LOS METODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGREGADO FINO (ARENA)

Generalidades.- El estudio de la arena es esencial, ya que influye en el comportamiento mecánico del mortero. Sus pruebas tienen dos objetivos:

Primero.- Determinar la adecuación del material para su uso, incluyéndose las pruebas de abrasión, sanidad, peso específico, análisis petrográfico y químico.

Segundo.- Para asegurar la uniformidad, como son las pruebas de control de humedad y granulometría de los agregados. Las pruebas que se le deben realizar a este agregado conforme a las normas ASTM son las siguientes:

4.2.5.1. MUESTREO DEL AGREGADO PÉTREO (ASTM D 75, 200).

Es importante llevar a cabo un muestreo correcto del agregado pétreo, ya que como se mencionó anteriormente este material influye en gran medida en el comportamiento del mortero.

Objetivo.- Obtener una muestra representativa y de tamaño adecuado, de la muestra obtenida en el campo.

Equipo

- Charolas de lámina
- Palas de boca recta
- Cucharones
- Brochas
- Balanzas
- Divisor de muestras

Procedimiento.- existen tres tipos de métodos para realizar el cuarteo en el agregado fino los cuales se describen a continuación.

1.- MÉTODO POR CUARTEO CON PALAS

1. Se vacía la muestra traída de campo en una orilla de la charola grande o bien en una superficie completamente limpia.
2. Se cambia el material de un extremo al otro, este cambio debe realizarse en forma de paleado, tratando de revolver todo el material, además debe procurarse formar con el material un cono. Este procedimiento se repite tres veces.
3. Habiendo concluido el paso anterior, se aplanan la parte superior del cono de arena, con la parte posterior de la pala, en seguida se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, se eliminan dos porciones opuestas, y el material de las otras dos porciones nos servirá para realizar las pruebas correspondientes a la arena.
4. Si la muestra obtenida es muy grande se repetirá el procedimiento nuevamente.

2.- MÉTODO DEL DIVISOR DE MUESTRAS (cuarteador de Jonson).

1. Se toma la muestra, puesta en la charola o superficie limpia, y se vacía sobre la parte superior del divisor de muestras, procurando repartirla en toda la longitud del divisor.
2. después de vaciar todo el material sobre el divisor de muestras se desecha el material contenido en uno de los dos moldes que reciben la muestra del material pétreo, si se desea una muestra mas pequeña de la obtenida, el material depositado en el otro molde se volverá a vaciar sobre la parte superior del divisor, este procedimiento se repetirá tantas veces como sea necesario hasta obtener una muestra de tamaño adecuado.

3.- PROCEDIMIENTO CON EL TROZO PLÁSTICO PARA MUESTRAS PEQUEÑAS

1. Se coloca el trozo de plástico sobre la superficie de una muestra, posteriormente se colocara el material en la parte central de plástico.
2. Se levantan los dos extremos opuestos del plástico y en seguida se levantan los otros dos extremos opuestos y se unen, posteriormente se regresa a su posición original. Este proceso se repite varias veces hasta obtener una muestra homogénea.
3. Se elimina la mitad del material mezclado, para lo cual se lleva el trozo de plástico con el material hasta el borde de la mesa, de tal manera que la mitad del plástico quede sobre la muestra y la otra mitad en el aire sujeta con una de las manos, cogiendo el extremo de esta sobre la mesa, se suelta el extremo que está en el aire con lo cual se elimina la mitad del material. Este deberá ser recibido en un recipiente para su uso.

4.2.5.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MODULO DE FINURA (ASTM C 136-96^a, 2000)

Generalidades.-

Es el procedimiento manual o mecánico, que se realiza al agregado pétreo, para cuantificar mediante un cribado por mallas de diferentes aberturas, las cantidades de peso de cada tamaño que constituyen al total. Esas cantidades se expresan como porcentajes retenidos por cada malla del total del material cribado, se calculan parcialmente y acumulados con los últimos se traza una gráfica, la curva que adopta la granulometría del material cribado. La granulometría del agregado es una propiedad importante para asegurar la calidad del mortero, afecta al proporcionamiento del mortero y su trabajabilidad. Los resultados de los análisis de mallas se emplean de tres formas:

1. Para determinar si los materiales satisfacen o no las especificaciones.
2. Para elegir el material más adecuado si se dispone de distintos agregados.
3. Para detectar variaciones en la granulometría que sean suficientes para justificar mezclas de tamaños seleccionados o algún ajuste en las proporciones.

Alcance.- Este método incluye la determinación de la distribución de partículas, por tamaños, de agregados finos, mediante el cribado. Una muestra de agregado seco, de peso conocido, se hace pasar a través de una serie de mallas, con abertura cada vez más pequeñas, para determinar la distribución de partículas por tamaños.

Equipo.

- Balanza sensitiva del 0.01% del peso de la muestra por ensayar
- Juego de mallas para arena (mallas 4,8,16,30,50,100,200), tapa y charola
- La malla No. 200 se utiliza para cuantificar el contenido de polvo que pasa
- Por esta última y se deposita en una charola que se acopla a las mallas en la parte inferior siendo el último cribado que se pesa.
- Cepillo de cerdas para limpiar las mallas.

Muestra de prueba.- La muestra del agregado, cuyo análisis granulométrico vaya a efectuarse, debe mezclarse perfectamente y reducirse a una cantidad conveniente por medio de un partididor de muestras o por cuarteo. El agregado fino se humedece antes de la reducción, a fin de reducir al mínimo la segregación y pérdida de polvo. La muestra para ensaye debe ser aproximadamente del peso deseado cuando esté seca, y debe ser el resultado final del método de la reducción hasta alcanzar un peso exacto determinado.

La muestra de prueba de agregado fino secada a peso constante, debe cumplir con los siguientes pesos aproximadamente:

Material con por lo menos el 95% de partículas menores de la malla No. 8	100 g
Material con por lo menos el 90% de material más fino de la malla No. 4 y más del 5% mayor de la malla No. 8	500 g

Sin embargo, en ningún caso la fracción retenida en cualquier malla al final de la operación de cribado debe pesar mas de 0.62grs por cm² de superficie de cribado, lo cual da 200grs para la malla usual de 20cm de diámetro (8 pulgadas). La cantidad de material retenido en la malla crítica puede regularse por medio de la colocación de una malla con aberturas mayores, inmediatamente encima de la malla crítica, o mediante la selección de una muestra de tamaño adecuado. Si el agregado fino contiene partículas de agregado grueso el material debe separarse en dos tamaños usando la malla No. 4.

Procedimiento:

1. Se seca la muestra hasta peso constante, se requiere de un horno que no exceda de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, o bien por medio de una parrilla.
2. Se acoplan los tamices en orden decreciente de tamaño de abertura, y se coloca la muestra en la malla superior.
3. La muestra se hace pasar por todas las mallas para realizar el cribado manual, haciendo un movimiento giratorio lateral de las mallas, acompañado de un golpeteo en la tapa. Con el cribado se pretende que cada una de las mallas se clasifique el material de acuerdo a sus tamaños, empleándose 15 minutos para realizarlo.

En el cribado mecánico con el aparato Rot – Tap, el tiempo de 10 minutos. En este aparato se produce un movimiento vibratorio y un golpeteo con un mazo colocado en la parte superior.

4. Terminado el tiempo de cribado, se separan las mallas, empezando con la No. 4, depositando el contenido en una hoja de papel para después ponerlo en la balanza, cuidando no perder el material, con el fin de obtener su peso. Con una brocha de cerda dura y punzón fino se desprenden las partículas adheridas a las mallas.
5. para comenzar a pesar el material retenido, se iniciara con el de la malla No. 4, hasta llegar al depósito de la charola. La aproximación de los pesos serán hasta del 0.1 de gramo.

Cálculo. Los porcentajes se calculan con respecto al peso total de la muestra, incluyendo al material más fino que la malla No. 200, que se haya determinado por medio de lavado.

SE CALCULARÁN LOS SIGUIENTES PORCENTAJES:

- Porcentaje total de material que pasa por cada malla
- Porcentaje total de material retenido en cada malla
- Porcentaje total retenido entre mallas consecutivas que vayan a aplicarse al material ensayado.

Los porcentajes se registrarán redondeado al número entero más próximo, excepto el material que pasa la malla No. 200, el cual se redondeará al 0.01 por más cercano.

Módulo de finura. Es un índice que la finura de un agregado aproximado, que nos describe en forma rápida y breve, la proporción de finos y gruesos que se tienen en las partículas que lo constituyen. Entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Para calcular el modulo de finura de la arena se suman los porcentajes retenidos en las mallas: 4, 8, 16, 30, 50 y 100, dividiendo el total entre 100. El módulo de finura debe estar comprendido entre 1.60 y 2.50 para morteros. El material que pasa la malla No. 200, se considera polvo, limitando a un 3% máximo del total cuando la arena es natural; cuando provienen de la trituración de roca, se eleva al 5% y 7% si se está libre de arcillas o pizarra.

4.2.5.3. PESO VOLUMÉTRICO DE AGREGADOS

(ASTM C 29/C 29M – 97)

El peso volumétrico, también llamado peso unitario o densidad en la masa de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente, con un volumen unitario específico.

Alcance.- Este método incluye los procedimientos para determinar el peso volumétrico de agregados finos, gruesos ó una combinación de ambos.

Equipo.-

- Báscula con exactitud dentro del 0.3 % del peso del ensaye en todo el intervalo de uso, el cual se considera que va desde el peso de la medida vacía (recipiente metálico), hasta el de la medida más su contenido, a razón de 1600 kg/cm³.
- Varilla metálica para compactar, de 15.9mm de diámetro, lisa y punta de bala.
-

- Un recipiente metálico en forma cilíndrica y de preferencia con asas. Deberá ser impermeable con las partes superior e inferior alineadas y aplanadas preferentemente maquinado para que tenga dimensiones exactas en el interior y con rigidez suficiente para conservarse bajo condiciones severas de uso.
- El borde superior no debe tener aristas vivas, estará contenido en un plano con una tolerancia de 0.25mm y deberá ser paralelo al fondo, con una tolerancia de 0.5 grados.

Muestra.- La muestra de agregado pétreo debe secarse hasta prácticamente peso constante, de preferencia en un horno entre 105 y 110°C, durante 24 hrs.

DETERMINACIÓN DEL PESO COMPACTADO

Procedimiento de compactación con varilla. La compactación con varilla es aplicable a agregados que tengan tamaño máximo de 38.1mm (1.5 pulgadas) o menos.

1. El recipiente para medir se llenara hasta la tercera parte de su volumen, a continuación, esta capa de agregado se compactara dándole con la varilla punta de bala (compactadota) 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie.

El recipiente para medir se llenará hasta las dos terceras partes de su volumen total y nuevamente se compactará con la varilla punta de bala, con 25 golpes como ya se describió, después se llenará totalmente el recipiente hasta que el material sobrepase el borde superior, compactándolo en la misma forma. La superficie del agregado se nivelara a mano o mediante un rasero, de modo que las proporciones de las partículas mayores de agregado grueso que sobresalgan compensen aproximadamente a los vacíos más grandes que queden en la superficie del agregado de bajo del borde superior del recipiente.

2. Al compactar la primera capa, la varilla no deberá golpear con fuerza el fondo del recipiente, al varillar la segunda y la ultima capa, se usara la energía suficiente para que la varilla penetre solo en la última capa de agregado que se haya colocado en el recipiente.
3. Se pesa el recipiente con su contenido ya enrasado, y se registra el peso neto, de este se restara el peso del recipiente, obteniendo el peso del agregado, redondeándolo al máximo 0.1% de su peso.
4. Este peso se divide entre el volumen del recipiente, obteniendo así el peso volumétrico seco varillado (PVSV).

DETERMINACIÓN DEL PESO SUELTO, PVSS

Procedimiento de traspaleo. El traspaleo es aplicable a agregados que tengan un tamaño máximo de 101.6 mm (4 pulgadas) o menos.

1. Se llena el recipiente por medio de una pala o cucharón hasta que el material se derrame, descargándolo desde una altura no mayor de 5cm arriba de la parte superior del recipiente.
Se tendrá cuidado de evitar, hasta donde sea posible la segregación de las partículas que constituyen la muestra de diferentes tamaños. La superficie de agregados se nivelará después a mano o con rasero, de tal manera que las proporciones de las partículas mayores que sobresalgan compensen aproximadamente los vacíos superficiales más grandes bajo el nivel de la parte superior del recipiente.
2. Se pesa el recipiente con su contenido, y se registra el peso neto, de este se restará el peso del recipiente, obteniendo el peso del agregado redondeándolo al más próximo 0.1 décimo de gramo y se divide entre el volumen del recipiente, obteniendo así el peso volumétrico seco varillado (PVSV).

Precisión al reproducir los resultados.- Los resultados obtenidos por un mismo operador usando la misma muestra y procedimiento, deben acordar dentro del 1.0% de su peso.

MÉTODO DE ENSAYE PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO. (ASTM C 128 – 97, 2000)

Generalidades:

La absorción mide la cantidad de agua expresada en por ciento, que es capaz de absorber un material, con respecto a su peso seco, depende directamente de la porosidad de los materiales y de la intercomunicación entre sus poros [2].

Alcance.- Determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

Equipo:

- Muestra representativa de aproximadamente de 2kg de arena
- Una balanza sensitiva al 0.1 de gramo
- Una serie de charolas para depositar las muestras de arena.
- Una parrilla eléctrica.
- Un molde tronco cónico de material inoxidable o de latón con una altura de 7.3cm y base de 8.89cm y 3.881cm de diámetro.

- Un pison de material inoxidable con un peso de 340 (+/-) 15 gramos.
- Una espátula

Procedimiento:

1. Se seleccionan una o varias muestras de la arena por ensayar, mediante el método de cuarteo sucesivo con un partidor de muestras, cada muestra de aproximadamente de 2 kg. (la muestra se satura 24hrs como mínimo).
2. Al término de este tiempo se seca superficialmente, como se describe:
 - Se pone la arena en la charola, se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación del agua que tiene en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial.
 - Para saber cuando la arena esta seca superficialmente, se coloca el molde troncónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena este cono con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pizón, dando 12 golpes en la primera capa, 8 en la segunda capa y 5 en la tercera capa, inmediatamente después se retira el cono, si la arena trata de disgregarse, quiere decir que ya esta seca superficialmente, si la arena mantiene la forma de cono, significa que el material aun tiene exceso de agua, por lo tanto, hay que seguir secando el material hasta que obtenga el secado superficial.
3. Cuando la arena este seca superficialmente hay que pesar una muestra de aproximadamente 300grs registrando este paso como peso saturado seco (PH).
4. La muestra de 300grs se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea hasta eliminar completamente el agua.
5. Para saber cuando el material está seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco procediendo a pesarlo y registrando este peso como el peso seco del material (PS).

Cálculos.

$$\% \text{ Humedad de absorción} = ((PH - PS)/PS) * 100$$

Donde:

PH = Peso saturado y superficialmente seco en grs

PS = Peso seco del material en gramos

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO
(ASTM C 128 -97, 2000)

La gravedad específica de un agregado es la relación que existe entre su peso de un volumen absoluto igual al del agua (agua desplazada por inmersión), el valor de la gravedad específica es un índice de calidad del material (arena), el cual nos indicara si el material es poroso o muy pesado, si el resultado es bajo podemos afirmar que es poroso y si es alto es muy pesado [2].

Alcance. Determinar si el peso de la unidad de volumen de ese material, sin considerar los vacíos que existen entre partículas. Las partículas se consideran saturadas en agua y superficialmente secas.

Equipo.-

- Una balanza con capacidad de 2kg y un décimo de aproximación
- Parrilla, espátula, charola
- Cono de latón y pisón para secado superficialmente de la arena (ver prueba de humedad de absorción).
- Frasco de Chapman

Procedimiento:

1. Se pone a saturar el agua, una muestra representativa de arena de 1.5 a 2.0kg durante 24 horas como mínimo.
2. De la muestra saturada se toma una porción de 1 kg y se escurre la humedad libre.
3. Se procede a secar superficialmente la muestra y controlando el secado por medio del molde (cono) y pison.
4. Se pesa el frasco de Chapman al décimo de gramo, se anota este peso como W_0 y posteriormente se llena el frasco de agua hasta la mitad de la primera esfera.
5. De la arena seca superficialmente, se toma una porción de 200 a 300 grs pesados al décimo de gramo y se anota como W_1 , la cual se coloca en el frasco. Se agita durante 5 minutos para eliminar las burbujas de aire atrapadas; también se puede eliminar rodando el frasco sobre una superficie horizontal, un tiempo conveniente.
6. se llena hasta la marca de 450ml del frasco de agua, se procede a pesar el frasco con el material y el agua y se anota ese peso como W_2 .



Cálculo.

La gravedad específica se calcula con la siguiente fórmula:

$$GE = W1/(450 - (W2 - W0 - W1))$$

Donde:

GE = La gravedad específica de la arena.

W0 = Peso del frasco Chapman en grs

W1 = Peso del material en gramos

W2 = Peso del frasco con el material y el agua

450 = 450 ml Capacidad total del frasco Chuman

4.2.5.6. IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO

(ASTM C 40 – 99)

Las impurezas orgánicas son fracciones pequeñas de hojas o sustancias nocivas, que si existen en altas cantidades en el agregado fino alteran en forma perjudicial las reacciones normales entre el agua y el aglomerante, teniendo como resultado la disminución de la resistencia del mortero. El principal valor de esta prueba es indicar si hay necesidad de ensayos posteriores como lavado o cribado para alcanzar la capacidad de durabilidad y resistencia de los morteros.

Alcance.- Este método describe el procedimiento para determinar, en forma aproximada, la presencia de compuestos orgánicos perjudiciales en arenas naturales que se vayan a emplear en la fabricación de los morteros o de concretos.

Equipo.-

- Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm³ de capacidad, con marcas a cada 25cm³ (Frasco de biberón).
- Charolas, parrilla de secado, espátula, balanza, vasos de precipitado.
- Material para soluciones y vidrio de color normal.
- Solución de sosa cáustica 30grs por litro de solución normal en agua destilada.
- Cuando no se tiene el vidrio de color normal hay que preparar la solución de color normal como sigue:
 - a) Solución de acido tanico 2grs en 10cm³ de alcohol, posteriormente se añaden 90cm³ de agua destilada, se hace en un vaso de precipitado.
 - b) Solución de sosa cáustica 30grs por litro en agua destilada.
 - c) Se toman 2.5cm³ de la primera solución (acido tanico) y se reúnen con 97.5cm³ de la solución de sosa cáustica.

La solución de color normal se hará simultáneamente con la prueba que se hace con la arena y se colocara en una botella de las indicadas anteriormente (frasco de biberón), después de 24hrs comparar los colores.

Procedimiento:

1. Se toma una muestra representativa de arena de 500grs aproximadamente.
2. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110°C.
3. Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206cm³.
4. Se tapa la botella y se agita fuertemente durante 2 minutos como mínimo, posteriormente se deja reposar un tiempo mínimo de 24 hrs.
5. Determinación del valor del color.
 - a) Procedimiento preferente. Al terminar el reposo de 24 horas, debe llenarse una botella hasta la marca correspondiente hasta 75ml con la solución que indica el color (color normal) estándar de referencia, la cual tiene que prepararse dentro de las dos horas anteriores, se comparará el color del líquido que queda sobre la muestra (después de que ésta se halla asentado), con el de una solución estándar de referencia y se registra si es mas claro, más oscuro o de igual color. La comparación de colores se lleva a cabo con las dos botellas juntas y mirando a través de ellas.
 - b) Procedimiento optativo. En lugar del método del inciso anterior, el color del líquido que queda sobre la muestra (una vez que esta se haya asentado) puede compararse con un vidrio de color equivalente al de la solución estándar de referencia, al respecto existe un instrumento adecuado con un vidrio de color estándar, montado en un marco de plástico (carta colorimétrica).

Recomendaciones.- si el color obtenido es más oscuro que el color normal, podemos sospechar un exceso de materia orgánica en la arena.

Para probarlo debemos hacer otra prueba de impurezas orgánicas con la misma arena pero lavada ya que ocasionalmente se presentan materiales de origen inorgánico que reaccionan con la solución de sosa dando un color oscuro sin existir materia orgánica. Esta es la razón por la cual debe repetirse la prueba y si esta vuelve a dar color oscuro debemos completar la prueba de impurezas orgánicas con un análisis químico.

4.2.5.7. SEDIMENTACIÓN EN ARENAS

(L. Navarro, W. Martinez, J. Espinoza, 2000)

Alcance.-Determinar si el contenido de material fino que contiene una arena es aceptable o no para la elaboración de concretos o morteros.

Equipo.

- Un frasco de vidrio graduado con tres marcas, la primera a los 414ml, la segunda a la 444 y la tercera a los 828ml.
- Una muestra de arena seca de 2kg aproximadamente
- Un litro de agua de preferencia destilada

Procedimiento

1. Se coloca la arena seca dentro del frasco hasta la marca de 414ml, y se le coloca agua hasta la marca de 828ml.
2. Se tapa el frasco que contiene el material con el agua con la tapa de la mano y se procede a agitarlo hasta que todo el material fino quede en suspensión en el agua durante 2 minutos.
3. En seguida se deja reposar el frasco durante 24 horas, para determinar el nivel de material fino, esto es que durante el tiempo de reposo el material fino se va a sedimentar sobre el material más grueso, por lo tanto hay que observar si el nivel del material fino rebasa o no el nivel de 444ml.



Informe

Si el nivel del material fino rebasa la marca de 444ml se reportará el material con exceso de finos.

Si el material fino no rebasa la marca de 444ml, se reportará que el contenido es aceptable.

4.2.5.8. MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200 EN AGREGADOS MINERALES, POR MEDIO DEL LAVADO.

(ASTM C 117)

Alcance.- Este método incluye el método para determinar, por medio de lavado, la cantidad de material que pasa la malla No. 200 (74 micrones) contenido en el agregado pétreo.

Equipo.

- Balanza con exactitud de 0.1% del peso que se determine
- Tamices.- Se usará un juego de dos tamices, el inferior del No. 200 (74 micrones) y el superior del No. 16 (1.19 micrones)
- Recipiente de tamaño adecuado para contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin pérdida de muestra cubierta o agua.
- Horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Muestra de prueba.- La muestra del agregado que se va probar deberá mezclarse completamente y reducirse a una cantidad adecuada, por medio de un partididor de muestras o por cuarteo. El agregado se humedecerá antes de la reducción, a fin de disminuir al mínimo de segregación y pérdida de polvo. La muestra para la prueba será la que se obtenga del método de reducción. El peso de la muestra de prueba, después de secada, estará de acuerdo con lo siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA EN GRAMOS
2.38 mm (No. 8)	100
4.76 mm (No. 4)	500
9.51 mm (3/8 pulgadas)	2000
19.1 mm (3/4 pulgadas)	2500
38.1 mm (1 ½ pulgadas) o mayor	500

Procedimiento.- La muestra de ensaye se seca hasta peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, y se pesa redondeando al máximo 0.1% de su peso. Después de secada, se coloca una muestra de ensaye en el recipiente y se añade agua suficiente para cubrirla. La muestra se agita hasta lograr que se separen de las más gruesas todas las partículas mas finas que la malla No. 200, y que el material fino quede

en suspensión. Inmediatamente se vierte el agua de lavado que contenga los sólidos, en suspensión y disueltos, sobre la malla que deberá estar una sobre otra, de tal manera que la mayor quede arriba. Debe evitarse, hasta donde sea posible, la decantación de las partículas gruesas de la muestra.

Nuevamente, se añade agua a la muestra en el recipiente, se agita y decanta de la manera ya explicada. Esta operación se repite hasta que el agua de lavado quede limpia.

Finalmente, se regresa todo el material retenido en las mallas a la muestra lavada, haciendo pasar agua a través de ellas, el agregado lavado se seca hasta peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, y se pesa redondeando al más próximo 0.1% de peso de la muestra.

Cálculo.

La cantidad de material retenido en la malla No. 200 se calcula redondeando al más próximo 0.1% de peso, como sigue:

$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

Dónde:

A = Porcentaje de material que pasa la malla No. 200, por lavado.

B = Peso seco original de la muestra, en grs.

C = Peso seco de la muestra después del lavado, en grs.

4.2.5.9. PRUEBAS DE TERRONES DE ARCILLA EN ARENA

(L. Navarro, W. Martínez, J. Espinoza, 2000)

Alcance.- Este método incluye el procedimiento para determinar la cantidad de terrones de arcilla que contiene una arena, ya que son partículas de baja resistencia estructural, que además en contacto con el agua forman lodos que contaminan las mezclas del concreto o mortero, cuando se forman en abundancia formando parte de la arena.

Equipo.

- Mallas No. 16 (1.19mm) y No. 30 (quinientas noventa y cinco micras).
- Parrillas eléctricas
- Charolas
- Espátulas

Procedimiento.- Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 1kg, se seca hasta peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ teniendo cuidado de no romper las terrones de arcilla. Se deja enfriar la muestra y se pasa por la malla No. 16 (1.91mm), del retenido se toma una

muestra de 100grs y se anota como peso inicial, pesado al décimo de gramo. Se colocan los 100grs de arena en una charola y se le agrega agua hasta cubrir la muestra, se deja durante 24 horas. Posteriormente se escurre el agua para romper con los dedos los terrones de arcilla que aun existan. A continuación se hace pasar el material por la malla No. 30, lavándola con mucha agua, el retenido en esta malla se recoge en una charola y se seca hasta peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, se deja enfriar y se pesa nuevamente al décimo de gramo anotándose este como peso final .

Cálculo.-

$$\text{POR CIENTO DE TERRONES DE ARCILLA} = \frac{\text{P.I} - \text{P.F.}}{\text{P.I.}} * 100$$

Dónde :

P.I = Peso inicial de la muestra representativa de 100 gramos de arena

P.F = Peso final seco de la muestra lavada, en gramo.

Las especificaciones de la ASTM C33, limitan un porcentaje admisible de terrones de arcilla en arena a un máximo de 1.0%. los terrones de arcilla presentes en una mezcla de concreto o mortero pueden absorber una cierta cantidad de agua de mezclado, y ser causa de erupciones en el concreto o mortero endurecido, así mismo afectar su durabilidad y la resistencia a la abrasión.

4.2.5.10. EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)

Alcance.- Determinar las proporciones volumétricas relativas de las partículas gruesas de un suelo con respecto a los finos plásticos que contiene, y observando a la vez la ausencia o presencia de estos, empleando un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos plásticos.

Equipo.-

Probeta de lucita o acrílico graduada a décimo de pulgada con tapón de hule.

- Tubo irrigador de latón o cobre, con uno de sus extremos cerrado formando una punta en forma de cuña con dos agujeros laterales
- Un tamo de manguera de hule que se pinza para obturarla
- Un pizón metálico con peso 1000 ± 5 gramos
- Cápsulas de 85 ± 5 ml; metálica
- Un embudo de boca ancha
- Cronómetro
- Papel filtro No.12

- Solución de reserva, consiste en: cloruro de calcio, glicerina USP (normalizada) y formaldehído (sol. Volumétrica al 40 %)
- Solución de trabajo

Preparación de la solución de trabajo.-

En un frasco se depositan $85 \pm 5\text{cm}^3$ de la solución de reserva del agregado, agua destilada hasta completar 3.785 litros.

Preparación de la solución de reserva.-

En un frasco se disuelven 454 gramos de cloruro de calcio en 1.89 litros de agua destilada, se deja enfriar la solución y se hace pasar a través de papel filtro, se le agregan 47 gramos de formaldehído en solución volumétrica al 40% y 2050 gramos de glicerina USP (normalizada) mezclando agua destilada hasta completar los 3.785 litros y agitando toda la solución para uniformizarla.

Procedimiento.-

1. El material deberá ser la porción de una muestra que pase por la malla No. 4, de la cual se toman 500g, aproximadamente procurando que no se pierdan finos.
2. Se vierte la solución de trabajo en las probetas hasta una altura de 4 pulgadas
3. Se llenan las cápsulas del material, se golpean ligeramente para acomodar el material y se enrasa.
4. Se vierte el material en las probetas previamente preparadas usando el embudo para evitar la pérdida del material.
5. Se deja reposar por un tiempo de 10 minutos, se coloca el tapón de hule a la probeta, procurando no moverlas en ese lapso de tiempo.
6. Transcurridos los 10 minutos se coloca el tapón de hule a la probeta inclinándola para que afloje el material del fondo y se agita longitudinalmente de un lado a otro con una carrera de 20cm, hasta completar 90 ciclos en 30 segundos.
7. Una vez realizado el agitado se introduce el tubo irrigador, se pica el material y con el mismo se baja el material que queda en las paredes de la probeta llenando esta con solución de trabajo hasta la marca de 15 pulgadas y se deja reposar por 20 minutos.
8. Al término de los 20 minutos, se lee en la escala de la probeta el nivel superior de la arcilla en suspensión, el cual se denominará lectura de arcilla.
9. Posteriormente se introduce el pizón lentamente hasta que este descansa sobre la arena, se gira lentamente sin empujarlo hacia abajo.

10. Se hace la observación de que la prueba debe hacerse por triplicado y se hará un promedio de los resultados más cercanos entre sí, eliminando el valor más excedido.

Cálculo.-

Equivalente de arena en por ciento = (Lectura de arena /Lectura de arcilla) x 100

Recomendaciones.- Entre menos arcilla presente el material es mejor para las mezclas de mortero, ya que disminuye la adherencia entre las partículas, una arena que tiene un equivalente de arena superior al 90 % se considera excelente para este tipo de aplicaciones.

**4.2.5.11. PRUEBA DE PLASTICIDAD (LIMITE DE ATTERBERG)
REALIZADO A LA CENIZA VOLCÁNICA [14].**

OBJETIVO.

Determinar los límites de plasticidad, para clasificar el material .

EQUIPO.

- Malla No.40
- Cápsula de porcelana
- Copa de Casagrande con su respectivo ranurador
- Espátula
- Molde metálico para contracciones volumétricas
- Molde metálico para contracciones lineales
- Vidrio de reloj
- Charola de plástico con recipiente para determinar volúmenes
- Balanza con preedición de 0.01grs y capacidad de 800grs
- Mercurio

PROCEDIMIENTO

Determinación del límite líquido (LL)

El límite líquido fue definido por Albert Mauritz Attenberg como la frontera entre los estados semi-líquido y plástico, nombre que hasta hoy se conserva.

1. El material que se trae del campo se seca a temperatura ambiente y se disgrega.
2. Ya seco el material se criba por la malla No. 40 y se toma una capsula de porcelana de 250 a 300grs del material que paso la malla.

3. Una vez colocado el suelo en la cápsula de porcelana se le agrega agua y se mezcla hasta formar una pasta homogénea. La muestra se deja reposar durante 24 horas como se muestra:



4. Se inician los tanteos en la copa de Casagrande dándole al suelo diferentes humedades. Se deben de hacer tres tanteos y obtener la humedad de cada uno.
- 5.- Se coloca la pasta en la copa casagrande, llenándola a la mitad, y analizándola para obtener un espesor máximo de 1cm, se ranura el centro con un ranurador de dimensiones de 1mm, en la parte superior y 2mm en la parte inferior, debiendo tener los bordes redondeados para evitar deformaciones en el acomodo del suelo. Se debe de ranurar la pasta según el eje de simetría del aparato, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la copa.



6. Una vez llenada la copa y rasurado el material el golpe se hace girando la manivela a la velocidad de 2rev/seg. Y se cuenta el número de golpes necesarios para que la ranura cierre $\frac{1}{2}$ " (1.3cm), aproximadamente la ranura debe de cerrarse por el flujo del suelo, y no por deslizamiento de la pasta respecto de la copa.
7. En una capsula de vidrio de reloj, se extrae una muestra representativa de aproximadamente 10grs del centro de la copa, cerca de donde cerró la ranura para obtener la humedad. Se pesa la capsula con el material húmedo al centésimo de gramo (0.01grs), se deja secar en el horno durante 24hrs a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, se saca y se obtiene el peso seco.
8. Con el número de golpes y el contenido de agua correspondiente se dibuja la curva de fluidez en el escala semi.log, y así se obtiene el límite del líquido.

4.2.5.12. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (LP) [14].

Es el estado del suelo en el cual se tiene una consistencia comprendida entre el estado plástico y el semisólido. Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje del peso seco, en el cual se rompe un rollito de 1/8” de diámetro al ser rodado bajo una pequeña presión que le imprime la mano.

PROCEDIMIENTO.

1. Se amasan aproximadamente 25grs de suelo húmedo.
2. Se forman con las palmas de la mano rollitos de 1/8” (3 aproximadamente de diámetro apoyándose en la placa de vidrio).



3. Se repite este procedimiento hasta que el rollito empiece a agrietarse o desmoronarse al estarlo agrietando.
4. Se colocan en una cápsula de vidrio de reloj y se pesan al 0.1grs y se meten al horno durante 24 horas a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
5. Se sacan del horno y se pesan para determinar el contenido de humedad de los cilindros.
6. Se repite todo el proceso anterior para obtener tres determinaciones que pueden promediarse para valuar el límite plástico.
7. Finalmente se obtiene el límite plástico mediante la fórmula:

$$L_p = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

L_p = Límite Plástico

W_w = Peso de la muestra húmeda

W_s = Peso de la muestra seca

4.2.5.13. DETERMINACION DEL INDICE PLÁSTICO (IP) [14]

Comprende todas las humedades para las cuales un suelo es plástico. Es la diferencia aritmética entre el contenido de humedad en el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice Plástico

LL = Limite Liquido

LP = Limite Plástico

4.2.5.14. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONTRACCIÓN VOLUMETRICA (CL Y LC) [14]

4.2.5.14.1. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL

PROCEDIMIENTO

1. Se hace esta prueba con el material que sobra del ensaye del LL, con una humedad ligeramente mayor en un 10%.
2. Con el material, mezcla de suelo y agua en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba, previamente engrasado para evitar que el material se adhiera a las paredes. El material se coloca en tres capas, procurando en cada capa dar unos ligeros golpes contra una superficie dura.
Para realizar esta operación deberá tomarse el molde de sus dos extremos y golpearlo, procurando que el impacto lo reciba en toda la base, la cual se consigue manteniendo, durante la caída, paralela a la base del molde a la superficie sobre la cual se golpea. Esta operación se debe realizar hasta expulsar el aire incrustado. Y finalmente se enrasa el molde con una espátula.
3. Se debe dejar secar el molde con el material a una temperatura ambiente, hasta que su color cambie de oscuro a claro y se coloca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. a 24 horas.
4. Se saca del horno y se determina la longitud de la barra y la longitud inferior del molde.
5. Se calcula la CL de la siguiente manera:

$$CL = \frac{(L1 - L2)}{L1} \times 100$$

Donde:

CL= Contracción Lineal

L1 = Longitud del molde (inferior), longitud de la barra del suelo húmedo.

L2 = Longitud de la barra del suelo seco.



4.2.5.14.2. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMETRICA (LC) [14]

El límite de contracción no es independiente del límite líquido ni del límite plástico. Para la mayoría de los suelos el límite de contracción puede estimarse burdamente mediante la siguiente expresión:

$$LC = \frac{50 LP}{50 + IP}$$

La determinación directa en el laboratorio permite obtener el límite de contracción con mejor precisión.

PROCEDIMIENTO

El material para esta prueba se obtiene en la misma forma que para el límite líquido.

1. Se determinan los pesos de cápsulas metálicas vacías y limpias y se anotan en la columna correspondiente. Se cubre el interior de la cápsula con una capa delgada de aceite.
2. Se llena la capsula en tres capas con la pasta preparada, golpeándola con la parte inferior de esta, de modo que se expulsen las burbujas de aire.
3. Una vez que se han removido todas las burbujas y que se ha llenado totalmente la capsula, se enrasa utilizando la espátula de cuchillo, y se limpia perfectamente.



4. Se pesan las capsulas metálicas con el material húmedo; se anotan los datos.
5. Se dejan los especímenes a temperatura ambiente durante 12 horas posteriormente se dejan secar al aire hasta ver un cambio marcado en el color de las muestras. Finalmente se dejan secar en el horno durante 18 horas. Estas precauciones son generalmente suficientes para evitar el agrietamiento de las muestras durante el secado.
6. Se pesan las cápsulas con las muestras secas y se anotan los valores obtenidos.
7. Generalmente, las cápsulas tiene un volumen conocido. Para verificar u obtener este dato, basta llenar de mercurio la capsula hasta derramarlo, y enrasar mediante una placa de vidrio que se presiona hacia abajo, para forzar al excedente a salir de la capsula. El peso del mercurio requerido para llenar la cápsula dividido entre su densidad ($13.55\text{gr}/\text{cm}^3$) es el volumen de la capsula. Se anotan los volúmenes de las cápsulas, es decir; los volúmenes de las muestras húmedas.
8. Para determinar el volumen de las pastillas secas se procede de la manera siguiente:
 - Se llena un recipiente de mercurio hasta derramarlo.
 - Se enrasa mediante un dispositivo especial de lucita, presionándolo hacia abajo para forzar al excedente de mercurio a salir del recipiente.
 - El mercurio se derrama en una charola de lucita inclinada, y se recoge en la parte inferior de esta en una cápsula protegida con una cubierta de lucita que impide pérdidas de mercurio.
 - La charola se limpia perfectamente con una brocha de cerda fina.
9. En la parte inferior de la charola de lucita se coloca, en el de la anterior una nueva capsula limpia y tarada.
10. Se coloca la pastilla de suelo seco sobre la superficie del mercurio y se sumerge, lentamente, con movimientos de rotación mediante el dispositivo de lucita. Se mantiene sumergido el conjunto mientras se limpia perfectamente el recipiente y la base. En esta operación, el mercurio desalojado representa el volumen de la muestra seca.
Se pesa el mercurio desalojado, el valor obtenido se anota en el registro.

El límite de contracción se calcula con la formula siguiente:

$$LC (\%) = \frac{W_i - W_s - (V_i - V_f)}{W_s} \times 100$$

Donde:

LC = Limite de contracción en porcentaje

Wi = Contenido de agua del suelo antes de contraerse

Vi = Volumen inicial de la pastilla

Vf = volumen final de la pastilla (suelo seco)

Ws = Peso de sólidos.

Las pruebas de tensión, compresión y flexión son la que se utilizan en morteros y usadas en nuestros especímenes de ceniza volcánica, ya que no existen especificaciones para especímenes de ceniza volcánica.

4.3.- LÍQUIDO DE AMASADO

El líquido de amasado es un componente en los morteros, que bien puede ser agua solamente, agua mezclada con algún aditivo (líquido o sólido) o algún otro líquido de características adecuadas para el amasado de los morteros.

Con respecto a los aditivos se le puede adicionar al líquido de amasado, puede ser de origen orgánico o inorgánico.

Los aditivos que se le adicionan al líquido de amasado son para mejorar algunas características físicas de los morteros.

Con respecto a los aditivos orgánicos Sickel (1981) ha realizado una recopilación y estudio de los efectos de algunos de estos aditivos orgánicos y los clasifica por el efecto que producen como los siguientes:

- Plastificantes, que tienen el propósito de hacer más trabajable el mortero y reducir la cantidad de agua necesaria, mejoran su resistencia y su durabilidad. Se han empleado para este propósito clara de huevo, cola animal, leche, aceite vegetal, etc.
- Estabilizantes, de volumen, que reducen la contracción por fraguado del mortero: yema de huevo, aceites, grasas y ceras.
- Impermeabilizantes, que reducen la absorción del agua del mortero: cola animal con ácido tánico, emulsión de ceras, aceite mineral y cera de abeja.

Adhesivos, que aumentan el amarre del mortero con la piedra: gelatina, colas animales y vegetales, caseína y resinas.

Inclusores de aire, para aumentar la durabilidad del mortero (aunque pueden afectar la resistencia): cerveza, orina, pellejo animal.

Refuerzos, que dan unión a la mezcla y mejoran la durabilidad del mortero: pelo animal, paja, algodón, copra, etc.

Retardadores del fraguado, que aumentan el tiempo en que se puede trabajar una mezcla: azúcar, sangre, clara de huevo [2].

4.3.1 ELABORACIÓN DEL LÍQUIDO DE AMASADO

Se llevo a cabo en el laboratorio donde se hizo el estudio, “Laboratorio de Materiales” Luis Silva Ruelas, de la U.M.S.N.H. el mezclado se hacia de tal manera que al utilizarlo fuera uniforme.

Para este estudio de mortero de albañilería para restauración, de base orgánica, se utilizo un líquido de amasado compuesto de agua y mucílago de cactácea. El agua que se utilizo fue potable y el mucílago de cactácea.

El mucílago de cactácea (nopal), es un aditivo que se elaboro con agua y nopales; en 60 litros de agua se ponen a hervir 30kg de nopal picado, la elaboración de esta mezcla se realizo así ya que el nopal sin hervir tiene menor resistencia, esto se vio en estudios preeliminares realizados por el Arq. Alberto Bedolla.

AGUA

El agua dulce se extrae de diversas fuentes (ríos, lagos, subterráneas, etc.) y se utilizan muchas veces antes de su descarga en el mar. En general, los usos del agua pueden clasificarse como sigue: doméstico, industrial y comercial (E. Ochoa, 2001).

El agua del amasado, como ya se dijo anteriormente, tiene también mucha importancia, ya que su función es la de provocar el fraguado del aglomerante mezclado con la arena y permitir con ello que se verifiquen las reacciones químicas.

CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

El hecho de que el agua de una fuente dada, sea adecuada para su uso específico depende de los criterios para el uso que se le vaya a dar.

El análisis de las propiedades físicas del agua, abarca la temperatura, el color, la turbidez, el sabor y el olor, los sólidos disueltos, los sólidos de suspensión y el pH.

El agua que se empleé en la fabricación de concretos o morteros, debe ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materias orgánicas y demás sustancias nocivas. El agua potable generalmente puede aceptarse para la fabricación del concreto o mortero. Se recomienda hacer un análisis químico del agua disponible, para verificar que cumpla con los límites indicados en la siguiente tabla.

**LÍMITES RECOMENDABLES DE IMPUREZAS EN AGUA PARA MEZCLAS
DE CONCRETO Y MORTERO: (S. R. H., 1970).**

Sulfatos (como SO ₄), máximo en PPM.	300
Cloruros (HCl), máximo en PPM	300
Magnesio (como MgO), máximo en PPM	150
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio del ácido), máximo en PPM	10
Sólidos totales en solución, máximo en PPM	1500

5. DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas consiste en encontrar una dosificación adecuada de materiales, para obtener una mezcla cuyas características físicas y mecánicas sean las adecuadas (ideales) para un determinado uso. Para diseñar las mezclas de morteros, no existe un método que nos determine cantidades exactas de materiales que debemos utilizar para que nos den una resistencia predeterminada, como en el caso del diseño de las mezclas de concreto. Los criterios de diseño utilizados en la elaboración de las mezclas de morteros se basan en la experiencia y conocimiento empírico de los operadores, dejando en duda su resistencia y durabilidad.

5.1. CRITERIO DE DISEÑO UTILIZADO PARA OBTENER UNA MEZCLA DE MORTEROS EN ESTUDIO.

Para caracterizar las propiedades que “El Mucílago de Cactácea” proporciona al mortero de cal apagada, decidimos elegir un agregado pétreo y un aglutinante cuyas características físicas y mecánicas ya fueran ampliamente estudiadas y conocidas por nosotros, eliminando variables que intervienen en el diseño de las mezclas y analizando aquellas donde el comportamiento del mucílago de cactácea influyera en los resultados. Las proporciones para determinar la cantidad del mortero en el laboratorio fueron dosificadas en peso, como señala la norma ASTM C 109 - 63 y otros proyectos de investigación científica.

A continuación se presentan las variables analizadas, para determinar la calidad del mortero de cal con mucílago de cactácea (nopal) como aditivo.

1. La dosificación del material más adecuado para el mortero en estudio
2. La cantidad del líquido amasado o solvente que debe llevar la mezcla del mortero.
3. La concentración del mucílago de cactácea en el solvente

La finalidad de analizar estas opciones, fue encontrar una mezcla de estudio de las mejores características, que nos permitiera estudiar el comportamiento mecánico y físico que adquieren los morteros de base orgánica vegetal con mucílago de cactácea como aditivo.

Las mezclas del mortero deben diseñarse con dos fines primordiales, primero, obtener buena resistencia y durabilidad, segundo, una buena factibilidad económica.

En trabajos anteriores realizados por el arq. Alberto Bedolla se observó que funcionaban mejor las mezclas hechas con proporción en peso: ceniza volcánica-cal apagada-arena de 1:1.75:2 por presentar buena trabajabilidad y resistencia, parecida a la proporción cal apagada-arena 1:2.

En esta investigación se elaboraron los cubos, vigas y briquetas de mortero en dos porcentajes diferentes de aditivo (nopal); para su elaboración se siguió el procedimiento descrito en la norma de la ASTM C 109-63; estas muestras fueron probadas a compresión, tensión y flexión a las edades de 3,7,14,21,28 y 45 días, para cada edad de prueba se elaboraron 6 especímenes.

Se observó que el fraguado de estas dos mezclas era rápido si se realizaba en moldes de acero ya que los morteros que se realizaron en los moldes de acrílico retenían más humedad y por lo tanto su fraguado era más lento, el fraguado de este tipo de morteros es más rápido si se coloca al aire libre ya que contienen cal apagada, ya que es una cal aérea, la cual fragua rápidamente con el aire.

Para la elaboración de las mezclas se pesaron cal apagada, ceniza volcánica y arena en las proporciones ya mencionadas, estos se mezclaron y enseguida se le adicionó el mucílago de cactácea para que el amasado tuviera una manejabilidad adecuada, después se determinó la fluidez de la mezcla y enseguida se llenaron los moldes de especímenes, y se dejaron fraguar durante 24 horas.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS DE MORTERO EN ESTUDIO.

DESCRIPCIÓN DE LA CAL APAGADA EMPLEADA EN ESTE ESTUDIO

El aglutinante utilizado en la elaboración de la mezcla de estudio, es la roca caliza proviene del banco de “Piedras de Lumbre”, Morelia, Michoacán. Se utilizo la cal apagada por ser la usada en los trabajos de albañilería donde emplean morteros de cal y por ser la que utilizan nuestros antepasados en la construcción monumentos.

5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA CENIZA VOLCANICA EMPLEADA

La ceniza volcánica es roca que ha sido convertida en polvo o arena por la actividad volcánica, tienen un tamaño inferior a 2mm, es fresca y arenosa, la ceniza usada para estos morteros fue tamizada para de esta forma usar solo los finos y desechar los gruesos a pesar de ser un material fino.

El agregado utilizado en este estudio para la elaboración de morteros de cal apagada, proviene del banco de Joyitas del municipio de Morelia, Michoacán, es de origen volcánico, la ceniza se utilizo limpia, sin lodos ni impurezas orgánicas. La granulometría de la arena fue estudiada cuidadosamente, presentaba uniformidad en sus tamaños y con poco contenido de material orgánico.

5.2.3DESCRIPCIÓN DE LA ARENA EMPLEADA EN EL ESTUDIO

El agregado utilizado en este estudio para la elaboración de morteros de cal apagada, proviene del banco de Joyitas del municipio de Morelia, Michoacán, es una arena de origen volcánico, la arena se utilizo limpia, sin lodos ni impurezas orgánicas. La granulometría de la arena fue estudiada cuidadosamente, presentaba uniformidad en sus tamaños y con poco contenido de material orgánico.

Las mezclas de diseño se elaboraron tomando como referencia los resultados obtenidos anteriormente por el Arq. Alberto Bedolla, y se determino que las proporciones en peso serian 1.4:1:2, es decir; por cada una y setenta y cinco partes de cal apagada se usara una parte de ceniza y dos partes de arena en peso. Y la segunda mezcla se realizo con proporción de cal-arena 1:2, esta mezcla se realizo sin ceniza volcánica.

5.2.4.DESCRIPCIÓN DEL SOLVENTE UTILIZADO EN EL ESTUDIO (MUCÍLAGO DE CACTÁCEA)

Se utilizó mucílago de cactácea en la elaboración del solvente (líquido de amasado), fue necesario probarlo en dos tipos de mezclas que se hicieron como ya se mencionó anteriormente, cal apagada, arena, ceniza volcánica y mucílago de cactácea y otra con cal apagada, arena y mucílago de cactácea, con la finalidad de ver cuál de las dos mezclas tenía mejor resistencia.

SOLVENTE	PROPORCIÓN (PESO)	FLUIDEZ EN %
Mucílago de cactácea 0.4	Cal Apagada-Ceniza Volcánica-Arena 1.4:1:2	20
Mucílago de cactácea 0.3	Cal Apagada-Arena 1:2	24

5.2.5. EDADES DE PRUEBA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MORTEROS ADICIONADO (CON MUCÍLAGO DE CACTÁCEA)

Se eligieron 3,7,14,21,28 Y 45 días de edad, para determinar la resistencia mecánica de los morteros, considerando que es un rango muy amplio para evaluar las ventajas que el aditivo le puede proporcionar al mortero, las edades de 21,28 y 45 días se eligieron para determinar el comportamiento del mortero a edades tardías, sin embargo, se menciona en algunas referencias bibliográficas que los morteros de cal adquieren su resistencia en periodos más largos [5]. Los especímenes elaborados con la mezcla de morteros en estudio, se sometieron a las siguientes pruebas mecánicas: Compresión, Tensión y Flexión.

6.- PRUEBAS

La resistencia de los morteros de cal hidratada es muy variable, pues depende de la proporción y calidad de sus componentes del mezclado, espesor de la junta, lugar de empleo, temperatura ambiental y humedad relativa. Las proporciones y calidad de los componentes del mortero es la principal característica que influye en la resistencia de los morteros, ya que si sufren deficiencias en sus propiedades originan morteros pobres. Otro factor muy importante en los morteros de cal es la humedad, pues en lugares húmedos baja considerablemente la resistencia de un mortero de cal apagada. Su resistencia está directamente relacionada con la cantidad de agua ya que esta debe ser la necesaria para hidratar a los compuestos del aglomerante.
[Saad, 1960].

Esta parte del estudio es fundamental ya que como mencionábamos no existe ningún documento que avale la resistencia que alcanzan los morteros de cal apagada, arena y mucílago de cactácea y los morteros con cal apagada, ceniza volcánica, arena y mucílago de cactácea.

Briquetas.- Especímenes de forma y dimensiones fijadas (1”x 1”), que se utilizan en el ensaye de aglutinantes tales como cemento, cal y yeso. Para conocer sus características de resistencia a tensión. (SCOP, 1957).



Cubos de prueba.- Especímen de forma cúbica (5x5cms) que se emplea para determinar la resistencia a la compresión de diferentes materiales. [SCOP, 1957].



Vigas de prueba.- Espécimen de forma rectangular (4x4x16cms) con relación 1:4 necesaria para determinar la resistencia a la flexión de diferentes materiales [SCOOP, 1957].



6.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CÚBICOS (2") (ASTM C 109 – 63)

Este método de ensaye tiene por objeto la determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, usando especímenes cúbicos de 5cms.



EQUIPO

- Máquina universal de pruebas Tinius Olsen, que indica la carga aplicada con la exactitud de $\pm 0.5\text{kg}$
- Balanza que cumpla con el requisito: para un peso de 2000grs se permitirá una variación máxima de $\pm 2\text{grs}$
- Pesas, probetas graduadas, moldes para especímenes, tamices No. 100, 50, 30, 16.
- Charolas, espátulas y guantes para el mezclado
- Mesa de fluidez y molde de fluidez
- Pizón de material no absorbente de 1.3 x 2.5cm de sección transversal, longitud aproximada de 13 a 15 cm.
- Temperatura y humedad.- la temperatura ambiente en la losa de mezclado, los materiales secos, moldes, placas de base y recipiente de mezclado, se conservarán entre 20 y 27.5°C.

6.1.1 ELABORACION DE LA MEZCLA DE MORTERO

Número de especímenes.- Se harán tres o más especímenes para cada periodo de ensaye especificado.

Espécimen de prueba (Cubos).- Espécimen de forma cúbica. Estos especímenes deben ser elaborados utilizando moldes de 5x5x5cms.

Preparación de los moldes.- Cúbranse ligeramente las caras interiores de los moldes de los especímenes con aceite mineral o grasa lubricante ligera. Cúbranse ligeramente las superficies de contacto con las mitades de cada molde con aceite mineral pesado o con grasa lubricante ligera. Después de ensamblar los moldes remuévase el exceso de aceite o grasa de las caras interiores y de las superiores e inferiores de cada molde. Colóquense los moldes en las placas de base planas y no absorbentes que se hayan cubierto ligeramente con aceite mineral, petrolato o grasa lubricante ligera. Se aplicará a las aristas exteriores de contacto de los moldes y placas de base una mezcla de tres partes de parafina y 5 partes de resina, por peso, calentada hasta una temperatura de 110° y 120°C (230 y 248°F), de tal manera que las juntas entre los moldes y las placas de base queden impermeables.

Proporcionamiento, consistencia y mezclado de los morteros.- La norma marca para los morteros estándares (cemento hidráulico, arena de Ottawa y agua) una parte de cal y 2 partes de arena graduada, por peso. Sin embargo para este estudio la proporción a utilizar será una parte de cal apagada y dos de arena, en peso. Los materiales secos deben mezclarse al mismo tiempo en una charola, con guantes y espátula, para fabricar 6 especímenes de ensaye se usaron 900g de cal apagada, 600g de ceniza volcánica, y 1200g de arena. Para esta investigación se determino que el diseño de mezclas que la cantidad de solvente mezclado en mililitros, será tal que produzca un flujo aproximado de 23 ya que en pruebas realizadas anteriormente por el Arq. Alberto Bedolla este .

Las cantidades de materiales secos (material pétreo y aglutinante) se deben mezclar al mismo tiempo en la bachada de mortero, en seguida se le adicionara el líquido de amasado y se mezclarán, para obtener la cantidad de especímenes requeridos.



6.1.2.MÉTODO PARA DETERMINAR LA FLUÍDEZ EN LA PASTA DE MORTERO

1. Límpiase cuidadosamente la cara superior de la mesa de flujo, séquese y colóquese el molde de flujo en el centro de la mesa.
2. Colóquese una capa de mortero de aproximadamente 2.5cm (1”) de espesor en el molde y apisonese 25 veces con el apisonador. La presión del apisonador será justamente la suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde.
3. Después llénese con otra capa igual como se indico anteriormente con mortero, y apisonese como se indico para la primera capa, enrase el mortero hasta obtener una superficie plana y nivélese con la parte superior del molde haciendo pasar el borde recto de la llana (que se deberá mantener casi perpendicular al molde) con un movimiento de sierra sobre la parte superior del molde. Límpiase y séquese la mesa, poniendo especial cuidado en remover el agua alrededor del borde del molde de flujo.
4. Levántese el molde un minuto después de completar la operación de mezclado. Inmediatamente, déjese caer la mesa desde una altura de 1.27cm (1/2”), 25 veces en 15 segundos.
5. El flujo es el aumento que resulte del diámetro promedio de la base de la masa del mortero. Medida al menos en cuatro diámetros espaciados aproximadamente a intervalos iguales, expresando como porcentaje del diámetro de la base original.

Háganse varios morteros de prueba con varios porcentajes de agua hasta obtener el flujo especificado. Hágase cada ensaye con mortero fresco.



Moldeado de especímenes de ensaye.- Inmediatamente después de completar el ensaye de flujo, regrese el mortero del molde de flujo al recipiente de mezclado. Rápidamente regrese el mortero que se haya acumulado en los bordes del recipiente y mezcle la pasta durante 15 segundos a velocidad media. Cúbranse ligeramente las caras interiores de los moldes de los especímenes con aceite mineral, comience el modelado de los especímenes dentro de un tiempo total no mayor de dos minutos quince segundos, después de completar el mezclado original de la pasta de mortero, colóquese una capa de mortero de aproximadamente 2.5cm de grosor en todos los compartimientos cúbicos.

Apisónese el mortero en cada compartimiento cúbico de 32 veces en aproximadamente 10 segundos y en cuatro etapas. Cada etapa deberá formar ángulos rectos con la otra y consistirá de 8 golpes adyacentes sobre la superficie del espécimen. La presión del apisonado será justamente suficiente para asegurar un llenado uniforme de todos los moldes. Se apisonará completamente un cubo con las cuatro etapas (32 golpes) antes de proseguir con el siguiente.

Llénense los compartimentos con el resto del mortero y luego apisone como se especificó para la primera capa, al completar el apisonamiento las partes superiores de todos los cubos deberán extenderse ligeramente sobre las partes superiores de todos los moldes por medio de una espátula y alíniense los cubos pasándose la cara plana de la espátula una vez y a través de la parte superior de cada cubo, formando ángulos rectos con dirección longitudinal del molde con un movimiento de sierra sobre la dirección longitudinal del molde.



Almacenamiento.- Al terminar el modelado de los morteros elaborados, se dejan a la intemperie y al completarse el lapso de 20 a 24 horas, revisando que ya hayan fraguado. El almacenamiento de estos especímenes se hará en un lugar seco y libre de la humedad, y se procede a retirarlos de los moldes y permanecerán en tales condiciones hasta la edad de prueba, ya que los morteros de cal apagada no fragúan en presencia de humedad a diferencia de los morteros de cemento hidráulico.

Procedimiento de ensaye.- Todos los especímenes de ensaye para una edad determinada se llevaran a la falla con las tolerancias permisibles que se establecen a continuación:

EDAD DE ENSAYE	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 Horas	± ½ hora
3 Días	± 1 hora
7 Días	± 3 horas
28 Días	± 12 horas

Se removerá cualquier arena suelta, granos o incrustaciones de las caras que se vayan a quedar en contacto con los bloques de apoyo de la máquina de ensaye. Compruébese estas caras por medio de una regla derecha.

Aplíquese la carga a la cara de los especímenes que hayan quedado en contacto con las caras planas de los moldes. Colóquese cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensaye debajo del centro del bloque de apoyo superior. Antes de realizar el ensaye, se verificará que el bloque con asiento esférico pueda girar libremente. No deberán usarse materiales acojinados.



Puede aplicarse a una velocidad conveniente, una carga inicial de magnitud igual a la magnitud de la carga máxima esperada para especímenes de los cuales se esperan cargas de no más de 30kg. Ajustese la velocidad de aplicación de la carga complementaria de tal manera que la carga completaría (o la carga total en el caso de que se espere cargos menores de 30kg), se aplique sin interrupción, hasta hacer fallar el espécimen a una velocidad tal que la carga máxima se alcance en no menos de 20 segundos ni en más de 80 segundos. No deberán hacerse ajustes en los controles de la máquina de ensaye mientras los especímenes estén fluyendo rápidamente inmediatamente antes de la falla.

Cálculos.- Regístrese la carga total máxima indicada por la máquina, se calcula la resistencia a compresión en kg/cm², si el área de la sección transversal de un espécimen difiere en más de 0.40cm², a la correspondiente de 25cm², úsese el área real para calcular la resistencia a compresión de todos los especímenes de ensaye aceptable fabricado de la misma muestra y ensayados en el mismo periodo, y se reportará el resultado con aproximación de 0.7kg/cm².

Especímenes defectuosos y repetición de ensaye.- Al determinar la resistencia a la compresión, no se deberán considerar los especímenes que estén muy defectuosos, o que den resistencia que difieran en más del 10% del valor promedio de todos los especímenes fabricados de la misma muestra y ensayados en el mismo periodo. Si después de desechar los especímenes de los valores de la resistencia se obtienen solamente menos de dos valores de resistencia para determinar la resistencia a la compresión en un periodo dado, deberá hacerse un nuevo ensaye.

Cálculo el esfuerzo a la compresión simple en base a la siguiente fórmula:

$$R = (P/A)$$

Donde:

P es la carga de ruptura, en kilogramos

A es el área de la sección transversal medida, en cm^2

R es el esfuerzo que resiste el espécimen, en kg/cm^2

6.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A FLEXIÓN EN ESPECÍMENES DE MORTERO

(ASTM C 1018 – 97)

Alcance.- Este método se utiliza para determinar la resistencia a flexión de mortero o concreto hidráulico. Mediante el uso de vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del claro, moldeadas en laboratorio.

Equipo.

- Máquina de prueba
- Accesorios para la prueba de flexión (3 apoyos de acero de $\frac{1}{2}$ " de diámetro)
- Moldes para la elaboración de especímenes, estos deberán tener un claro lo más cercano posible a 4 veces su peralte. Las caras laterales del espécimen deben ser perpendiculares al fondo y a la cara superior.

Procedimiento de elaboración de la mezcla.- El procedimiento para preparar la mezcla de estudio, se realizará conforme al especificado en la prueba ASTM C 109 – 63. La cantidad de material seco para elaborar 6 vigas será de 900g de cal apagada, 600g de ceniza volcánica, 1200g de arena y 240ml de líquido de amasado.

Moldeado de los especímenes.- Los moldes serán llenados en 2 capas, cada una de 2.5cm aproximadamente, con un pisón se expulsará el aire que pueda estar atrapado entre las partículas del mortero en cada capa, se enrasaran los moldes por medio de una espátula, para dejar una superficie lisa.

Vigas de prueba.- Especímenes de forma prismática con relación 1:4 necesaria para determinar la resistencia a la flexión de diferentes materiales.

Estos especímenes deben ser elaborados bajo el mismo criterio que los cubos de mortero, utilizando moldes de 5x5x20cms.



Almacenamiento de especímenes.- Los especímenes se dejarán en el molde por lo menos 24 horas antes de descimbrarlos, las muestras serán colocadas en un lugar seco y libre e humedad hasta su edad de prueba.

Procedimiento de prueba.- El espécimen debe voltearse sobre uno de sus lados (respecto a la posición inicial en la cual fue colado) y centrarse en los apoyos inferiores. Los apoyos superiores deben ponerse en contacto con la cara superior del espécimen sobre los puntos extremos del tercio central del claro de apoyos inferiores. Si no se obtiene un apoyo completo entre los apoyos y el espécimen, es necesario cabecear. La carga deberá aplicarse a una velocidad constante, de modo que no produzca impacto.

Cálculos.- Si la fractura ocurre dentro del tercio medio del claro, el Módulo de Ruptura debe calcularse como sigue:

$$R = \frac{Pl}{bd}$$

Donde:

R modulo de ruptura, en kg/cm²

P carga máxima aplicada registrada por la máquina de prueba, en kg.

l claro entre apoyos en cm

b ancho promedio del espécimen, en cm

d peralte promedio del espécimen, en cm.

Aclaración: el peso del espécimen no está incluido en el cálculo anterior

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, en no más del 5% del claro, el Módulo de Ruptura se calculará como sigue:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

a= es la distancia entre la línea de fractura y el apoyo inferior más cercano, medida sobre el eje de simetría de la superficie inferior de la viga, en cm.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, en mas del 5% del claro, los resultados de esta prueba deben descartarse.

Informe.- Deberá incluir:

- Número de identificación del espécimen
- Ancho promedio, redondeado al más próximo de 0.25cm
- Peralte promedio, redondeado al más próximo de 0.25cm
- Claro en cm
- Máxima carga aplicada, en kg
- Módulo de Ruptura, calculado al más próximo 0.5 kg/cm²
- Antecedentes del curado y condición aparente de humedad en el momento de la prueba
- Si el espécimen se cabeceó o se pulió
- Defectos en el espécimen
- Edad de prueba

6.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA TENSIÓN EN ESPECÍMENES DE MORTERO

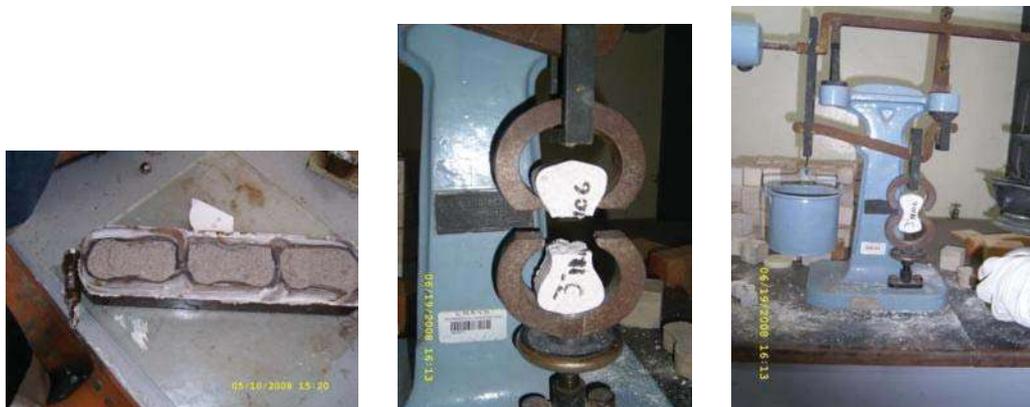
(ASTM C 190 – 59)

Equipo.

- Tamices No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200
- Molde metálico para la fabricación de briquetas
- Espátula, probetas graduadas
- Tazón
- Charolas metálicas
- Máquinas de pruebas con mordazas metálicas para sujetar las briquetas de mortero (máquina de prueba tipo Michaelis).
- Lana de madera
- Balanza
- Mesa de fluidez y molde de fluidez

Procedimiento de elaboración de los especímenes.- el procedimiento para preparar la mezcla de estudio, se realizará conforme a lo especificado en la prueba ASTM C 109.63 para especímenes cúbicos de cemento hidráulico descrito anteriormente. La cantidad de material seco, para elaborar 6 briquetas será de 500g de cal apagada, 360 g de ceniza volcánica, 760gr de arena y 144ml de liquido de amasado.

Espécimen de prueba (briqueta).- Espécimen de forma y dimensiones fijadas, que se utiliza en el ensaye de aglutinantes tales como cemento, cal y yeso, para conocer sus características de resistencia a tensión.



Moldeado de los especímenes.- Habiéndose preparado la mezcla de mortero se procede a llenar el molde en dos capas, presionando ligeramente con los dedos pulgares o índices la mezcla, en cada capa, para sacar el exceso de aire contenido en esta.

Se enrasa el molde con la llana de madera para quitar el exceso de mezcla, después de haber compactado la capa superior, se enrasa a nivel de los bordes superiores del molde y se pulse pasando la llana varias veces. En las operaciones de mezclado y moldeado debe protegerse las manos con guantes de hule.

Almacenamiento de especímenes.- Los especímenes se dejarán en los moldes por lo menos 24 horas antes del descimbrado. Después de descimbrarlos las muestras serán colocadas en un lugar seco y libre de humedad hasta su fecha de prueba.

Procedimiento de prueba.- Se toman las dimensiones de cada espécimen y en seguida se coloca la mordaza metálica, ajustado la briqueta en la máquina de prueba. Se deja caer la carga de municiones lentamente, hasta el momento de falla, después se procede a pesar la carga de municiones y se anota para cada espécimen.

Se deberán ensayar por lo menos tres especímenes por edad de prueba [2].

Cálculos.- Se calculará el esfuerzo a tensión simple en base a la siguiente formula:

$$T_s = (50 \times P) / A$$

Donde:

Ts tensión simple, kg/cm²

50 coeficiente de la máquina

P carga de municiones, en kg

A área de la sección transversal del cuello de la briqueta en cm²

Las briquetas que no cumplan con los requisitos dimensionales que se estipulan para este tipo de pruebas, se deben rechazar.

6.4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

En este aparato se describe el equipo y las características necesarias que debe cumplir para ser empleado [15].

Balanzas.- La balanza empleada para pesar los materiales con los cuales se prepara la mezcla de mortero cumplirá con los siguientes requisitos: las variaciones permisibles para las balanzas en uso constante correspondiente a una carga de 200 grs será ± 2.00 gr, la variación permisible para las balanzas nuevas será la mitad de este valor.

Pesas.- Las variaciones permisibles para pesas en uso constante empleadas para pesar los materiales usados en las mezclas de mortero cumplirán con la tabla de variaciones permisibles en los pesos.

Probetas.- Se usarán recipientes de vidrio graduados de capacidad adecuada, para medir el agua a una temperatura de 20°C. la variación permisible será ± 2 ml estas líneas de graduación se sub-dividirán en graduaciones de por lo menos 5ml, excepto las líneas de graduación pueden omitirse para los primeros 10ml en probetas de 250ml y para los primeros 25ml en probetas de 500ml. Las líneas principales de graduación será circunferencias cerradas y estarán numeradas. Las graduaciones menores medirán por lo menos un séptimo de la longitud de la circunferencia.

Mallas.- se usaran cribas de agujeros cuadrados, de mallas de alambre del No. 100, 50, 30, 16. que cumplan con las especificaciones estándar para mallas empleadas en ensayos (ASTM E11) que se describen a continuación. Deben estar montados en marcos resistentes, contruidos de madera o lámina que eviten la pérdida de material durante el cribado.

Moldes para los especímenes.- Los moldes para especímenes cúbicos de ensaye de 5cm. (2”) estarán bien ajustados.

Los moldes no tendrán más de tres compartimientos cúbicos y podrán separarse en no más de tres partes. Cuando se ensamblen entre sí las partes en que se dividen los moldes, la unión será rígida.

Los moldes se fabrican de un metal duro que no sea atacado por el mortero de cemento. Para moldes nuevos la dureza del metal no será menor que B 55 de la escala de Rockwell. Las caras laterales de los moldes serán lo suficientemente rígidos para evitar que se abran o se albeen.



Las caras interiores de los moldes serán superficies planas con una variación permisible de 0.0025cm (0.001”) para moldes nuevos y 0.0050cm (0.002”) para moldes en uso.

Las distancias entre las caras opuestas será de 5 ± 0.013 cm (2 ± 0.005 ”) para moldes nuevos, y de 5 ± 0.005 cm (2 ± 0.002 ”) para moldes en uso.

La altura de los moldes, medida separadamente para cada compartimiento cúbico será de 5cm (2”) con variaciones permisibles de + 0.0025cm (+ 0.01”) y - 0.0125cm (-0.005”) para moldes nuevos y +0.025cm (+ 0.01”) y -0.038cm (-0.015”) para moldes usados.

El ángulo entre las caras interiores adyacentes y entre las caras interiores y los planos superiores e inferiores de los moldes será $90 \pm 0.5^\circ$ medidos en puntos ligeramente alejados de la intersección de las caras.

Mesa y molde de flujo.- La mesa de flujo y el molde cumplirán con los requisitos de las especificaciones para la mesa de flujo usada en ensayos de cemento hidráulico. (ASTM 230).

- a) El aparato para la mesa de fluidez constara de un soporte rígido y una mesa circular también rígida de diámetro de 25.4 ± 3 m, con un eje atornillado a su parte inferior perpendicularmente a la cara superior. La mesa y el eje con su saliente integral de contacto, se montaran en el soporte de tal manera que por medio de una leva giratoria se eleven y caigan verticalmente desde una altura especificada, con una tolerancia de ± 0.1 mm para mesas nuevas de ± 0.4 mm para usadas. La cara superior de la mesa será una superficie plana finamente maquinada, libre de huecos y defectos superficiales. La parte superior de la mesa será de latón o de bronce colados, 8mm de espesor en el borde y tendrá seis nervaduras radiales integrales rígidas. La mesa con el eje fijo pesara 4100 ± 50 g; el peso será simétrico al centro del eje.

- b) La leva y el eje vertical serán de acero al carbón grado medio para maquinaria. El eje deberá ser recto y la diferencia entre su diámetro y el de la perforación de soporte no será menor de 0.05mm ni mayor de 0.075mm para mesas nuevas, manteniéndose una tolerancia de 0.25mm para mesas usadas. El extremo del eje no hará contacto con la leva al final de una caída, pero deberá tener contacto con ella en un Ángulo no menor de 120 grados antes del punto de caída. La cara de la leva será una curva espiral suave con un radio que se incremente uniformemente desde 13 a 32mm en 360° y no debe apreciarse ninguna sacudida cuando el eje se ponga en contacto con la leva. Las caras de contacto de la leva y del eje serán tales que la mesa no gire más de una revolución en 25 caídas.
- c) El soporte de la mesa será monolítico, de hierro colado de alto grado de grano fino, tendrá tres nervaduras integrales rígidas a todo lo alto localizadas a cada 120°. La parte superior del soporte debe endurecerse hasta una profundidad de aproximadamente 6mm y pulirse para que sea perpendicular al taladro central, a fin de que se logre un contacto continuo de 360° con la saliente del eje. La cara inferior del soporte debe pulirse para obtener un contacto completo con la placa de acero sobre la cual descansa.
- d) La mesa deberá estar impulsada por un motor, conectado al eje de la leva a través de un reductor de velocidad de tornillo sin fin de un acoplamiento flexible. La velocidad del eje de la leva será aproximadamente de 10 rpm.

Lubricación de la mesa.- El eje de la mesa se mantendrá limpio y se lubricará con aceite ligero (SAE – 10).

No debe haber aceite entre las caras de apoyo de la saliente del eje y el soporte. El aceite sobre la cara de la leva disminuirá el desgaste y facilitara la uniformidad del funcionamiento.

La mesa se levantará y se dejara caer 12 veces o más inmediatamente antes de usarse si lleva sin usarse antes por algún tiempo.



Molde y calibrador.- El molde para colar el espécimen para los ensayos de fluidez será de latón o de bronce colado. El diámetro de la boca superior será $70 \pm 0.5\text{mm}$ para moldes nuevos y de $70 + 1\text{mm}$ y de -0.5mm para moldes usados. Las superficies definidas por la base y el borde superior serán paralelas entre sí y perpendiculares al eje vertical de cono. La pared del molde tendrá un espesor mínimo de 5mm. El exterior del borde del molde superior será de tal forma que proporcione una pestaña integral que permita levantarlo adecuadamente. Todas las superficies tendrán acabado liso de máquina. Un escudo circular, de aproximadamente 250mm de diámetro, con una abertura central de 102mm aproximadamente de diámetro de material no absorbente ni atacable por el cemento, deberá usarse con el molde de fluidez para evitar que el mortero se derrame sobre la mesa. Se proporcionará un calibrador que cumpla con el diseño y dimensiones para medir el diámetro del mortero después de que se haya extendido. La escala graduada se marcará a máquina y la construcción y exactitud del instrumento serán tales, que la distancia entre las quijadas deberá ser $102 \pm 0.25\text{mm}$ cuando el indicador se encuentre en ceros.

Apisonador.- el apisonador se fabrica de un material no absorbente, no abrasivo y no frágil tal como un compuesto de hule que tenga una dureza de 80 ± 10 según el medidor de dureza “Shore A”, o de madera de roble desecada que se haya convertido en no absorbente por medio de inmersión durante 15 minutos en parafina a una temperatura de aproximadamente 200°C . Tendrá una sección transversal de $1.27 \times 2.54\text{cm}$ y una longitud conveniente de 13 o 15cm. La cara del apisonador será plana y formará un ángulo recto con el eje longitudinal del mismo.

Llana.- La llana tendrá una hoja metálica de 10 a 15cm de longitud, con bordes rectos.

Máquina de ensaye.- Debe ser de acción hidráulica con una abertura suficiente entre la superficie de apoyos superior e inferior de tal manera que se pueda utilizar un aparato verificado. La carátula debe ajustarse fácilmente a cero desde el exterior y estará provista de una aguja que indique la carga máxima. La carga aplicada al espécimen de ensaye se indicará con una precisión de $\pm 0.5\text{kg}$ el apoyo superior tendrá apoyo firmemente al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera coincidirá con el centro de la superficie del bloque que queda en contacto con el espécimen. El bloque estará sujeto firmemente a su asiento esférico, pero tendrá libertad para girar en cualquier dirección. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo será solamente ligeramente mayor a la diagonal de la cara del cubo de 5cm, con el objeto de facilitar el centrado exacto del espécimen. Se usará un bloque de metal endurecido debajo del espécimen para reducir a un mínimo la deformación de la placa interior de la máquina.

La superficie de los bloques de apoyo que vayan a quedar en contacto con el espécimen tendrá una dureza Rockwell no menos de C 60, los bloques se conservarán dentro de una variación permisible de 0.025 cm.

La máquina de campo utilizada para este trabajo es la “MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS TINIUS OLSEN”.

Esta maquina tiene una capacidad de 50 toneladas.

7.- RESULTADOS.

INFORME DE LA CALIDAD EL AGREGADO FINO

MATERIAL ANALIZADO:	Ceniza Volcánica
PROCEDENCIA:	Morelia, Michoacán
NOMBRE DEL BANCO DEL QUE PROVIENE EL MATERIAL:	
USO:	Elaboración con morteros de cal apagada con mucílago de cactácea como aditivo.

PRUEBAS REALIZADAS A LA CENIZA VOLCANICA	RESULTADOS
Peso volumétrico seco suelto	1.314 gr/cm ³
Peso volumétrico seco varillado	1.40 gr/cm ³
Absorción	10.07 %
Densidad	2.14
Colorimetría	Muestra sin lavar, no. de color (C. calorimetría) 2.0, límite 3
Sedimentación	No rebasó la marca de 444ml, por lo tanto es aceptable
Material que pasa la malla No. 200	19.467%
Terrones de Arcilla	2.095%
% de grava en la muestra	0.0%
Equivalente de ceniza	72.82%
Modulo de finura	1.46

INFORME DE LA CALIDAD EL AGREGADO FINO

MATERIAL ANALIZADO:	Arena Volcánica
PROCEDENCIA:	Morelia, Michoacán
NOMBRE DEL BANCO DEL QUE PROVIENE EL MATERIAL:	Joyitas
USO:	Elaboración con morteros de cal apagada con mucílago de cactácea como aditivo.

PRUEBAS REALIZADAS A LAS ARENAS	RESULTADOS
Peso volumétrico seco suelto	1.225 gr/cm ³
Peso volumétrico seco varillado	1.336 gr/cm ³
Absorción	2.24 %
Densidad	2.40
Materia orgánica	Muestra sin lavar, no. de color (C. calorimétrica) 2.0, límite 3
Sedimentación	No rebaso la marca de 444ml, por lo tanto es aceptable
Material que pasa la malla No. 200	3.60%
Terrones de Arcilla	2.48%
% de grava en la muestra	0.0%
Equivalente de Arena	95%
Módulo de finura	2.30

7.1.1.ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR EL AGREGADO PÉTREO PARA MORTERO (ASTM C33, 2000)

El material que constituye el agregado fino para el mortero debe cumplir con los siguientes requisitos físicos:

GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA.- Los agregados para uso en morteros para mampostería deberán estar graduados dentro de los siguientes límites, dependiendo de dónde provenga el agregado pétreo fino, ya sea arena natural o artificial:

TAMAÑO DE MALLA	PORCIENTO QUE PASA	
	ARENA NATURAL	ARENA ARTIFICIAL
No. 4	100	100
No.8	95 a 100	95 a 100
No. 16	70 a 100	70 a 100
No. 30	40 a 75	40 a 75
No.50	10 a 35	20 a 40
No. 100	2 a 15	10 a 25
No.200	0	0 a 10

Módulo de finura entre 1.6 y 2.5

Demanda de agua, relación en peso 0.65 máxima [°6].

Para morteros puede emplearse un agregado que cumpla con los requisitos de estas especificaciones, pero a condición de que el 100% pase la malla No. 8 y el 95% pase la malla No. 16.

Los agregados no deberán retenerse más del 50% del total entre dos mallas consecutivas de la listada anteriormente y no más del 25% entre el No.50 y la No.100.

MÓDULO DE FINURA.- Resulta de sumar los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas 4,8,16,30,50,100 y dividir entre 100; si el módulo de finura varía en más de 0.2 del valor supuesto para el proporcionamiento del mortero, debe rechazarse el agregado, a menos que se efectúen ajustes en las proporciones para compensar el cambio de granulometría. El módulo de finura deberá ser de 1.6 a 2.5, para obtener morteros con las mejores características.

LIMITACIÓN DE SUSTANCIAS DELETÉREAS.- La cantidad de cada una de estas sustancias en agregados para mortero se determina en muestras independientes, que cumplan con los requisitos de granulometría señalados, no deben exceder los siguientes límites:

MATERIAL	PORCENTAJE PERMISIBLE MÁXIMO, EN PESO
Partículas desmenuzables	1.0
Partículas ligeras que floten en un líquido cuyo peso específico sea 2	0.5

IMPUREZAS ORGÁNICAS.- El agregado no deberá contener impurezas orgánicas en cantidades nocivas. Se rechazara aquel que al someterse a la prueba de colorimetría (impurezas orgánicas), produzca un color más oscuro que el estándar. No obstante lo anterior, puede emplearse este tipo de agregados, si es que la coloración se debe, principalmente, a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas semejantes, o que al someterlo a la prueba para determinar el efecto de impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero, la resistencia relativa a los 28 días del mortero fabricado con agregado no lavado sea mayor o igual que el 95% de la que presenta el fabricado con agregado lavado en solución de hidróxido de sodio. Límite de color en la carta colorimétrica No. 3.

MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200.- Se permiten las siguientes cantidades de materiales más finos que la malla No. 200:

AGREGADO	MATERIAL QUE PASA LA MALLA No.200, EN MEZCLAS EXPUESTAS A LA ABRASIÓN (EN PORCENTAJE MÁXIMO)	MATERIAL QUE PASA LA MALLA No.200, EN MEZCLAS NO EXPUESTAS A LA ABRASIÓN (EN PORCENTAJE MÁXIMO)
Arena natural	3	5

EQUIVALENTE DE ARENA

Una arena que tiene un equivalente de arena superior al 90% se considera excelente para este tipo de aplicaciones.

7.2.INFORME DE CALIDAD DEL AGLUTINANTE

TIPO DE MATERIAL: Cal Apagada
PROCEDENCIA: Piedras de Lumbre, San Luís Potosí
USO: Elaboración de morteros con mucílago de cactácea como aditivo.

PRUEBAS REALIZADAS A LA CAL APAGADA	RESULTADOS
Finura de la cal apagada	9.21% retenido
Peso volumétrico	0.57 grs/cm ³
Por ciento de agua de consistencia normal de la cal apagada	58.5% del peso de cal apagada. Penetración 19mm

7.2.1.ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA CAL APAGADA PARA MORTERO (ASTM C206 – 84, 2000)

La norma ASTM C 206- 84, indica que la finura de la pasta de cal no debe dejar un residuo mayor de 0.5% sobre la malla No.30, ni más del 15% sobre la malla No.200.

7.3.RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESION, FLEXIÓN Y TENSIÓN DE LOS MORTEROS.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE EN ESPECIMENES CÚBICOS DE MORTERO

MEZCLA (M1) : CENIZA VOLCÁNICA-CAL APAGADA-ARENA-MUCÍLAGO DE CACTÁCEA

PROPORCIÓN: 1:1.4:2:0.4 EN PESO

PRUEBA A LOS 3 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.99	4.90	5.06	213.89	12.50	25.25	0.50
2	5.03	4.79	5.04	210.10	14.50	25.33	0.57
3	5.01	4.87	5.08	217.15	15.00	25.43	0.59
4	4.98	4.90	5.02	175.60	32.50	24.97	1.30
5	5.02	4.79	5.03	178.20	42.00	25.20	1.67
6	5.04	4.87	5.00	176.70	36.00	25.18	1.43
PROMEDIO							1.01

PRUEBA A LOS 7 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.75	4.75	5.10	162.10	62.00	24.23	2.56
2	5.20	4.78	5.10	176.20	54.00	26.52	2.04
3	5.15	4.75	5.15	178.00	39.50	26.52	1.49
PROMEDIO							2.03

PRUEBA A LOS 14 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.10	4.80	5.35	178.00	47.50	27.29	1.74
2	4.85	4.80	5.05	164.60	57.00	24.49	2.33
3	5.00	4.90	5.00	164.00	41.50	25.00	1.66

PRUEBA A LOS 21 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.92	4.87	4.94	171.00	50.50	24.28	2.08
2	4.93	4.90	4.98	171.80	52.50	24.53	2.14
3	4.96	24.26	5.00	172.00	47.50	24.80	1.92
PROMEDIO							2.05

PRUEBA A LOS 28 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.06	4.84	5.02	174.60	45.00	25.40	1.77
2	4.97	4.81	4.98	172.45	63.00	24.70	2.55
3	4.99	4.81	5.01	174.95	71.00	24.97	2.84
4	5.00	4.98	5.15	177.70	88.00	25.75	3.42
5	5.00	4.83	4.95	168.10	82.00	24.75	3.31
6	4.95	4.85	4.90	166.30	92.50	24.26	3.81
PROMEDIO							2.95

PRUEBA A LOS 45 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.58	4.90	159.80	84.00	24.50	3.43
2	5.00	4.60	4.95	163.20	92.50	24.75	3.74
3	5.05	4.78	5.10	177.80	112.00	25.76	4.35
4	5.10	4.83	5.05	172.40	84.00	25.76	3.26
5	4.95	4.98	5.00	175.00	93.00	24.75	3.76
6	4.95	4.95	4.95	170.30	56.00	24.50	2.29
PROMEDIO							3.47

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A
COMPRESION SIMPLE EN ESPECIMENES CÚBICOS DE MORTERO**

MEZCLA TESTIGO: CENIZA VOLCÁNICA-CAL APAGADA-ARENA-AGUA

PROPORCIÓN: 1:1.4:2:0.4

PRUEBA A LOS 3 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.93	5.00	178.50	17.00	25.00	0.68
2	5.00	4.91	5.00	180.00	40.00	25.00	1.60
3	5.00	4.88	5.00	178.90	22.00	25.00	0.88
PROMEDIO							1.24

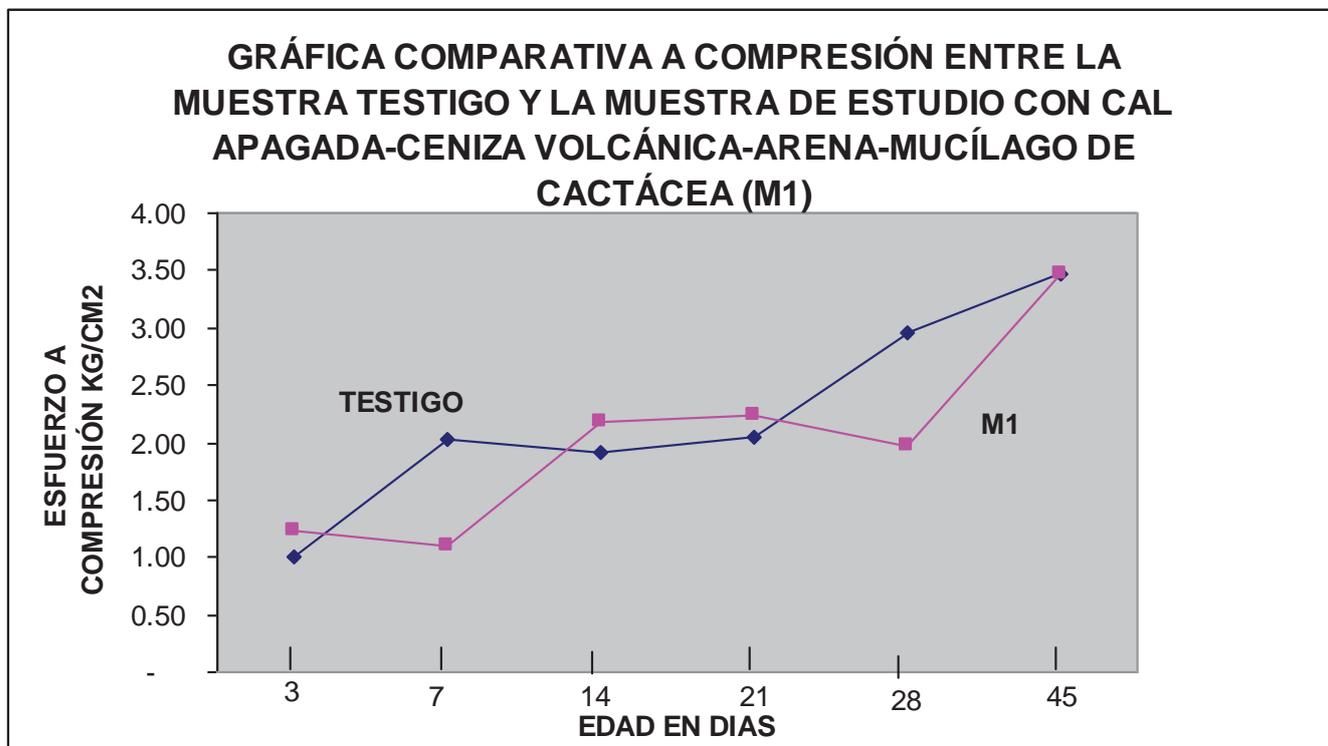
PRUEBA A LOS 7 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.91	5.02	4.95	170.09	27.00	4.93	5.48
2	4.95	4.86	5.01	170.04	27.50	4.98	5.52
3	4.99	4.86	5.05	169.00	26.50	5.02	5.28
PROMEDIO							5.43

PRUEBA A LOS 14 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.04	4.96	5.03	175.20	28.50	25.33	1.13
2	5.03	5.26	5.06	177.00	36.00	25.43	1.42
3	4.94	4.74	4.96	162.00	32.00	24.48	1.31
4	4.96	4.87	4.96	175.70	101.00	24.58	4.11
5	4.97	4.90	5.07	182.00	73.00	25.20	2.90
PROMEDIO							2.17

PRUEBA A LOS 21 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.95	4.90	4.94	158.20	51.00	24.45	2.09
2	4.96	4.44	5.12	153.40	46.50	25.34	1.83
3	4.88	4.66	4.95	153.30	81.50	24.11	3.38
4	4.91	4.64	4.92	162.00	45.00	24.16	1.86
5	5.03	4.88	5.00	175.40	57.50	25.13	2.29
6	4.98	4.82	4.96	167.50	49.50	24.68	2.01
PROMEDIO							2.24

PRUEBA A LOS 28 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.90	4.88	4.95	169.15	34.50	24.26	1.42
2	5.00	5.93	5.10	163.10	46.50	25.50	1.82
3	5.00	4.90	4.95	168.30	60.00	24.75	2.42
4	4.88	4.57	5.01	152.00	45.00	24.42	1.84
5	4.95	4.64	5.14	164.90	46.00	25.44	1.81
6	4.87	4.53	4.94	159.70	61.00	24.06	2.54
PROMEDIO							1.98

PRUEBA A LOS 45 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.80	4.78	4.95	158.60	92.50	23.76	3.89
2	5.00	4.55	5.15	162.00	87.50	25.75	3.40
3	4.95	4.93	4.95	160.50	77.00	24.50	3.14
PROMEDIO							3.48



**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A
COMPRESION SIMPLE EN ESPECIMENES CÚBICOS DE MORTERO**

MEZCLA M2: CAL APAGADA-ARENA-MUCÍLAGO DE CACTÁCEA

PROPORCIÓN: 1:2:0.3

PRUEBA A LOS 3 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.80	4.60	5.00	175.80	11.00	24.00	0.46
2	5.00	4.70	4.95	172.50	30.50	24.75	1.23
3	4.90	4.55	5.10	169.80	35.50	24.99	1.42
4	5.00	4.55	5.25	167.00	34.50	26.25	1.31
PROMEDIO							1.11

PRUEBA A LOS 7 ÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.98	5.10	179.00	27.50	25.50	1.08
2	5.00	4.96	5.10	1795.00	29.50	25.50	1.16
3	5.00	5.05	5.00	176.00	36.00	25.00	1.44
PROMEDIO							1.23

PRUEBA A LOS 14 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.99	4.71	4.99	164.65	20.00	24.88	0.80
2	4.95	4.86	4.99	169.65	50.00	24.70	2.02
3	4.97	4.86	5.02	169.40	40.00	24.95	1.60
PROMEDIO							1.48

PRUEBA A LOS 21 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.95	5.10	178.50	26.50	25.50	1.04
2	5.00	4.93	5.20	183.00	41.50	26.00	1.60
3	4.95	4.93	5.05	180.00	56.50	25.00	2.26
4	5.14	5.10	5.20	187.70	25.50	26.73	0.95
5	5.12	5.10	4.99	178.90	35.50	25.55	1.39
6	5.00	4.91	5.00	177.10	55.50	25.00	2.22
7	4.98	5.18	4.96	181.10	43.50	24.70	1.76
8	5.07	4.76	5.04	174.00	51.00	25.53	2.00
9	4.98	5.19	4.97	180.35	40.00	24.73	1.62
PROMEDIO							1.65

“CENIZA VOLCÁNICA COMO AGREGADO EN MORTEROS DE ALBAÑILERÍA CON CAL APAGADA
ARTESANALMENTE”

PRUEBA A LOS 28 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.10	4.73	5.05	179.00	51.50	25.76	2.00
2	5.00	4.85	5.00	176.00	54.00	25.00	2.16
3	5.00	5.00	5.00	184.00	50.00	25.00	2.00
4	4.95	5.13	5.00	179.60	56.00	24.75	2.26
5	4.90	4.75	5.00	166.00	36.00	24.50	1.47
6	5.00	4.88	5.00	171.00	35.50	25.00	1.42
PROMEDIO							1.89

PRUEBA A LOS 45 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	4.98	4.81	5.00	179.10	73.50	24.88	2.95
2	4.97	4.96	5.00	185.35	73.50	24.83	2.96
3	4.99	15.69	5.01	179.65	66.00	24.97	2.64
PROMEDIO							2.85

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A
COMPRESION SIMPLE EN ESPECIMENES CÚBICOS DE MORTERO**

MEZCLA TESTIGO: CAL APAGADA-ARENA-AGUA

PROPORCIÓN: 1:2:0.3

PRUEBA A LOS 3 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.03	4.89	5.03	181.00	25.00	25.28	0.99
2	4.98	4.82	5.01	180.50	29.50	24.90	1.18
3	5.06	4.85	5.05	182.20	35.00	25.55	1.37
PROMEDIO							1.18

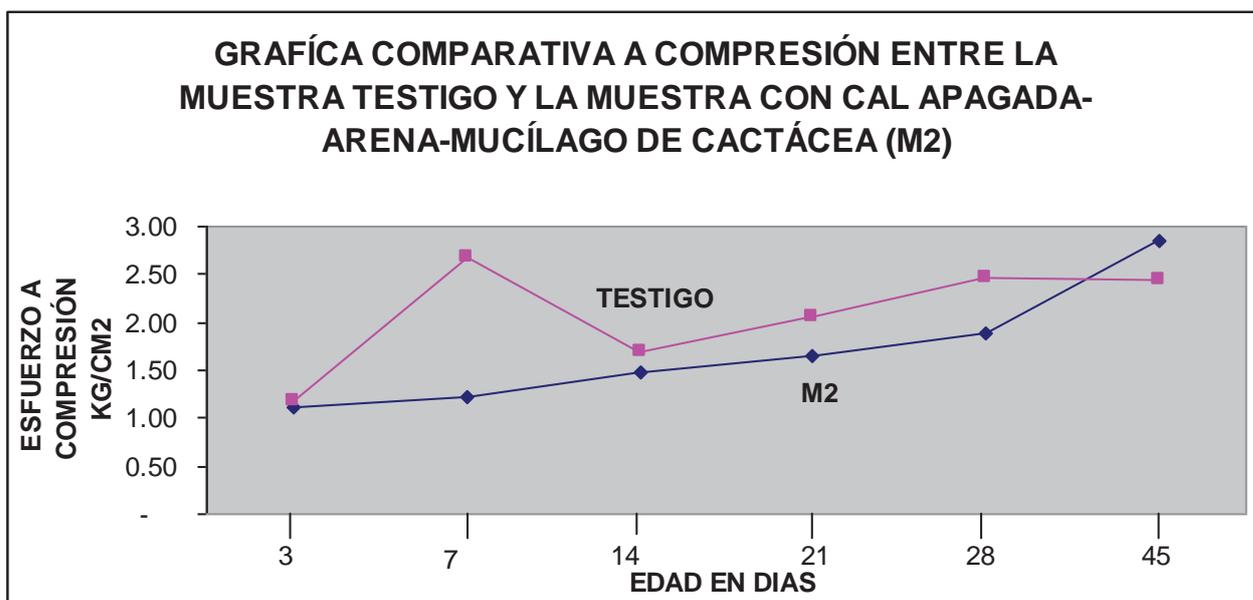
PRUEBA A LOS 7 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	5.00	5.00	172.30	64.00	25.00	2.56
2	5.00	4.85	5.00	172.10	68.50	25.00	2.74
3	5.00	4.93	5.00	179.90	68.50	25.00	2.74
PROMEDIO							2.68

PRUEBA A LOS 14 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.83	5.02	173.70	48.50	25.05	1.94
2	4.92	4.89	4.92	169.50	37.00	24.16	1.53
3	5.00	4.73	5.03	171.00	35.00	25.13	1.39
4	5.13	4.63	5.20	170.80	40.50	26.65	1.52
5	5.08	4.68	5.34	167.20	50.50	27.08	1.87
6	5.04	4.42	4.82	160.40	45.00	24.27	1.85
PROMEDIO							1.68

PRUEBA A LOS 21 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.65	5.15	167.70	46.00	25.75	1.79
2	4.95	4.71	5.15	172.80	43.00	25.49	1.69
3	4.85	4.75	4.95	166.60	30.00	24.01	1.25
4	4.95	4.93	5.00	176.50	62.00	24.75	2.51
5	5.05	4.85	5.05	182.00	83.00	25.50	3.25
6	5.00	4.85	4.95	171.50	45.00	24.75	1.82
PROMEDIO							2.05

PRUEBA A LOS 28 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.91	5.03	191.90	68.00	25.13	2.71
2	4.90	4.89	4.98	177.80	86.50	24.38	3.55
3	4.90	4.85	4.97	181.40	81.50	24.33	3.35
4	5.02	4.86	5.06	178.20	40.00	25.38	1.58
5	4.98	4.46	5.21	162.70	38.00	25.95	1.46
6	4.97	4.82	5.04	179.20	54.50	25.02	2.18
PROMEDIO							2.47

PRUEBA A LOS 45 DÍAS							
NO.	ANCHO (B)	ALTURA (h)	ANCHO (b)	PESO g	CARGA KG	ÁREA CM ²	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	5.00	4.85	5.10	178.00	68.00	25.50	2.67
2	4.90	4.68	5.20	169.70	47.50	25.48	1.86
3	5.00	4.80	5.00	174.00	69.50	25.00	2.78
PROMEDIO							2.44



**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN
SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO**

**MEZCLA M1: CAL APAGADA- CENIZA VOLCÁNICA-ARENA-
MUCÍLAGO DE CACTÁCEA**

PROPORCIÓN: 1:1.4:2:0.4

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.95	3.92	10.85	354	13.5	2.42
2	3.58	4.04	10.95	375.3	6.5	1.22
3	3.69	4.08	10.975	413.05	2	0.36
PROMEDIO						1.33

PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.63	3.83	10.85	322	12.5	2.54
2	3.78	4	10.6	327.4	2.5	0.44
PROMEDIO						1.49

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.95	3.92	10.85	354	13.5	2.42
2	3.68	3.87	11.1	327.5	2.5	0.50
3	3.7	3.9	10.9	338	8.5	1.65
PROMEDIO						1.52

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.57	4	10.6	322.5	4	0.74
2	3.63	4	10.85	329	3	0.56
3	3.65	3.9	10.7	320.5	5.5	1.06
PROMEDIO						0.79

“CENIZA VOLCÁNICA COMO AGREGADO EN MORTEROS DE ALBAÑILERÍA CON CAL APAGADA
ARTESANALMENTE”

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	4	3.7	10.9	338.3	4	0.80
2	3.85	3.9	10.85	333.2	3	0.56
3	3.83	4.15	10.85	353.5	16	2.63
PROMEDIO						1.33

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.81	4.15	10.5	330	25	4.00
2	3.78	3.97	10.2	332.5	18.5	3.17
3	3.73	4.13	10.35	326.3	14	2.27
4	4.02	3.83	10.85	349.4	18.5	3.40
5	3.95	3.9	10.75	350.3	15	2.68
6	3.97	3.87	10.85	348.4	23.5	4.30
PROMEDIO						3.30

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN
SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO**

MEZCLA TESTIGO: CAL APAGADA- CENIZA VOLCÁNICA-ARENA-AGUA

PROPORCIÓN: 1:1.4:2:0.4

PRUEBA A LOS 3 DÍAS

NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.86	3.9	10.8	347	6	1.10
2	3.88	3.9	10.7	348.2	7.5	1.36
3	3.87	3.675	10.85	324.5	5.5	1.14
PROMEDIO						1.20

PRUEBA A LOS 7 DÍAS

NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.93	3.99	10.7	344.45	5.50	0.94
2	3.87	3.91	10.735	329.15	5.50	1.00
3	3.9	3.89	10.805	326.05	6.00	1.10
PROMEDIO						1.01

PRUEBA A LOS 21 DÍAS

NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	4.09	3.77	10.15	319	8.5	1.49
2	3.95	3.7	10.35	318	13	2.49
3	3.52	3.8	10.4	286	9.5	1.95
4	3.87	3.91	10.675	333.2	5.5	0.99
5	3.87	4.035	10.7	38.9	10	1.70
6	3.90	3.88	10.7	331.9	8	1.46
PROMEDIO						1.68

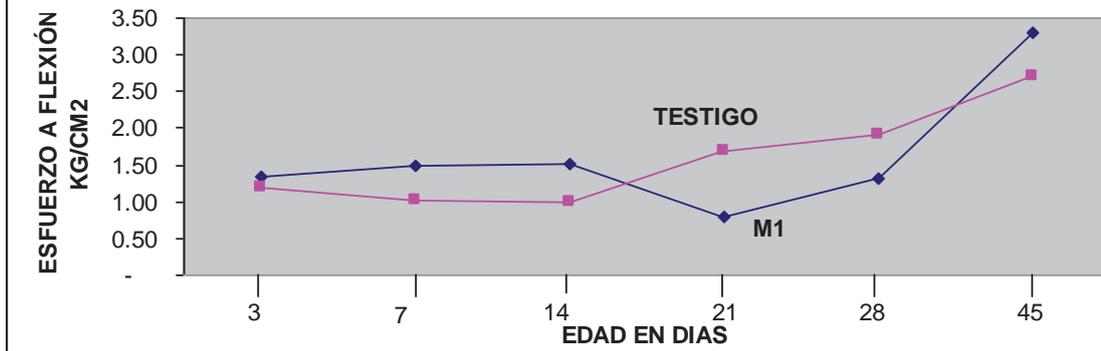
PRUEBA A LOS 28 DÍAS

NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.43	4.07	10.7	310.09	14	2.64
2	3.81	4.08	10.35	322.9	9	1.47
3	3.65	3.92	10.45	317.1	7.5	1.40
4	3.83	4.26	10.875	355.75	12	1.88
5	3.82	3.91	10.95	340	9.5	1.78
6	3.81	4.29	10.85	346.5	14.5	2.25
PROMEDIO						1.90

PRUEBA A LOS 45 DÍAS

NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.67	4.05	10.86	310.09	15.00	2.71
2	3.73	4.03	10.83	322.90	17.50	3.12
3	3.74	3.80	10.83	317.10	11.50	2.30
PROMEDIO						2.71

**GRAFICA COMPARATIVA A FLEXIÓN ENTRE LA MUESTRA
TESTIGO Y LA MUESTRA (M1) CON CAL APAGADA-CENIZA
VOLCÁNICA-ARENA-MUCILAGO DE CACTACEA (M1)**



**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN
SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO**

MEZCLA M2: CAL APAGADA-ARENA-MUCÍLAGO DE CACTÁCEA
PROPORCIÓN: 1:2:0.3

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.77	4	10.8	371.5	2.5	0.45
2	3.77	4	10.75	376	2.4	0.43
PROMEDIO						0.44

PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.83	3.95	10.9	327.5	10	1.82
2	3.35	3.77	10.9	278	6	1.38
PROMEDIO						1.60

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.94	3.59	10.9	319.8	13	2.79
2	3.91	3.75	10.99	316.7	7	1.40
3	3.90	4.70	11	340.2	5	0.64
PROMEDIO						1.61

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.92	3.96	10.81	349.30	11.00	1.93
2	3.975	3.86	10.85	347	6	1.10
3	3.88	3.81	10.61	326	14	2.64
4	3.90	3.93	10.8	336.75	7	1.26
5	3.90	3.69	11	321.2	2	0.41
6	3.85	3.41	10.85	345.55	4.5	1.09
PROMEDIO						1.41

“CENIZA VOLCÁNICA COMO AGREGADO EN MORTEROS DE ALBAÑILERÍA CON CAL APAGADA
ARTESANALMENTE”

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.9	4.05	10.9	357	12.5	2.13
2	3.75	3.9	10.9	342	8	1.53
3	3.95	7.7	10.75	341	11	0.50
4	3.9	4	11.15	373.2	5	0.89
5	3.9	4	10.95	349	5	0.88
PROMEDIO						1.19

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.875	3.64	10.85	327	10	2.12
2	3.915	3.93	10.85	350.6	10	1.80
3	3.925	3.92	10.8	354.45	10	1.79
PROMEDIO						1.90

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN
SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO**

MEZCLA TESTIGO: CAL APAGADA-ARENA-AGUA
PROPORCIÓN: 1:2:0.3

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.63	3.94	10.9	227.5	6	1.16
2	3.50	3.88	10.85	336	6	1.24
3	3.78	3.93	10.85	363.9	7.5	1.40
PROMEDIO						1.26

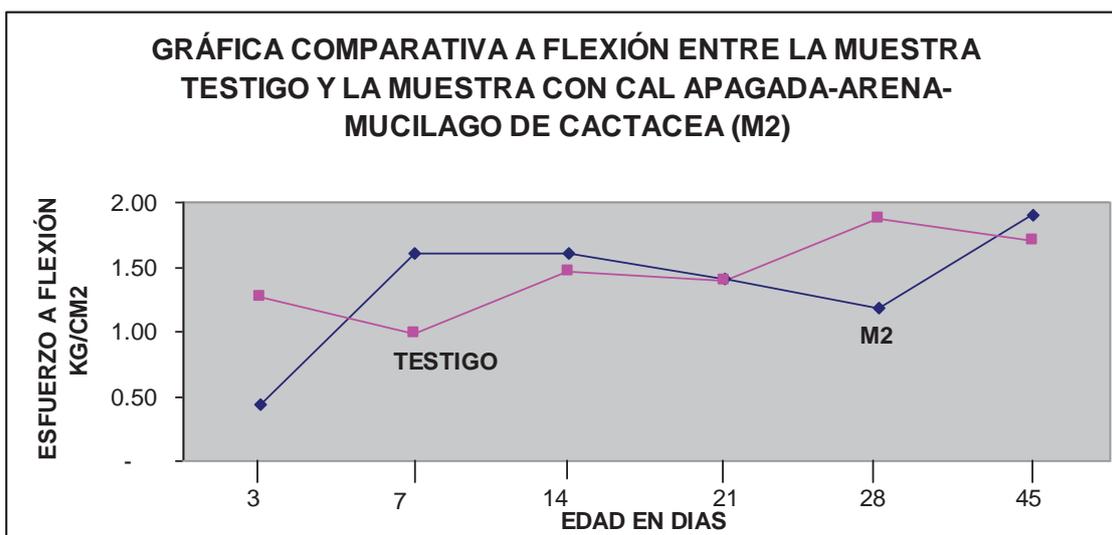
PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.93	4	11	361.7	8	1.40
2	3.93	3.95	10.75	357	8	1.40
3	4	4	11.1	335	1	0.17
PROMEDIO						0.99

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.91	3.86	10.85	342.7	7	1.30
2	3.98	4.06	11	367.5	10	1.68
3	3.93	3.83	10.85	346.3	7.5	1.41
PROMEDIO						1.47

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.81	3.95	10.2	334	5	0.86
2	4.18	4.05	10.8	340.5	10	1.57
3	3.82	4	10.9	344.5	13	2.32
4	4.03	3.9	10.9	349.2	6.5	1.15
5	3.95	3.77	10.85	344.5	5.5	1.06
PROMEDIO						1.39

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.95	4.03	10.8	360.8	12	2.02
2	3.65	4.04	10.75	358.1	12.25	2.21
3	3.65	3.96	10.75	343.1	7.5	1.41
PROMEDIO						1.88

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO CM	ALTURA CM	CLARO ENTRE APOYOS CM	PESO g	CARGA KG	MODULO DE RUPTURA KG/CM ²
1	3.7	3.87	10.3	325.5	7.5	1.40
2	3.77	4.03	10.1	343.1	15.5	2.55
3	3.78	4.27	10.1	354.5	8	1.17
PROMEDIO						1.71



RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO

MEZCLA M1: CAL APAGADA- CENIZA VOLCÁNICA-ARENA- MUCÍLAGO DE CACTACEA

PROPORCIÓN: 1:1.4:2:0.4

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	96	0.06	0.48
2	2.5	2.5	6.25	87.9	0.072	0.58
3	2.5	2.3	5.75	73.5	0.10	0.86
4	2.5	2.5	6.25	71	0.12	0.96
5	2.5	2.3	5.75	84.3	0.12	1.06
PROMEDIO						0.79

PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	79.5	0.13	1.06
2	2.5	2.6	6.5	86.4	0.14	1.06
3	2.5	2.3	5.75	90.7	0.17	1.50
PROMEDIO						1.21

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	86.5	0.13	1.07
2	2.5	2.4	6	85.5	0.13	1.12
3	2.66	2.43	6.46	94.8	0.13	0.98
PROMEDIO						1.05

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	84.5	0.14	1.12
2	2.5	2.5	6.25	85.1	0.1432	1.15
3	2.5	2.5	6.25	85	0.987	7.90
PROMEDIO						3.39

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.55	2.48	6.32	92.7	0.14	1.07
2	2.53	2.48	6.27	87	0.12	0.96
3	2.54	2.39	6.07	80.9	0.07	0.61
PROMEDIO						0.88

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	85.8	0.21	1.70
2	2.5	2.5	6.25	86.1	0.21	1.70
3	2.5	2.5	6.25	87	0.22	1.72
PROMEDIO						1.71

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN
SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO**

MEZCLA TESTIGO: CAL APAGADA- CENIZA VOLCÁNICA-ARENA-AGUA

PROPORCIÓN: 1:1.4:2:0.4

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	83.1	0.15	1.19
2	2.3	2.4	5.52	82.6	0.05	0.42
3	2.4	2.3	5.52	83.7	0.10	0.86
PROMEDIO						0.82

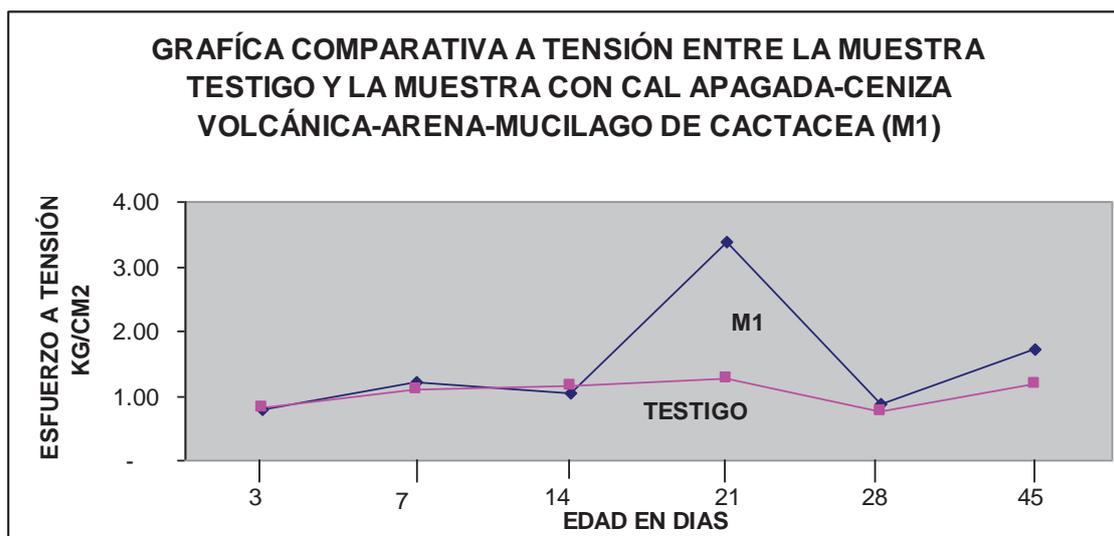
PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	92.2	0.13	1.05
2	2.5	2.2	5.5	87.6	0.12	1.05
3	2.54	2.54	6.45	85	0.15	1.17
PROMEDIO						1.09

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.6	6.5	87.8	0.16	1.24
2	2.5	2.3	5.75	86.4	0.13	1.12
3	2.5	2.4	6	80.3	0.13	1.08
PROMEDIO						1.15

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	99.5	0.10	0.85
2	2.5	2.4	6	84.5	0.12	1.03
3	2.5	2.4	6	89.7	0.23	1.95
PROMEDIO						1.28

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	93	0.11	0.90
2	2.5	2.4	6	83.3	0.08	0.7
3	2.5	2.4	6	84.8	0.08	0.7
PROMEDIO						0.77

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	82.1	0.18	1.44
2	2.54	2.46	6.25	78.2	0.18	1.43
3	2.4	2.5	6	89.5	0.08	0.69
PROMEDIO						1.19



**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN
SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO**

MEZCLA: CAL APAGADA-ARENA-MUCÍLAGO DE CACTÁCEA

PROPORCIÓN: 1:2:0.3

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.43	6.075	82.1	0.04	0.30
2	2.52	2.37	5.9724	82.3	0.06	0.53
3	2.5	2.3	5.75	88.8	0.08	0.72
PROMEDIO						0.52

PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.6	2.36	6.14	87.5	0.12	0.95
2	2.5	2.5	6.25	80	0.13	1.06
3	2.5	2.5	6.25	81	0.10	0.81
4	2.5	2.4	6	86.3	0.10	0.85
PROMEDIO						0.92

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.43	6.08	82.1	0.04	0.30
2	2.52	2.37	5.97	82.3	0.06	0.53
3	2.5	2.3	5.75	88.8	0.08	0.72
PROMEDIO						0.52

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	83	0.13	1.05
2	2.58	2.72	7.02	97	0.06	0.42
3	2.5	2.42	6.05	82.8	0.06	0.46
PROMEDIO						0.64

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.4	2.4	5.76	81.7	0.08	0.70
2	2.3	2.4	5.52	83.2	0.13	1.15
3	2.5	2.3	5.75	89.4	0.09	0.79
PROMEDIO						0.88

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.5	6.25	86.9	0.17	1.40
2	2.5	2.5	6.25	88.7	0.19	1.52
3	2.5	2.5	6.25	93.5	SE TRONO	0
PROMEDIO						1.46

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A FLEXIÓN SIMPLE EN VIGAS DE MORTERO

MEZCLA: CAL APAGADA-ARENA-MUCÍLAGO DE CACTÁCEA

PROPORCIÓN: 1:2:0.3

PRUEBA A LOS 3 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.38	5.95	83.55	0.10	0.83
2	2.53	2.47	6.25	88.65	0.10	0.81
3	2.5	2.46	6.15	87.3	0.09	0.74
PROMEDIO						0.79

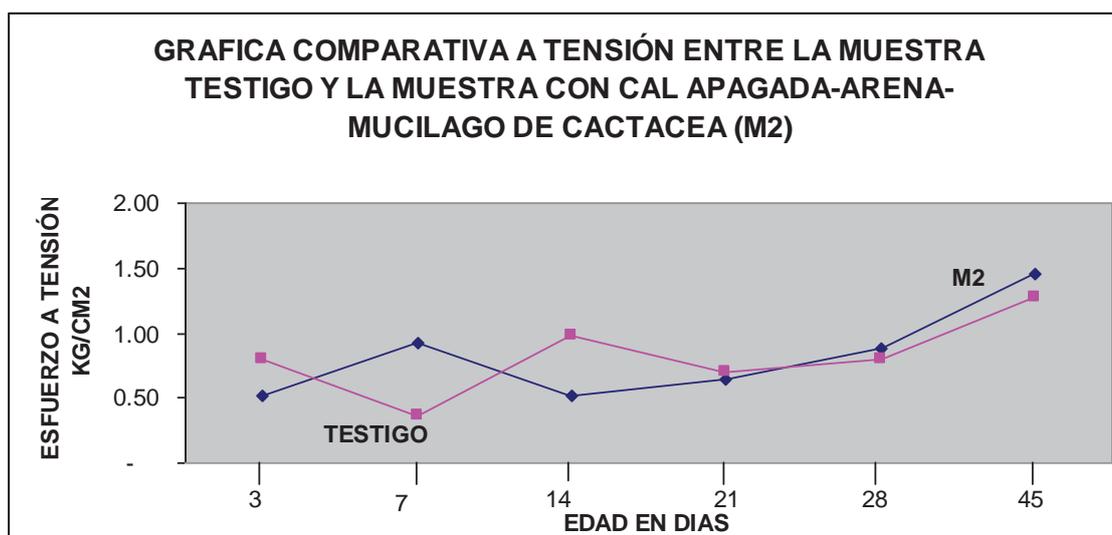
PRUEBA A LOS 7 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	80.5	0.033	0.28
2	2.5	2.36	5.9	81.6	0.07	0.61
3	2.53	2.52	6.38	85.4	0.04	0.34
4	2.49	2.58	6.42	87	0.044	0.34
5	2.54	2.5	6.35	84.8	0.037	0.29
PROMEDIO						0.37

PRUEBA A LOS 14 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.4	6	85	0.14	1.13
2	2.5	2.4	6	90.5	0.12	1.03
3	2.5	2.5	6.25	85	0.10	0.79
PROMEDIO						0.98

PRUEBA A LOS 21 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.57	2.55	6.55	86.2	0.0471	0.36
2	2.5	2.5	6.25	86.5	0.0583	0.47
3	2.5	2.5	6.25	87.1	0.1606	1.28
PROMEDIO						0.70

PRUEBA A LOS 28 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.49	2.45	6.10	80.8	0.08	0.69
2	2.5	2.45	6.13	85.5	0.09	0.76
3	2.4	2.45	5.88	82.5	0.11	0.93
PROMEDIO						0.79

PRUEBA A LOS 45 DÍAS						
NO.	ANCHO	ALTURA	ÁREA CM ²	PESO g	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1	2.5	2.3	5.75	99.5	0.1022	0.89
2	2.5	2.4	6	81.9	0.1643	1.37
3	2.5	2.4	6	83	0.1867	1.56
PROMEDIO						1.27



8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la actualidad los edificios históricos de nuestro patrimonio arquitectónico están expuestos a la intemperie y los materiales de los que fueron hechos sufren cambios físicos y químicos, y a su vez cambios mecánicos. Se ha visto el aumento a mediados del siglo, por fenómenos de contaminación ambiental y especialmente en las zonas urbanas e industriales. De aquí que surge la necesidad de salvaguardar nuestros antecedentes culturales, viendo la importancia del deterioro de los materiales que los constituyen, es así que tratamos de buscar un material que tenga las semejantes características y que guarden la originalidad de los materiales que se utilizaron para las construcciones antiguas.

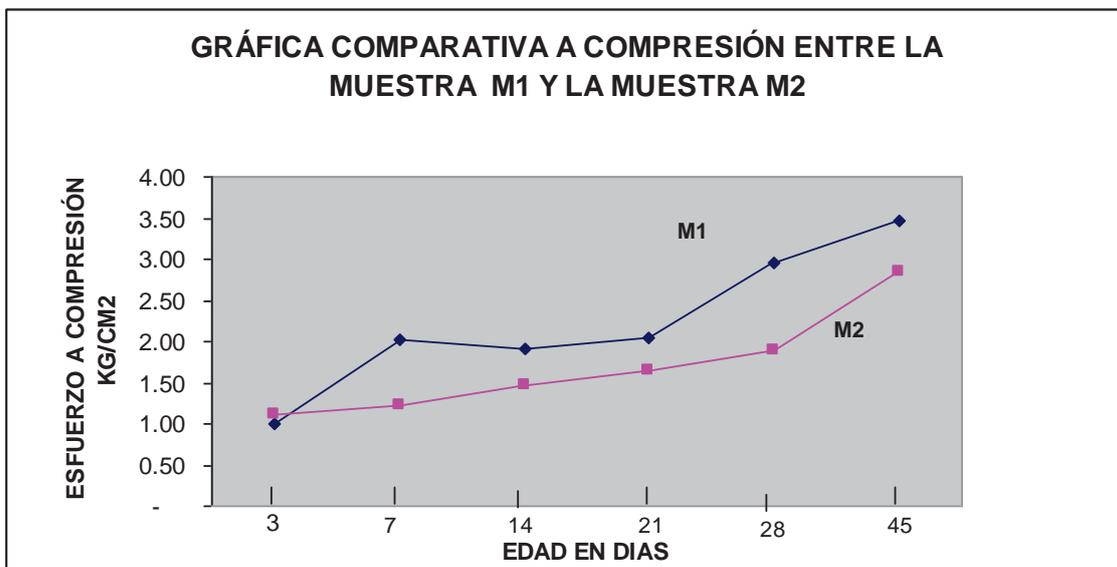
El conocimiento de las técnicas en los morteros de los monumentos históricos, se han descubierto y estudiado más a fondo su composición, pero en la realidad no se conoce ningún estudio que haya tratado de caracterizar mas a fondo sus propiedades físicas, por ésto podemos concluir que este trabajo es uno de los pocos que existen, para dar comienzo al descubrimiento de sus propiedades en el ámbito físico y mecánico más detallado.

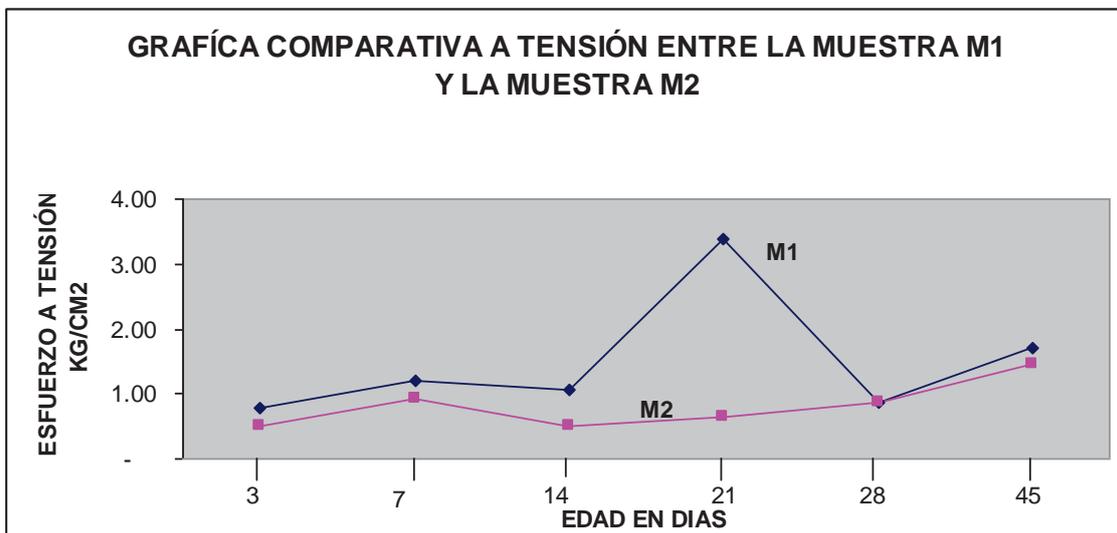
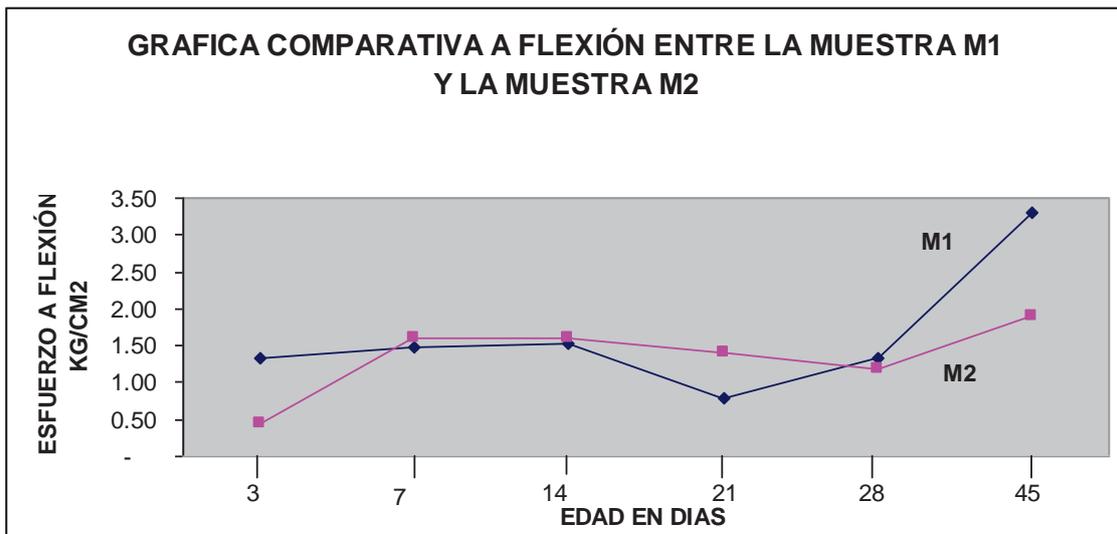
Los agregados pétreos y los especímenes se probaron y elaboraron según los estándares de la ASTM a diferentes edades. El agregado pétreo fino es del banco de Joyitas, Municipio de Morelia y es un agregado ígneo extrusivo volcánico tipo andesita, de Michoacán; la cal apagada alcanza una temperatura de 90°C, evaluándose el efecto del aditivo en la resistencia mecánica, el mucílago de cactácea (nopal) lo elaboro el Arq. Alberto Bedolla quien extrajo aproximadamente 30kg de nopales pelados (sin espinas) los cuales se colocaron en aproximadamente 60 litros de agua limpia, se pone a fuego hasta que hierve.

Este estudio sólo evalúa la adición de la ceniza volcánica y el mucílago de cactácea sobre la resistencia mecánica de los morteros de cal apagada.

9. CONCLUSIONES.

- Los resultados indican que existió un incremento en la resistencia en el caso del mortero con mucílago de cactáceas hervida para los tres tipos de sollicitación mecánicas a que fueron sometidos: compresión, tensión y flexión, con respecto a los casos de mortero testigo sin mucílago.
- En la elaboración de los morteros llegamos a la conclusión de que los moldes de metal hacían que la muestra perdiera más rápido la humedad necesaria para descimbrarlos con facilidad en comparación con los moldes de acrílico que se utilizaron posteriormente con los cuales se descimbraban con mayor dificultad y perdían menos humedad.
Los morteros que fraguaron en los moldes de acrílico presentaron porosidades y en algunos casos menos resistencia en las pruebas de compresión y tensión; ya que los moldes de acrílico guardaban mas humedad y no podían descimbrarse a las 24 hr en algunos casos.
- Según lo observado en el comportamiento de la resistencia de los morteros con dos diferentes mezclas, una con ceniza volcánica y la otra sin ésta; concluimos que con ceniza volcánica y el mucílago de cactácea (como líquido de amasado), hace que el mortero tenga una mayor resistencia en el crecimiento de su resistencia a compresión, tensión y flexión, en la mayoría del lapso de tiempo por debajo de la muestra testigo.
- La muestra sin ceniza volcánica y el mucílago de cactácea (como líquido de amasado) (M2), actúan muy diferente a la mezcla que contiene ceniza volcánica (M1) en la prueba a compresión simple, tensión y flexión.





- Podemos concluir que en todos los resultados obtenidos en las pruebas de compresión, flexión y tensión los morteros con ceniza volcánica obtuvieron una mayor resistencia.

Como resultado del análisis de esta parte, mezcla con mucílago de cactácea y sin ceniza volcánica se observó que perdía humedad muy lentamente al fraguar afectando el crecimiento de su resistencia.

Se ha encontrado que adiciones de nopal en concentraciones pequeñas pueden funcionar como acelerantes de fraguado pero también disminuye su fluidez [17]. Es decir, para que la fluidez de esos morteros con adiciones sea igual a los morteros sin las adiciones se tendría que aumentar la cantidad de agua en la mezcla. Esto podría aumentar la porosidad de los morteros y, en consecuencia, disminuir su resistencia a la compresión.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Galvan I.S., 2001
2. Rivera Flores E. Tesis profesional “Morteros de albañilería para restauración, como aditivo miel de abeja” Facultad de Ingenieria Civil, p.p.5.22
3. Silva Ruelas, 1990. “Los materiales de construcción de la antigua Valladolid” Secretaria de comunicaciones y obras publicas del Gobierno del Estado de Michoacán, pp. 63
4. Miranda, 1992
5. La ciencia de materiales y su impacto en la arqueología, 2004, Demetrio Mendoza, Eva Leticia Brito Benitez, Jesús A. Arenas Alatorre, Primera edicion, 2004, pag. 156-159.
6. Enciclopedia Encarta ®, Mirosoft, Morteros, 2001
7. Malagoni, D., R. Pancilla, Y. Fruth, J. Cañetas y V. Castaño. “Studies on the Mayan Mortars Technique”; Materials, Research Society, Symposium Proceeding. Vol. 352 (1995), pag. 483-489.
8. Bravo Hollis, H. y H. Sanchez Mejorada. “Las cactaceas de México”. UNAM. (1991), pag. 522-527.
9. Ramirez Romero, E. “Zonas Historicas de Morelia y Patzcuaro ante el T.L.C.” Instituto Michoacano de cultura del Gobierno del Estado y UMSNH (1994), PAG. 107-140.
10. Aguilar G.R.C. Tesis profesional “El Efecto Puzolánico de la Ceniza Volcánica” Facultad de Ingenieria Civil, pag. 7-12, 18-25. UMSNH, México 2005.
11. <http://es.wikipedia.org/wiki/ceniza>
12. <http://es.wikipedia.org/wiki/cal>
13. Manual de Concreto Parte 1 SARH, 1982

14. Villaseñor F.V., Tesis profesional “Estudio de Mecánica de los suelos y Calculo Estructural, de los Cinemas Gemelos Plaza Hidalgo en Leon Guanajuato” Facultad de Ingenieria Civil. Pag. 29-34, UMSNH., México. 1996. Estrada M.A., Tesis Profesional “Procedimiento de Construcción y Control de Calidad en el Revestimiento del Canal Porfirio Diaz Valle de Yaqui, Facultad de Ingenieria Civil, pag. 75 UMSNH, México 1992.
15. Manual de concreto Parte II, pag. 15 (SRH, 1970)
16. Alonso Guzman Elia Mercedes M.C., “Análisis de Materiales 1, Mampostería”, 1996
17. C. Celis Mendoza, “Mejora en en la durabilidad de materiales base cemento utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas”, tesis de licenciatura en ingeniería civil (Director: Torres Acosta A.A.), Universidad Marista de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, diciembre, 2007.