



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

Presenta:

Roberto Carlos Aguilar González

Asesor de Tesis:

Dr. José Carlos Rubio Ávalos

MORELIA MICHOACÁN NOVIEMBRE DE 2005



INDICE:

CAPITULO		PÁGINA
1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVO DEL TRABAJO	3
3	ESTADO DEL ARTE	4
3 .1	Historia	4
3 .2	Formación de las rocas y cenizas volcánicas	7
3 .2.1	Rocas metamórficas	7
3 .2.2	Rocas sedimentarias	8
3 .2.3	Rocas ígneas	9
3 .2.3.1	Rocas ígneas intrusivas	9
3 .2.3.2	Rocas ígneas filonianas	10
3 .2.3.3	Rocas ígneas extrusivas	11
3 .2.3.4	Rocas piroclásticas	11
3 .3	Mortero	13
3 .3.1	Composición de los morteros	13
3 .3.2	Clasificación de los morteros	15
3 .3.3	Usos de los morteros	17
3 .4	Descripción de los materiales constituyentes	17
3 .4.1	La cal	17
3 .4.1.1	Clasificación de las cales según su composición	23
3 .4.2	Los agregados pétreos	25
3 .4.2.1	Definición y clasificación del agregado fino	27
3 .5	Descripción de los materiales utilizados en este proyecto	31
4	DESCRIPCIÓN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS	33
4 .1	Propiedades Físicas	33
4 .2	Propiedades Mecánicas	60
4 .2.1	Resistencia a la compresión	60
4 .2.2	Resistencia a la tensión	62
4 .2.3	Resistencia a la flexión	63
4 .2.4	Fluidez en los morteros	65
5	DISEÑO DE MEZCLAS Y ESPECIMENES	67
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
6 .1	Propiedades físicas	69
6 .2	Propiedades mecánicas	73
6 .2.1	Compresión	73
6 .2.2	Tensión	77
6 .2.3	Flexión	81



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

6 .3	Discusión	85
7	CONCLUSIONES	86
7 .1	Conclusiones	86
7 .2	Aportaciones futuras	86
8	BIBLIOGRAFÍA	87



1.INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre empezó a manipular su medio ambiente se dio cuenta que algunos al mezclar diferentes tipos de materiales, estos con la adición de algún líquido y con el paso del tiempo tendían a solidificarse y a convertirse en una nueva estructura, experimentando así con los cementantes por primera vez.

Desde ese tiempo hasta la fecha muchos han sido los materiales usados como cementantes, desde lodos en un principio hasta llegar a los cementos que hoy conocemos que se obtienen mediante un complejo proceso de fabricación.

En éste proyecto la importancia principal la tiene un cementante muy antiguo, y no muy explotado en nuestros días como cementante, el cementante referido son las puzolanas. Las puzolanas son productos naturales y a veces artificiales de grano muy fino que originalmente se emplearon con el objeto de unir o cementar diferentes tipos de materiales.

El nombre proviene de que las cenizas volcánicas en las proximidades de la población de Puzzuoli, en Italia, fueron las primeras en utilizarse. Los productos puzolánicos naturales son tobas volcánicas, cenizas, rocas sedimentarias silíceas (sobre todo, pizarras opalinas, silex y tierra de diatomeas), la sílice condensada, algunos caolines de cascarilla de arroz y desechos geotermales, arcillas y pizarras calcinadas a temperaturas de 9000 a 18000 F (482.20 a 982.20 C). Se emplean también desechos industriales como las cenizas (recogidas de los residuos del humo en las chimeneas de las fábricas). Todos estos productos contienen formas de sílice (SiO_2) o alúmina activa que, aunque no son cemento en si, se combinan con la cal del cemento portland para formar un compuesto estable.

Las puzolanas pueden retrasar o evitar la reacción de los ácidos alcalinos, reducen la generación de calor producida por la hidratación (fraguado) del hormigón en masa en una estructura, aumentan la resistencia a la tensión, mejoran la docilidad de la mezcla y disminuyen el precio del hormigón en muchos casos, pues las puzolanas pueden ser mucho más baratas que el cemento, al que sustituyen parcialmente.

Los materiales puzolánicos son así llamados por la interacción química con los productos de hidratación del cemento, principalmente $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$; la reacción que describe tal proceso es llamada “reacción puzolánica”

Los productos puzolánicos actualmente se utilizan en diferentes ámbitos siendo para este proyecto en particular el uso que se les da en la construcción de cualquier obra civil, ya que actualmente se usan como morteros, para unir rocas naturales o artificiales o para recubrir muros en interiores o exteriores en lugares donde hay abundancia de puzolanas, o como es el caso del proyecto de



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

edificación de vivienda con materiales autóctonos, que la Organización de Naciones Unidas (ONU) lleva a cabo en lugares del mundo donde hay una gran marginación y el país beneficiado no produce cemento o la producción es muy limitada, las puzolanas son empleadas como cemento. Y como ya se mencionó anteriormente muchos son los institutos, laboratorios y universidades que están estudiando las puzolanas para utilizarlas como sustituto del cemento portland y así abaratar los costos en las construcciones y beneficiar el medio ambiente.



2. OBJETIVO DEL TRABAJO.

El presente proyecto tiene como objetivo conocer el grado de puzolanidad que contiene una ceniza volcánica. Para ello se hicieron estudios de la ceniza para conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones o ambientes, así mismo se hicieron estudios para conocer la composición mineralógica, sus propiedades físicas y mecánicas.

Estos estudios se hicieron a la par y bajo las mismas condiciones a materiales que son de uso común en la región, esto con la finalidad de tener una comparativa real del material en estudio y un material ya muy comprobado, como es la arena negra triturada. En adición, se realizaron mezclas de la ceniza volcánica con cal para obtener un mortero y someterlo a pruebas mecánicas. Los resultados obtenidos se compararon con la mezcla piloto que es la misma arena triturada de la región. Las pruebas mecánicas realizadas fueron las de compresión, tensión y flexión con su respectiva comparativa de la muestra piloto.

Al final se presentan gráficas y tablas comparativas para conocer en una manera mas clara el grado de puzolanidad que presentó la ceniza volcánica en comparación a un material totalmente inerte. Por último se presentan conclusiones, recomendaciones y tendencias futuras de acuerdo al comportamiento del material en estudio.



3. ESTADO DEL ARTE.

3.1 HISTORIA.

Desde el comienzo de la humanidad el modo de vida del hombre ha hecho que este se desplace de un lugar a otro, ya sea por búsqueda de animales, granos o frutos para subsistir. Este nómada estilo de vida llevó al hombre a enfrentar muchas dificultades con su medio ambiente y el clima. Por lo cual para poder protegerse de las adversidades de la lluvia, el frío, el sol y la nieve el hombre vivía en cuevas las cuales le daban protección y refugio.

De ahí y por medio de la observación y experimentación de los materiales, el hombre, empezó a manipular estos materiales que se encontraban a su alrededor y así construir refugios donde no había cuevas. Y descubriendo de esta forma los materiales cementantes.

El primer registro de la historia que se tiene de la manipulación de algún material como cementante fue en el antiguo Egipto (2755 ac – 2255 ac) ya que los constructores de aquella época crearon tumbas para sus faraones utilizando calizas y granito. También los egipcios usaron lodo del río Nilo con poco valor cementante, pero su aportación más importante, en cuanto a los cementantes, fue una mezcla de yeso calcinado que ellos usaron para el recubrimiento de sus ladrillos. Después los Griegos (580 AC – 475 AC) basándose en el sistema egipcio hicieron una mezcla que contenía piedra caliza calcinada para la edificación de sus templos. Sin embargo fue durante el imperio romano (27 AC – 476 DC) que se descubrió una nueva tecnología en mezcla de materiales cementantes. Esta nueva mezcla es el producto de la cal con la ceniza volcánica que provenía de un lugar llamado Puzzoulli. Con esta mezcla construyeron una gran cantidad de estructuras, que incluyen caminos, acueductos, templos y palacios, muchos de los cuales siguen todavía en pie lo que refleja la nobleza de esta mezcla.

De ahí otro avance lo dio John Smeaton que encontró que mezclando cal viva con otros materiales creaba una pasta, que al secar se ponía extremadamente dura y servía para unir rocas o para crear rocas artificiales. Con sus experimentos él construyó la primera estructura de concreto desde la roma antigua.¹

Sin embargo en 1824 el Ingles Joseph Aspdin consigue la patente del cemento Pórtland, el cual debe su nombre al parecido con la piedra Portland que se utilizaba en la construcción en Inglaterra en aquel tiempo. El cemento Portland se usa en las construcciones modernas como el ingrediente ligante o adhesivo del concreto. Esta compuesto principalmente de óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro hasta en un 95%.



Sin embargo durante los últimos 60 años la demanda mundial por el cemento se ha incrementado debido principalmente a la sobrepoblación y el rápido crecimiento de las grandes ciudades. Por lo mismo la producción del cemento se ha convertido en un proceso de alta demanda energética de combustibles y con alta emisión de contaminantes por descarbonatación de materia prima y uso de combustibles. Las restricciones ambientales impuestas a las cementeras son cada vez más estrictas, lo que deberá llevar a la optimización de procesos o a la búsqueda de alternativas para la resolución de los diversos problemas y necesidades actuales. Desde la perspectiva internacional, existe el constante crecimiento de la población, que a su vez demanda infraestructura de vivienda y social en los lugares de asentamiento. Para satisfacer la creciente demanda de cemento es necesario buscar esquemas alternativos de apoyo, de otra forma los costos económicos, energéticos y ambientales serían muy altos. La producción mundial de cemento es de aproximadamente 1500 millones de toneladas, con la consecuente emisión de casi la misma cantidad de CO₂. Desde la perspectiva nacional, México produce suficiente cemento para su consumo interno. De hecho la principal compañía nacional (Cemex) es el tercer productor mundial (incluyendo todas sus plantas en varios países) y también es el primer exportador mundial. Analizando lo anterior podemos presentar materiales adhesivos alternativos al cemento Portland.

Los materiales adhesivos alternativos tienen cabida como materias primas o materiales cementosos de reemplazo parcial o total del cemento Portland.

Se puede definir como material adhesivo alternativo como aquel que tenga propiedades cementosas latentes, esto es, que puedan emplearse como sustituto parcial o total del cemento Portland. A continuación se revisarán algunos detalles de materiales puzolánicos respecto a su composición, origen y forma de uso.

Los materiales puzolánicos son aquellos de composición rica en SiO₂. Ejemplos de estos son las cenizas volcánicas, la sílice condensada, algunos caolines, ceniza de cascarilla de arroz y desechos geotermales. Todos estos materiales pueden ser empleados como reemplazo parcial del cemento Portland y algunos como reemplazo total. Los materiales puzolánicos son así llamados por la interacción química con los productos de hidratación del cemento, principalmente [Ca(OH)₂]; la reacción que describe tal proceso es llamada “reacción puzolánica”

A continuación se presenta una tabla con los materiales puzolánicos que pueden ser utilizados como adhesivos alternativos al cemento Portland.²



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Material	Características	Origen
Ceniza volcánica	Partículas de forma irregular	Emisiones volcánicas
Sílice condensada	Partículas esféricas de tamaño menor a 1 μm	Vapores condensados de la producción de carburo de silicio
Ceniza de cascarilla de arroz	Morfología irregular, tamaño muy fino.	Producción del grano de arroz
Sílice geotérmica	Morfología irregular, tamaño submicrómico	Generación de electricidad
Caolines	Tamaño de partícula fina.	Mineral.
Ceniza volante	Partículas esféricas de tamaño variable similar o menor a las del cemento Portland.	Generadas por la combustión de carbón para generar electricidad

Tabla 1. Características generales de los materiales puzolánicos

Como se cito antes estos los materiales puzolánicos presentados en la tabla 1 pueden sustituir parcial o totalmente el cemento portland. Sin embargo la finalidad de este proyecto es conocer el grado puzolánico (o cementante) de la ceniza volcánica (dado que en la republica mexicana y en especial en Michoacán hay grandes volúmenes de ceniza volcánica que pueden ser explotados) y comparar los resultados con otro tipo de material inerte como es la arena triturada del basalto (arena negra) la cual es el material de uso común en la zona de Morelia. Para lo cual se realizaron pruebas de la ceniza volcánica en mezclas de mortero.

A continuación se presenta una descripción de su formación, clasificación y componentes mineralógicos.

Dado que los materiales utilizados en este trabajo provienen de rocas que a su vez provienen del magma se da a continuación una breve descripción del génesis de las mismas y su clasificación.



3.1 FORMACIÓN DE ROCAS Y CENIZAS VOLCÁNICAS EN LA TIERRA.

En un esquema simplista, el globo terrestre esta constituido en el centro por un núcleo formado por compuestos de hierro y níquel. Este a su vez se divide en dos partes: núcleo exterior que llega hasta los 5100 Km de profundidad, y núcleo interior que va desde el centro de la tierra hasta unos 6370 Km de profundidad. Un manto fluido (magma) de aproximadamente 2900 Km, 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 10 Km y debajo de los continentes donde puede llegar hasta los 40 Km. 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 sedimentarias el 1% restante. Cada grupo de rocas tiene sus divisiones o subgrupos.³

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

3.2.1 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 extremosa, 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 del metamorfismo y dan como resultado una roca con nuevas condiciones físicas, por lo que su estructura, textura y composición mineralógica serán modificadas.

Rocas metamórficas más comunes.

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



Esquistos de mica; este tipo de roca se forma por el metamorfismo de las arcillas puras y arcillas arenosas. Contienen minerales de muscovita, biotita, cuarzo, feldespatos entre otros.

Amfibolitas; son rocas formadas por metamorfismo de lutitas, tobas volcánicas o bien de las rocas magmáticas. Tiene un color verdoso debido a su composición mineralógica entre los que sobresalen: feldespatos, minerales de cuarzo, entre otros.

Mármol o calizas cristalinas; los colores de esta roca son muy variados los hay blancas, rojas, rosas, amarillentas o grises. Y los minerales que participan en estas rocas son cristales de dimensiones diversas del mineral de calcita.⁴

3.2.2 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 desintegración se lleva a cabo por el interperismo, por factores como el aire, agua y viento, que arrastran los sedimentos a lugares mas planos y profundos por lo cual también estos sedimentos son afectados por la acción de la gravedad que hace 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 algunos 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 que pueden ser, amarillo, rosado, cenizo y negro.

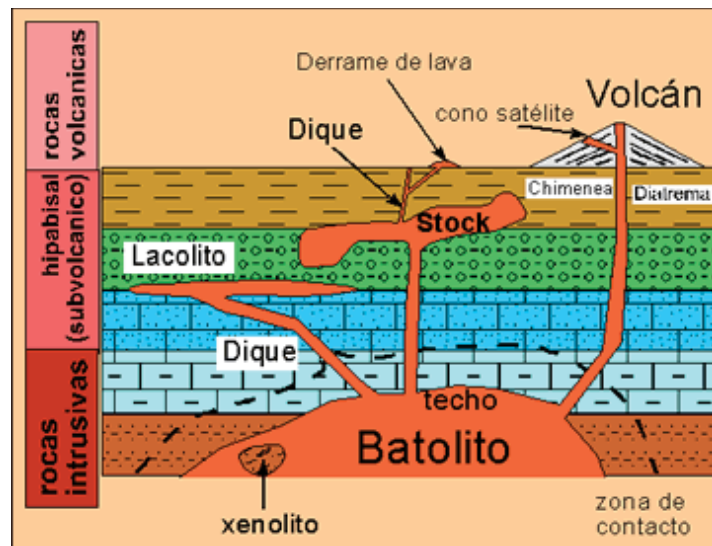
Conglomerado; es una roca que equivale a una grava cementada, de hecho parece un concreto fraguado sin molde, y compactada. Sus espacios vacíos están llenos de arenas y sus minerales más comunes en esta roca son el cuarzo y la calcedonia.⁴



3.2.3 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 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:

3.2.3.1 ROCAS ÍGNEAS 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 volatilización de elementos gaseosos, si no mas bien pasan a formar parte de los cuerpos rocosos.



Rocas ígneas más comunes

Granito; es una roca con textura masiva o compacta, su color es gris claro, y los minerales componentes son el cuarzo, la ortosa, y la biotita. En cuanto a su uso,

Granodiorita; es una roca constituida de cuarzo, en proporciones más reducidas que el granito, de feldespato plagioclasa 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.

3.2.3.2 ROCAS ÍGNEAS FILONIANAS O ROCAS HIPABISALES.

Son aquellas rocas formadas por la cristalización de la lava en líneas de fractura en el interior de la corteza 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:

Granito porfídico; es una roca con cuarzo, feldespatos alcalinos y plagioclasa con una textura porfídica.

Microdiorita; es una roca que contiene plagioclasa, pero con cristales pequeños.

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



3.2.3.3 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 temperatura 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 de la corteza terrestre.

Dentro de esta categorización las rocas mas 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 plagioclasa.

Darcita; esta roca es de composición mineralógica semejante a la granodiorita, esta compuesta por fenocristales de cuarzo, y por feldespatos plagioclasas entre otros.⁵

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

3.2.3.4 ROCAS PIROCLÁSTICAS.

Se originan en el caso de una actividad volcánica de forma explosiva, el magma expuesto al medio 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 magmatitas, 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 rocas secas y gases calientes que se alejan a una gran velocidad del lugar donde fueron expulsados.

Los fragmentos de roca piroclásticas tiene un amplio rango de clasificación granulométrica, estas comprenden roca densa, roca pulverizada o una combinación de los dos. Estos fragmentos al ser expulsados pueden abarcar un recorrido desde su origen hasta 200 kilómetros dependiendo de las condiciones de



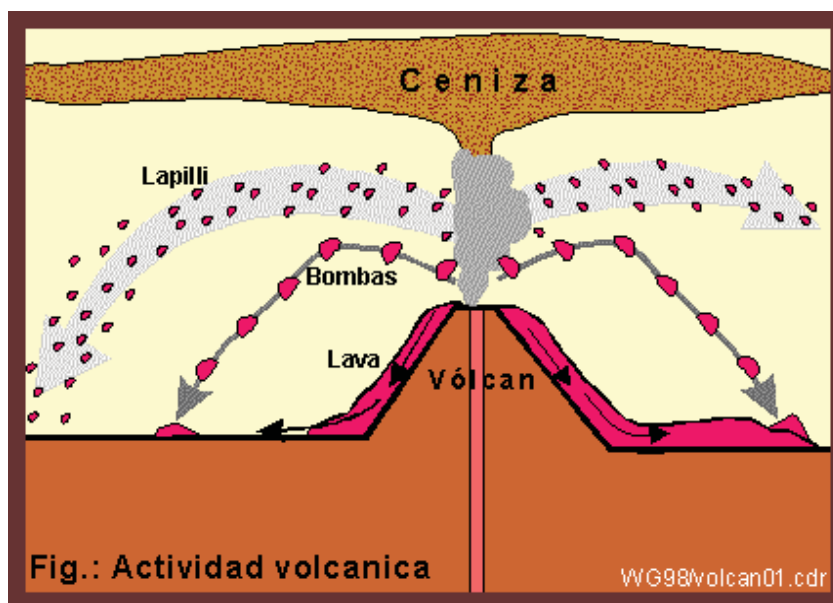
EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

viento y climáticas al momento de la erupción, cubriendo áreas desde 1 a 20,000 km², y su volumen puede llegar a ser de hasta 1000 km³.

Así, el termino tefra es un termino 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:

Tamaño de los Fragmentos	Tefra (sin Compactación)	Piroclásticas (compactadas)
> 64 mm	Bombas	Piroclásticas
2 – 64 mm	Lapilli	Toba de lapilli
< 2 mm	Ceniza	Toba de ceniza, Ignimbrita.

Tabla 2 Clasificación de los materiales tefra





3.3 MORTERO

La palabra mortero tiene su origen en la expresión latina mortarius que es el nombre que se le dio al caldero que se uso para cocer la cal.

Las mezclas de sustancias inertes, como arenas, con algún aglutinante, como la cal, y un liquido de amasado, como el agua, que al unirse forman una masa pastosa y maleable que se endurece en un tiempo de aproximadamente 24 horas, formando así una roca artificial, cuyas características y calidades (resistencia, forma, tamaño, etc.) varían según sea necesario.

3.3.1 COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS.

En el esquema siguiente ejemplifica la composición de los morteros en una forma muy general, ya que todos los morteros cumplen con esta condición.

Mortero = Aglutinante + Material inerte + Líquido de amasado.

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

Aglutinante.

Los aglutinantes son materiales que mezclados con agua o algún solvente se hacen plásticos y al endurecer logran alcanzar un grado de resistencia mecánica. Los aglutinantes pueden ser cal, cemento, yeso, arcilla por mencionar algunas sustancias que sirven para aglomerar, adherir o unir. El aglutinante, de acuerdo a sus características, proporciona al mortero diferente resistencia, tiempo de fraguado, durabilidad y economía. Los aglutinantes puros presentan cambios de volumen durante su fraguado es por eso que requieren que se les adicione un agregado pétreo.

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 utiliza para cumplir con varias funciones dentro del mortero:

- Proporciona resistencia mecánica al mortero.
- Reduce al mínimo los cambios volumétricos que se originan al fraguar el aglutinante.
- Permite la entrada de CO_2 , favoreciendo la etapa de carbonatación (endurecimiento) del mortero.
- Reduce el costo de la mezcla ya que el material inerte produce un abundamiento en la mezcla.

El material inerte al mezclarse con el aglutinante constituyen el soporte para el mortero y su resistencia a la compresión. La arena debe estar limpia, lavada, sin lodos ni impurezas orgánicas. Una buena arena debe crujir al momento de ser apretada con la mano, la granulometría de las arenas a emplear debe estudiarse cuidadosamente, ya que una composición granulométrica adecuada nos ofrece muy buenos resultados.

Las arenas de grano redondeado proporcionan un mortero más fácil de trabajar que las arenas de trituradoras. (Rubio A. 1988)

Líquido de amasado.

El líquido de amasado por lo general en los morteros es agua extraída de algún manto freático o de un río o de un lago. Ya que su función es la de provocar el fraguado del aglomerante mezclado con la arena y se lleven a cabo las reacciones químicas. El agua que se emplee en la mezcla de morteros debe ser limpia, que no contenga residuos que puedan ser perjudiciales. Por lo que se deberán eliminar del agua residuos de materias orgánicas o arcillas, sulfatos grasas y cloruros. Se recomienda efectuar un análisis químico del agua disponible para verificar que cumpla con los límites indicados.

De acuerdo con los resultados de dichos análisis y como comprobación de la calidad del agua propuesta, en algunos casos debe hacerse la prueba de resistencia a la compresión de cubos de mortero. Si el promedio de resistencias a los 28 y 60 días de los especímenes elaborados con el agua ensayada resulta mayor o igual que el 90% del promedio de la resistencia de los especímenes fabricados con agua destilada, puede aceptarse el agua propuesta.

En la siguiente tabla se presentan las limitaciones que son usuales para valuar la calidad del agua que se piense utilizar en la elaboración de concretos:



Sulfatos (como SO ₄) máximo en ppm	300
Cloruros (como CL) máximo en ppm	300
Magnesio (como MgO) máximo en ppm	150
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido) máximo en ppm	10
Sólidos totales en solución máximo en ppm	1500
PH no menor de	7

Tabla 3 Límites recomendables de impurezas en agua para concreto

3.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS.

Los morteros se clasifican de acuerdo al tipo de fraguado o según la composición del tipo de aglutinante. (Saad. 1960)

Clasificación dependiendo del tipo de fraguado.

Mortero físico:

Se le denomina mortero físico a la mezcla que pasa del estado pastoso o semilíquido al sólido se hace mediante secado o fraguado sin recursos químicos. Esto es aplicable a los morteros de barro, morteros de tierra refractaria, el mortero del asfalto y los morteros adhesivos basados en materiales sintéticos.

Mortero químico:

En este mortero el fraguado tiene lugar en forma de proceso químico. El mortero de la cal, el mortero del cemento y el mortero de yeso se encuentran en este tipo de mortero. Las mezclas entre este tipo de morteros y el empleo de distintos aditivos son las que más frecuentemente se emplean hoy en las obras civiles.

Clasificación de acuerdo con su composición del tipo del aglutinante.

Morteros aéreos.

Son aquellos cuya solidificación completa y endurecimiento son lentos y se efectúa por la acción del aire.

Morteros hidráulicos.

Son los morteros que tienen la propiedad de endurecer rápidamente y que pueden completar su fraguado indistintamente en el agua o en contacto con el aire.

Morteros terciados.



Son aquellos morteros que se les agrega barro común o tierra del lugar de su fabricación, en proporción de un volumen de tierra o de barro por un volumen de mortero, o también, un volumen de barro o tierra por dos de mortero.

Morteros bituminosos

Son los morteros en los cuales se emplean emulsiones asfálticas o cemento asfáltico para su elaboración.

Resumiendo esquemáticamente la clasificación de los morteros:

Morteros

Aéreos:

- De arcilla.
- De yeso.
- De cal.

Hidráulicos

- De yeso hidráulico
- De cales hidráulicas
- De cementos.

Bituminosos.

(A. M. Saad, 1982)



3.3.3 USOS DE LOS MORTEROS.

La función principal de los morteros es la de unir mampostería ya sea natural o artificial, para las juntas de asiento y verticales. Esto se hace para muros divisorios o para muros de carga.

Otra función importante para el mortero es la de recubrir los muros con aplanados, protegiendo los muros de la intemperie, y a su vez obtener una superficie mas lisa y uniforme.

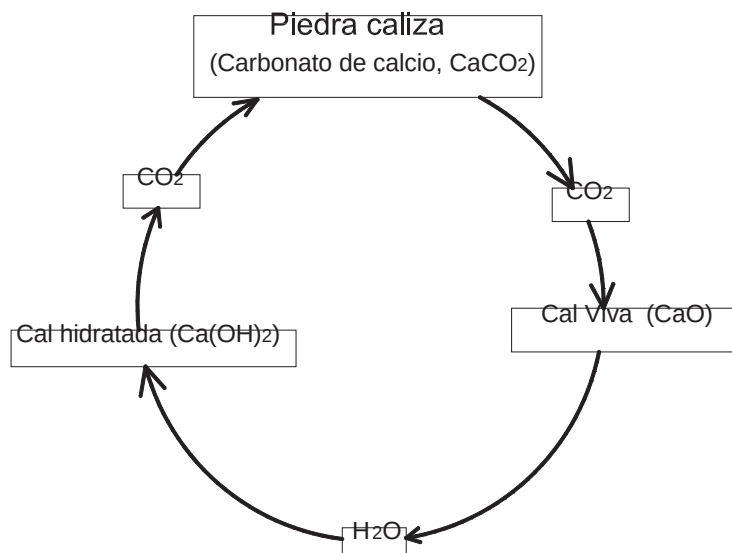
También el mortero es empleado en la fabricación de piedras artificiales como son tejas, ladrillos, bloques, placas, tubos, etc.

3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES

3.4.1 LA CAL

La cal es un químico muy versátil, derivado de los minerales de la piedra caliza. La cual 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:





Piedra caliza.

Como se dijo anteriormente en este proyecto, la piedra caliza es una roca de origen sedimentario, que se formó a partir de material precipitado por la 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 texturas. En algunas la textura es tan densa que no hay partículas visibles y la roca parece superficialmente una falsita o un basalto. En cambio en otras 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, alúmina, óxido de hierro entre otros. La roca caliza tiene un contenido total de mas del 50 % de carbonato de calcio. La forma mas pura de calcita y magnesia es blanca; pero la roca caliza mas común es gris, café claro o negra. Tiene una gran uniformidad en la variación de tamaños y es muy estable en presencia del agua. Existen dos tipos principales de calizas definidas por el origen de su formación; calizas orgánicas y calizas inorgánicas.

Calizas orgánicas.

Las calizas pueden originarse mediante la acumulación de las parte duras de muchos organismos, especialmente de invertebrados marinos que utilizan el carbono de calcio para formar estructuras de protección o 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 subacuáticas, que se extraen anhídrido carbónico del agua transformando el bicarbonato de calcio insoluble. Esta acumulación acompañada generalmente de algunas impurezas, se llama marga. Tanto en algas, como entre las bacterias hay variedades que producen la precipitación del carbonato de calcio.

Calles inorgánicas.

La precipitación inorgánica del carbono 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 puede reducir también el contenido del anhídrido carbónico y dar lugar a la precipitación del carbonato. La evaporación puede causar el mismo resultado.



Existen diversas variedades de calizas como pueden ser: Greda, dolomita, caliza fosfórica, estalictitas y estalagmatitas, travertino, tufa caliza, mármol, etc. (Anguiano C. 1984).

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 halla en una cantidad menor al 5% en una piedra caliza.
- Caliza magnesiana: Si la proporción del carbonato de magnesio es mayor al 5%
- Caliza dolomítica: Es una caliza que contenga entre 30 y 40 % de magnesio.
- Caliza dolomita: Es la roca caliza que tiene la misma cantidad de carbonato de calcio y carbonatos de magnesio.
- Caliza fosfórica: Es la roca caliza que contiene fosfato de calcio, se encuentra en la sierra del estado de Zacatecas y es utilizada para la fabricación de fertilizantes.

La principal propiedad industrial de la caliza, es su facilidad de descomposición bajo la acción del calor, o a una temperatura de 800° a 900° C, formándose dos productos: La cal viva (CaO) y el dióxido de carbono. A su vez, la cal viva con agua (H_2O) forman la cal hidratada (Ca(OH)_2). (Cortes A. y Bautista M. 1987).

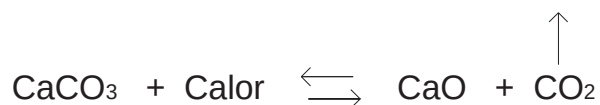
Cal viva.

Es llamada así por endurecer dentro del agua, en contraste con la cal hidráulica.

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. (R. S. Boyton).

Proceso de obtención de la cal viva.

La cal viva se fabrica a partir de piedra caliza triturada que contenga carbonato de calcio y magnesio en cantidades superiores al 95 % a una temperatura de entre 880° y 900° C provocando la siguiente reacción:



El proceso de la calcinación contiene tres operaciones generales:

1. La piedra caliza pierde primero su agua de cantera que contiene en su estado natural entre 120° y 150° C. Este paso se le conoce como precalentamiento.
2. Se lleva la piedra caliza a una temperatura de entre 880° y 900° C. Con lo cual se provoca la disociación en óxido de calcio CaO y bióxido de carbono CO₂.
3. El bióxido de carbono en forma de gas se pierde en la atmósfera quedando como producto aprovechable el óxido de calcio CaO.

El bióxido de calcio, obtenido de la anterior reacción endotérmica es conocido comúnmente como cal viva, cuyas características son las siguientes:

- Es un material sólido en forma de grumo.
- Tiene un color blanco que depende de su pureza.
- Su peso específico es entre 3.08 – 3.30.
- Tiene un olor suave.
- Su PH es de 12.50
- En presencia del agua libera una gran cantidad de calor.

Cal hidratada.

La cal hidratada es un polvo de color blanco o ligeramente gris, esponjoso, con tamaño de partículas de una micra o inferior a ésta, y con partículas gruesas cuando tienen impurezas como el sílice.



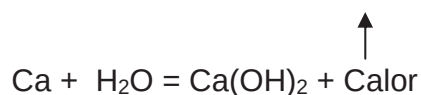
La cal hidratada tiene muchos usos en la construcción de obras civiles como:

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

Proceso de obtención de la cal hidratada.

La cal hidratada se obtiene a partir de la cal viva (óxido de calcio) añadiendo una cantidad limitada de agua durante su fabricación.

El óxido de calcio en presencia de agua produce la siguiente reacción exotérmica, produciendo el hidróxido de calcio o cal hidratada.

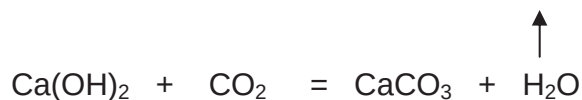


Esta reacción también se puede producir cuando el óxido de calcio absorbe el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera y de las sustancias vegetales y orgánicas que están en contacto con él.

En este proceso de hidratación o apagada de la cal viva, la temperatura se eleva a 160° C y el producto resultante es un polvo amorfo, blanco, de efectos cáusticos. Cuando se mezcla con el agua forma una pasta de color blanco, untosa de fluidez variable que es el aglutinante o aglomerante.

Endurecimiento de la mezcla de cal hidratada – agua.

El endurecimiento de la pasta o mezcla de cal hidratada con agua, que se utiliza como ligante entre materiales pétreos naturales o artificiales empleados en la construcción de obras civiles, se lleva a cabo muy lentamente, y se debe a la evaporación del agua de amasado, con la que se formó la pasta en combinación de una carbonatación por absorción del bióxido de carbono del aire.



De esta forma se cierra el círculo llegando de la caliza a la cual se partió.

Esta reacción es muy lenta y solo puede llevarse a cabo en un ambiente de aire seco, comenzando a las 24 horas de amasada la pasta o la mezcla y termina después de 6 meses y en algunos casos mas.

Durante este proceso la mezcla presenta una disminución de volumen. El endurecimiento lo adquiere mediante la absorción del bióxido de carbono del aire para formar CaCO_3 y MgCO_3 y así construir la piedra original que se formó.

Proceso de fabricación de cal hidratada.

La fabricación comienza con la explotación de la 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 fragmentarse. Una vez fragmentada la piedra caliza, debe ser transportada desde el lugar de la explotación hasta el área de la molienda.

La molienda consiste en la reducción de tamaño de la materia prima (en este caso fragmentos de piedra caliza) al tamaño requerido, este tamaño dependerá del tipo de horno con el que se calcine, después de la molienda el material es llevado al horno el cual puede ser vertical u horizontal según sea el caso, ahí se lleva a temperaturas de entre 800° y 900° C, para la descomposición de la piedra caliza, en la cual hay tres factores esenciales en esta composición:

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

El material obtenido después de la calcinación de la piedra caliza, es la cal viva la cual será llevada enseguida a la zona de enfriamiento, en donde su temperatura baja. Después se realiza una molienda a este material para una reducción de



tamaño de los granos. Esto se hace para que el proceso de hidratación se realice eficientemente.

Hecho esto el siguiente paso es el proceso de hidratación, en 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.

La relación promedio por peso de la reacción química de la hidratación es de 1:1.30, lo cual significa que en promedio una tonelada de cal se convierte en 1.30 toneladas de cal hidratada.

El material de hidratación sale en forma de polvo con una temperatura entre 130° y 150° C, este se deja enfriar a una temperatura ambiente hasta que se estabiliza la misma.

Finalmente el producto resultante, cal hidratada, es empaquetado para su venta y comercialización.

3.4.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CALES SEGÚN SU COMPOSICIÓN.

Existen dos tipos de cales: aéreas e hidráulicas.

Cales aéreas.

Una cal aérea es aquella que no endurece dentro del agua. Las cales aéreas se pueden clasificar de la siguiente forma:

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

CAL GRASA.

Es el producto de la calcinación, principalmente del carbonato de calcio, con lo que se obtiene una cal prácticamente libre de impurezas, con un alto porcentaje de óxido de calcio. Es sumamente 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 y al apagarse da una fina pasta trabada y untuosa, blanda en sitios húmedos, pero resguardada del aire.

Las cales grasas son las más fáciles de obtener y de mayor rendimiento que las cales de magnesita, incrementan su volumen al apagarse, hasta tres veces y media su volumen inicial y las de magnesita cuando mucho dos veces.



La plasticidad de las cales grasas es superior a las de magnesia, pero en cuanto a fraguado y resistencia es mejor la cal de magnesia.

CAL RICA EN CALCIO.

Contiene hasta un 5% de su peso de óxido de magnesio. Es la más utilizada en la construcción debido a su resistencia.

CAL POBRE (CAL MAGRA)

Producto de la calcinación de piedras calizas con un alto porcentaje de sílice, aluminio y óxidos de hierro. En contacto con el agua, reacciona lentamente por lo cual casi no se emplea normalmente.

Cuando la caliza contiene impurezas tales como arenas u otros materiales extraños, que no producen reacción química en el producto resultante, si no como adulterantes, y si la cal obtenida contiene solamente de un 50% a un 80% de óxido de calcio, se le denomina cal magra o árida o en su defecto cal pobre.

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.

CALES DE MAGNESIA.

Las cales comerciales que contienen óxido de magnesio, debido al contenido de carbonato de magnesio $MgCO_3$ en la caliza. Cuando la cal viva producto de la calcinación de la caliza, contiene entre un 10% a un 25% de óxido de magnesio, se le llama cal de magnesia.

CAL DOMINICA O CAL DE ALTA MAGNESIA

Es la cal cuando el óxido de magnesio contenido en ella es mayor al 25%.

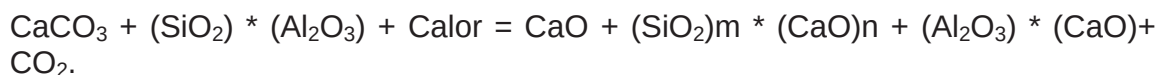
Cales hidráulicas.

Cuando la piedra caliza se somete a calcinación, contiene o esta mezclada artificialmente con una cierta cantidad de arcilla, mayor de un 5% pero sin superar el 20% a temperaturas superiores a los $1000^{\circ}C$, reaccionan los productos de la disociación de la arcilla, SiO_2 y Al_2O_3 con el CaO , dando como producto resultante la cal hidráulica.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

De una manera aproximada ya que los silicatos y aluminatos de calcio obtenidos no son bien conocidos se puede escribir la siguiente reacción que toma lugar en la calcinación.



La indeterminación de los subíndices de los silicatos y aluminatos se deberá que estos varían de acuerdo con 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 $\text{Ca}(\text{HO})_2$.

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 tener 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 hidroaluminatos e hidrosilicatos de calcio que son los que 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, menor contracción. Estas ventajas no son mayores cuando mayor proporción de arcilla contiene la piedra caliza, pues mayor será la cantidad de silicatos y aluminatos obtenidos con relación a CaO .

Por lo cual las cales hidráulicas tienen un valor relativo, sus propiedades son variables de acuerdo al contenido de arcilla que estas tienen.

Las cales hidráulicas tienen aproximadamente la siguiente composición química:

- CaO (Óxido de calcio)	64.00%
- SiO_2 (Anhídrido silícico)	24.00%
- 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%

(A. M. Saad. 1982)



3.4.2 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 el 75% del volumen del mortero, sus características influyen en la mezcla tanto en el estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla, durabilidad, resistencia y economía debido al abastecimiento que le proporciona a la mezcla.

Los agregados pétreos provienen de rocas y minerales, proporcionándoles ciertas características según su origen que pueden ser ígneas intrusivas o ígneas extrusivas, sedimentarias, metamórficas, el intemperismo y la erosión de la roca la transforma dando origen al 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.

- Agregados finos: lo constituyen las arenas naturales o piedra triturada, siendo la mayoría de sus partículas menores de 6 mm o que pasa por la malla No 4
- Agregado grueso: Consiste en una grava o piedra triturada cuyas partículas son mayores de 6 mm y predominan entre 9.5 mm y 38 mm. (S.A.R.H.1982)

Tanto la arena como la grava natural son producto del vulcanismo, de la excavación o draga de algunas minas, ríos, lagos o lechos marinos. El agregado triturado se produce a través de procesos mecánico industriales, triturando piedra de cantera, de piedra bola o grava de gran tamaño.

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

Deberán ser partículas durables

Limpias.

Resistentes.

Libres de productos químicos.

Libres 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 analizarán solamente las características del agregado fino y los métodos de ensaye a que es sometido.



Como ya vimos las rocas pueden ser dependiendo de su origen, ígneas, sedimentarias o metamórficas y se componen de diversos minerales.

La mayor parte de las mezclas de concreto y mortero están constituidas por agregados pétreos minerales, cuya participación en las características y propiedades en estas mezclas son de gran importancia ya que estos ocupan comúnmente entre el 60% y el 75% de su volumen. (Kosmatka y Panarse 1982)

3.4.2.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO FINO (ARENAS)

Las arenas son un conjunto de granos sueltos e incoherentes y de 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. las cuales arrastradas por corrientes aéreas o fluviales y se acumulan en lugares determinados o también se pueden obtener por molienda o trituración de las rocas.

Las arenas por su procedencia se pueden clasificar en:

- Arena natural. Proviene de la desintegración de roca natural (material pétreo, inerte que pasa por la malla No 4) producida en forma natural, cuyos fragmentos son llevados y depositados por fuerzas naturales, en depósitos de forma acústica, (fluvial, lacustre, marina, glaciár, etc.) eólica, (dunas) o ígneas (piroclastos). Esta arena no se somete a ningún tipo de proceso físico o químico para ser empleada como agregado en la elaboración de concretos, morteros y mezclas para carpetas asfálticas.
- Arena triturada mecánicamente. Material inerte obtenido artificialmente, que proviene de 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. Este material se utiliza para la elaboración de concretos y morteros. Presentan superficies rugosas y granos angulosos, prácticamente no contienen polvos, ya que estos se pierden en el proceso de criba al que son sometidos. Estas arenas son buenas para la elaboración de morteros y concreto siempre que provengan de rocas duras y no tengan aristas muy vivas ni sus ángulos muy agudos pues hace que disminuya la resistencia de estos elementos. (Saad, 1982)



De acuerdo con el tamaño de agregado se clasifican en: (A.S.T.M.)

Arena gruesa: los granos de estas arenas pasan por la malla No. 4 y son retenidos en la malla No 10.

Arena media: los granos pasan por la malla No. 10 y son retenidos en la malla No. 40.

Arena fina: los granos pasan en la malla No. 4 y son retenidos por la malla No 200.

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

Arena graduada (Ottawa): Es un material petreo, inerte, con un contenido de sílice del 98%, en el cual, mediante un tratamiento de rodamiento se eliminan las aristas y se obtienen partículas casi esféricas con una superficie lisa. Este material debe pasar por la malla No. 16 y retenerse en 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 retenerse en la malla No. 30, se usa como agregado en la elaboración de briquetas (Saad 1982)

La arena se clasifica de acuerdo con su módulo de finura:

Modulo de finura	Clasificación
< 2.00	Muy fina
2.00 - 2.30	Fina
2.30 - 2.60	Media fina
2.60 - 2.90	Media
2.90 - 3.20	Media gruesa
3.20 - 3.50	Gruesa
> 3.50	Muy gruesa

Tabla 4 Clasificación de la arena de acuerdo con su módulo de finura

(Manual del concreto parte 1 1982.)



De acuerdo con su origen las rocas se clasifican en:

Arenas silíceas o cuarzosas:

Se consideran las mejores debido a su dureza y estabilidad química.

Arena calizas:

Estas pueden ser utilizadas si provienen de rocas duras, desechándose las blandas

Arena granítica:

No debe usarse salvo cuando contengan bastante cuarzo, debido a su alterabilidad y poca homogeneidad.

Arena arcillosa:

Estas pueden ser empleadas cuando contengan menos del 3% ya que esta altera el fraguado y la plasticidad del mortero. (Saad, 1982)

Dependiendo del tipo de su 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. Esta arena da muy buen resultado para la fabricación de concretos o morteros debido principalmente a la forma de sus partículas.

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 que son el azul, parda y rosa.

Siendo las azules 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 pueden ser exitosamente empleadas en la fabricación de morteros o concretos, pero algunas tienen que ser lavadas para poder ser utilizadas.

Dentro de las arenas rosas existe la llamada poma rosa de características puzolánicas que son aptas para la elaboración de morteros con base de cal aérea.



Arena de playa o duna:

La característica de estas arenas es la cantidad tan elevada de sales alcalinas, que absorben y retienen humedad, dando con el tiempo origen a eflorescencias que son perjudiciales para acabados interiores, sus granos son muy pequeños y para la fabricación de morteros resultan antieconómicos y tienen muy poca plasticidad.

Arena volcánica:

Estas arenas suelen encontrarse en las faldas de los volcanes o zonas próximas a ellos. Proviene de rocas ígneas extrusivas tales como el basalto, el tezontle, la piedra pómez (espuma volcánicas), el tepetate entre otros.

Arenas de canteras:

Se obtienen de la explotación de cerros y montañas en forma abierta atacando varios frentes a la vez, el material resultante se somete a trituración y molienda para reducir las partículas a tamaños en los que se puedan trabajar como arena (que pase la malla No 4)

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 presenten planos de fractura, ya que al ser sometidas al proceso de trituración se obtienen agregados lajudos que alteran las propiedades del mortero y el concreto, teniendo la necesidad de agregar el contenido de arena y de aglutinante para lograr una mezcla manejable.

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 el mínimo de vacíos y cuando se requiera una determinada resistencia es necesario que la lechada sea la 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 más resistente y manejable, influye también en su economía. Las partículas alargadas o aplanadas, presentan con relación al volumen un área mucho mayor que es necesario cubrir con lechada, restándole manejabilidad y plasticidad al mortero fresco. La arena de forma esférica proporciona una mezcla más compacta que otra de granos angulosos y aplastados, por lo cual mientras más se utilicen materiales de forma redondeada, más compactos, resistentes y económicos resultarán estos morteros.

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 enseguida:



1. Secado al horno. Las partículas por tener todos sus huecos vacíos, absorbe toda el agua con la que puedan entrar en contacto con 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 éste 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.

3.5 Descripción de los agregados pétreos utilizados en éste proyecto.

Para este proyecto se utilizó dos tipos de arenas una es arena de origen volcánico que es la arena negra triturada que fue explotada del banco de materiales "Joyitas", cercano a la ciudad de Morelia. La otra es una ceniza volcánica proveniente del mismo banco de materiales.

La ceniza volcánica.

Enfocando más hacia el proyecto de este proyecto, la ceniza volcánica se define como el material que esta compuesto de partículas pequeñas de menos de 2 mm de roca y minerales que son producidos por una explosión de un volcán. Y la erupción de una gran cantidad de ceniza volcánica produce una fumarola o columna de ceniza. Y si el magma liquido es arrojado en forma de spray, las partículas solidificarán en el aire formando pequeños fragmentos de vidrio volcánico.

Debido a su origen volcánico de la ceniza en su composición mineralógica encontramos, trizas vítreas, feldespatos, cuarzo y otros minerales de alteración. Los cuales al ser depositados en capas sobre el relieve topográfico del terreno son compactados por el peso de otras rocas y adicionando el agua de la lluvia presentan cementación o efecto puzolánico.



La arena negra triturada.

Para las pruebas piloto o pruebas comparativas, se utilizó la arena negra triturada la cual se obtiene del banco de materiales de “Joyitas” que se encuentra en las inmediaciones de la ciudad de Morelia.

Esta arena se clasifica como arena volcánica porque proviene de la trituración de un basalto, debido a su yacimiento y explotación esta arena no presenta contenido de materia orgánica y por sus características funciona muy bien como material inerte lo cual es muy benéfico para lo que este proyecto requiere.

Líquido de amasado.

Para la elaboración de mezclas de materiales cementantes, pueden ser concretos o morteros, el líquido de amasado representa una parte importante, ya que por medio del líquido la mezcla se hace mas manejable y desencadena una reacción química para hacer posible el fraguado de cualquier cementante.

El líquido de amasado más comúnmente utilizado es el agua dulce, la cual se obtiene de diversas fuentes, ríos, lagos, mantos acuíferos, presas entre otros. Pero también es común la utilización de aditivos para cementantes, en especial en concretos, ya que estos modifican el fraguado de la mezcla, dependiendo del uso que se requiera o necesidades, como lo son la reducción del cemento, el incremento de fluidez, retardante o acelerante en el fraguado, etc.

Para este estudio se utilizó el agua potable que abastece a la ciudad de Morelia la cual no presenta olor, es incolora, sin presencia aparente de materia orgánica ni aceites o grasas. Por lo cual es aceptable y cumple con el objetivo para la preparación de una mezcla de mortero.



4. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS.

Para el desarrollo de este proyecto se realizaron estudios a los agregados pétreos en el laboratorio de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, esto para conocer mas de estos materiales y saber que tan conveniente es la utilización de los mismos de acuerdo con las normas y reglamentos del ASTM (American Society for Testing and Materials) y por el Reglamento de Construcciones de Concreto Reforzado. (ACI)

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS.

4.1.1 PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ARENAS

Las pruebas se hicieron a los dos agregados pétreos por igual para poder tener una comparativa real. Las pruebas hechas a estos agregados fueron las siguientes:

- Muestreo de agregados pétreos
- Cuarteo
- Humedad actual en arenas
- Humedad superficial y humedad de absorción
- Gravedad específica
- Determinación del peso volumétrico seco y suelto (PVSS)
- Determinación del peso volumétrico seco y varillado (PVSV)
- Granulometría o análisis granulométrico
- Determinación de la materia orgánica en arenas
- Sedimentación
- Material que pasa por la malla No. 200
- Prueba de terrones de arcilla
- Densidad en arenas
- Equivalente de arenas

Para dar una idea de por que son necesarias estas pruebas se cree conveniente en explicarlas en orden empezando por el objetivo, equipo, procedimiento y cálculos a realizar.



Muestreo de agregados pétreos

Objetivo: Obtener y traer una muestra representativa del material que se va a emplear en la elaboración de las muestras de concreto o mortero para poder realizar las pruebas a dicho material en el laboratorio.

Equipo:

- Medio de transporte
- Costales
- Palas
- Espátulas
- Bolsas de plástico

Procedimiento:

Para poder realizar los muestreos del material dependiendo en que etapa se encuentren los proyectos los podremos realizar en:

- Directamente en los bancos de material.
- En camiones que estén suministrando el material a la obra.
- En el material que se tenga en la obra misma.

El muestreo consiste en obtener una porción del material que vamos a emplear en la elaboración de las muestras aproximadamente de 50 kilogramos.

Cuando el muestreo se realice en los bancos de materiales puede ser para realizar los estudios para ver si el material reúne las características adecuadas y las especificaciones.

Cuando el muestreo se realice en los camiones o en la obra puede ser para verificar la calidad de los materiales.

En conclusión el muestreo tiene como finalidad primordial obtener una muestra representativa que reúna la totalidad de las características y del tamaño adecuado para realizar los estudios que le competen al laboratorio.



Cuarteo

El objetivo del cuarteo es obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

El equipo a emplear es el siguiente:

- Charolas grandes de lámina
- Palas de boca recta
- Cucharones
- Brochas o cepillos de pelo
- Balanza o báscula
- Trazo de plástico flexible de 40 X 40 centímetros

Para esta prueba existen tres procedimientos:

1. Procedimiento por cuarteo con palas:

Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.

Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procurará apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.

Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanan la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante nos servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.

2. Procedimiento para divisor de muestras.

Se toma la muestra previamente puesta en una charola ancha y se vacía sobre la parte superior del divisor, procurando repartirla en toda la longitud del divisor.

El material recibido en uno de los recipientes se elimina o si se desea se regresa a la bolsa de donde se extrajo. Si se desea una muestra más pequeña, entonces el material que ha quedado en uno de los recipientes se vierte en una charola, para posteriormente vaciar el contenido de la charola sobre el divisor, éste proceso de división se repite hasta lograr que la muestra quede del tamaño que se requiere.

3. Procedimiento con el trazo de plástico. Para muestras pequeñas.

Se coloca el trazo de plástico sobre la superficie de una mesa, para posteriormente colocar el material en la parte central del plástico.

Después se levantan los dos extremos opuestos del plástico y se une, a continuación se regresa a la posición original del trozo de plástico. Enseguida se



levantan los otros dos extremos opuestos y se unen, para de ahí regresar a su posición original. Éste proceso se repite varias veces hasta obtener una muestra homogénea.

Finalmente se elimina la mitad del material ya revuelto, para lo cual se lleva el trozo de plástico hasta la orilla de la mesa, de tal manera que la mitad de la muestra quede sobre la mesa y la otra mitad quede en el aire sujeta con una de las manos, cogiendo el extremo que esta sobre la mesa se suelta el extremo que esta en el aire con lo cual se elimina la mitad del material, el cual deberá ser recibido en un recipiente.

Humedad actual en arenas.

El objetivo de esta prueba es determinar el porcentaje de humedad que contiene una arena en el momento que se va a utilizar para la elaboración de una mezcla, para así poder hacer realizar la corrección correspondiente por humedad.

El equipo a emplear es:

- Muestra representativa de arena de un kilogramo aproximadamente
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Parrilla eléctrica.
- Espátulas.
- Cristal.

Procedimiento:

De la muestra representativa se pesan 300 gramos registrándose éste valor como peso inicial de la muestra o peso húmedo actual (Ph) posteriormente, ésta muestra se coloca en una charola metálica sobre la parrilla eléctrica para hacer el secado del material moviéndolo este con una espátula en forma constante para que el secado sea homogéneo hasta eliminar completamente la humedad del material.

Para saber cuando el material ya esta seco, se coloca el cristal sobre el material y en el momento que ya no se empañe esto significa que el material ya esta seco. De ahí se procede a enfriar un poco el material y pesarlo éste peso se registrará. Éste peso se registrará como peso final o peso seco de la muestra (Ps).



Cálculos:

$$\% \text{ humedad actual} = \frac{Ph - Ps}{Ps} (100)$$

Donde:

Ph = Peso de la muestra en gramos

Ps = Peso seco del material en gramos

Ph – Ps = Peso del agua que contenía el material

Humedad de absorción en arenas

El objetivo de ésta prueba es la de determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

El equipo a emplear es el siguiente:

- Una muestra representativa de material de aproximadamente 2 kilogramos.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo
- Una parrilla eléctrica
- Charolas metálicas
- Un cono metálico (truncocónico)
- Un pizón
- Una espátula

Procedimiento:

Se pone a saturar (en agua) la muestra de 2 kilogramos durante 24 horas como mínimo.

Al termino de este tiempo se seca superficialmente con la ayuda del truncocónico como se describe a continuación:

- Se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación de agua que contiene en exceso, esto es hacer el secado de la arena en forma superficial.



- Para saber cuando la arena esta seca, se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pizón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir que ya esta seca superficialmente, y si la arena mantiene la forma del cono significa que todavía tiene agua en exceso por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial. Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque en exceso.

Cuando la arena este seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como saturado y superficialmente seco (Ph).

Esa muestra de 300 gramos, se coloca en una charola hasta un peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.

Para saber cuando el material ya esta seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y se deja enfriar un poco, procediendo a pesarlo y registrar el peso como peso seco del material (Ps), si todavía se empaña el cristal hay que seguir secando el material hasta secarlo completamente.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad de absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} (100)$$

Donde:

Ph = Peso saturado y superficialmente seco (gramos)

Ps = Peso seco del material (gramos)

Gravedad específica en arenas.

El objetivo de esta prueba es determinar el peso de la unidad de volumen de ese material, sin considerar los vacíos que existen entre partícula y partícula. Las partículas se consideran saturadas en agua y superficialmente secas. Este resultado se utilizará en los proporcionamientos del concreto.



El equipo a utilizar es:

- Una balanza con capacidad de 2 kilogramos y un décimo de aproximación.
- Parrilla, espátulas y charolas.
- Cono de latón y pizón para secado superficial de la muestra.
- Un picnómetro formado por un frasco de vidrio de un litro de capacidad con boca ancha y esmerilada, una placa de vidrio esmerilada de 10 X 10 centímetros.

Procedimiento:

Se pone a saturar en agua una muestra representativa de 1.50 a 2.00 kilogramos durante 24 horas.

De una muestra saturada se toma una porción de un kilogramo y se escurre la humedad libre.

Se procede a secar superficialmente la muestra y controlando el secado por medio del cono y del pizón.

Del material seco se toma una muestra de 600 a 800 gramos, pesados al décimo de gramo, la cual se coloca en el frasco.

Se añade agua destilada al material, colocada en el frasco hasta dos terceras partes de la capacidad del frasco. Se tapa con el vidrio esmerilado y se agita 5 minutos para eliminar las burbujas de aire atrapadas, también se puede eliminar las burbujas rodando el frasco en una superficie horizontal, un tiempo conveniente. Se llena totalmente el frasco con agua destilada, hasta tener el borde ligeramente rebasado, a continuación se coloca la tapa de vidrio con un movimiento destilante sobre la boca del frasco, procurando que no queden burbujas de aire atrapado entre la superficie del agua y el vidrio esmerilado.

Se limpia el agua exterior del frasco y se pesa este al décimo de gramo anotándose como W1.

Se extrae el contenido del agua del frasco, se limpia y se vuelve a pesar, pero totalmente lleno de agua con el vidrio esmerilado, se anota como W2.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$GE = \frac{W0}{W2 + W0 - W1}$$

Donde:

W0 = Peso de la arena seca superficialmente

W1 = Peso del frasco + tapa de vidrio + material + agua.

W2 = Peso del frasco + vidrio + agua.



Observaciones:

El valor de la gravedad específica (GE) es un índice de calidad de material, puesto que un valor bajo de éste nos indicará que es un material muy poroso y si resulta demasiado alto nos indica que es un material pesado.

Anexo:

Existen otros dos procedimientos para determinar la gravedad específica en arenas:

1. Usando una probeta con sifón vertedor, consiste en poner el material a esta probeta y se determina el volumen de agua desalojada, recibiendo el agua en una probeta graduada.
2. Usando matraz aforado. Este proceso se emplea para suelos finos (arcilla y limo), y arenas para lo cual es necesario primero calibrar el matraz y obtener la gráfica de pesos del matraz con agua a diferentes temperaturas.

Determinación del peso volumétrico seco y suelto. (PVSS)

El objetivo de esta prueba es determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre y natural.

Equipo:

- Una muestra de arena completamente seca
- Un recipiente de volumen y peso conocido
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza o báscula.
- Un cucharón y una pala.

Procedimiento:

Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.

Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.

Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.



Cálculos:

$$PVSS = \frac{P}{V}$$

Donde:

PVSS = Peso volumétrico seco y suelto (gramos/cm³)

P = Peso del material (gramos)

V = Volumen del recipiente.

Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena.

El objetivo de esta prueba es obtener el peso por unidad de volumen de una arena, cuando el material tiene una determinada compactación.

Equipo:

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de peso y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8" de diámetro.
- Una balanza o bascula.
- Un cucharón y una pala.

Procedimiento:

Se procede a llenar el recipiente con la arena a volteo dejándola caer a una altura aproximada de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe hacerse en tres capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material.

Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes.

Se enraza el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.

Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.



Cálculos:

$$PVSV = \frac{P}{V}$$

Donde:

PVSV = Peso volumétrico seco y varillado (gr/cm³)

P = Peso del material (gr)

V = Volumen del material (cm³)

Granulometría o análisis granulométrico.

El objetivo de esta prueba es pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura.

Para lo cual se deberá efectuar el registro correspondiente y el cálculo para comparar los resultados de decidir si es o no aceptable la arena.

Equipo:

- Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del No 4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola con su respectiva tapa.
- Una balanza con capacidad de 2160 gramos y aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas y parrillas eléctricas.
- Cepillos de cerdas y alambre.
- Hojas de papel.

Procedimiento:

Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor a los 110° C.

Cuando el material este seco y frio, se toman 500 gramos pesados al décimo de gramo.

Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.

Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente.

En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillo de cerdas

Se procede a pesar cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo anotando los pesos en el registro correspondiente.

1	2	3	4	5
Malla	Peso retenido	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
8				
16				
30				
50				
100				
200				
Charola				
Suma				

Cálculos:

Se anotan los pesos retenidos en las respectivas mallas en la columna uno.
El retenido de la columna dos se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Retenido malla 4} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Suma de peso retenido}} \times 100$$



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

El porcentaje acumulativo se calcula a partir de los datos de la columna tres como sigue:

% Acumulativo malla 1= % retenido malla + % acumulativo malla anterior.

El porcentaje que pasa se calcula de la siguiente manera:

% que pasa la malla = 100 – % acumulativo malla.

Modulo de finura:

$$MF = \frac{\text{Suma del porciento acumulativo de todas las mallas sin incluir la charola.}}{100}$$

Recomendaciones y especificaciones.

Para afinar de calidad se recomienda que el modulo de finura este entre 2.5 y 3.0, puede quedar entre 2.3 y 3.1.

Especificaciones de granulometría según Bureau Of Reclamation ASTM.

Malla	% que pasa
3/8	100
4	95 - 100
8	80 - 100
16	50 - 85
30	25 - 60
50	10 - 30
100	2 - 10

El porciento referido de dos mallas sucesivas no debe de ser mayor a 45%.



Prueba de colorimetría en arenas.

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de materia orgánica en una arena, en una forma comparativa, utilizando una solución de color normal.

Equipo:

- Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm³ con marcas a cada 25 cm³ (frasco de biberón)
- Charolas, parrillas de secado, espátulas, balanzas, vasos de precipitado.
- Material para las soluciones y vidrio de color normal.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución de normal en agua destilada.

Cuando no se tiene el vidrio de color normal hay que preparar la solución normal como sigue:

- Solución de ácido tánico 2 gramos en 10 cm³ de alcohol, posteriormente se añaden 90 cm³ de agua destilada.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de agua destilada.
- Se toman 2.5 cm³ de la primera solución (ácido tánico) y se reúnen con 97.5 cm³ de solución de sosa cáustica.

Esta solución es de color normal se hará simultáneamente con la prueba que se hace con la arena y se colocará en una botella de las indicadas anteriormente (biberón)

Al cabo de 24 horas se compararán los colores.

Procedimiento:

Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110° C. Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm³. Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo, posteriormente se dejará reposar 24 horas. Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal, si no se tiene este se comparará con el color de la solución normal que se haya hecho en otra botella idéntica.



Recomendaciones.

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

Para comprobarlo debemos hacer otra prueba de colorimetría con la misma arena pero lavada ya que ocasionalmente se presentan materiales de origen inorgánico que reaccionan con la solución de sosa cáustica 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 un color oscuro debemos completar la prueba de colorimetría con un análisis químico.

Sedimentación en arenas.

El objetivo de esta prueba es determinar si el contenido de material fino que contiene una arena es aceptable para definir si se acepta o no para la elaboración de concreto.

Equipo:

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

Procedimiento:

Se coloca arena seca dentro del frasco hasta la marca de los 414 ml, enseguida se coloca agua hasta la marca de 828 ml.

Se tapa el frasco que contienen el material con el agua con la palma de la mano y se procede a agitarlo hasta que todo el material fino quede en suspensión en el agua durante dos minutos.

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 se va a sedimentar y hay que observar si el material fino rebasa o no el nivel de 444 ml.

Reporte:

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



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

Material que pasa por la malla No 200 en arena.

El objetivo de esta prueba es determinar la cantidad de materia fina que contiene una arena, cribándola por la malla No 200.

Equipo:

- Malla No 200
- Malla No 16
- Charola de dimensiones adecuadas para contener el material con agua.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Espátula y parrilla eléctrica.

Procedimiento:

Se toma una muestra representativa de 600 gramos, se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110° C.

La muestra seca se coloca en el recipiente y se pesan, previamente se pesará el recipiente vacío.

Al material en el recipiente se le agrega agua hasta cubrir la muestra.

Agítese enérgicamente la muestra con agua y viértase inmediatamente sobre el juego de mallas (la No 16 arriba y la No 200 abajo).

Una vez puesto el material en el juego de mallas se le sigue agregando agua y agitando hasta que el agua salga completamente clara.

Se regresa el material retenido en las mallas por medio del lavado.

Se seca el material hasta peso constante, se deja enfriar y se pesa.

Calculo:

$$A = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Donde:

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

Pi = Peso seco inicial.

Pf = Peso seco después de lavar (final).

Recomendaciones y especificaciones.

Cuando la arena se va a emplear en la elaboración de concreto hidráulico y esta contiene exceso de partículas finas que pasan la malla No 200, la cantidad de cemento necesario aumenta considerablemente, existiendo la posibilidad de que aparezcan grietas en las estructuras de concreto.

Cuando la arena cae fuera de las especificaciones, si económicamente es posible se recomienda lavarla o adoptar una solución que permita quitarle el material fino o desecharla totalmente.

Especificaciones de la Bureau of Reclamation (ASTM).

Uso de concreto	Máximo % del material que pasa la malla No 200
Concreto sujeto a abrasión.	3.00*
Otro tipo de concreto	5.00*

* Cuando se trate de arena producto de la trituración de rocas, estos valores se aumentan a 5 y 7 respectivamente.

Prueba de terrones de arcilla en arena.

El objetivo de esta prueba es la de conocer 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 el concreto, cuando se encuentran en abundancia formando parte de la arena.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Equipo:

- Mallas No 16 y 30.
- Parrillas eléctricas.
- Charolas.
- Balanzas.
- Espátulas.

Procedimiento:

Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente un kilogramo, se seca a una temperatura no mayor de 110° C teniendo cuidado de no romper los terrones de arcilla.

Se deja enfriar la muestra y se pasa por la malla No 16, del retenido se toma una muestra de 100 gramos y se anota como Pi pesados al décimo de gramo.

Se colocan los 100 gramos de arena en una charola y se le adiciona agua hasta cubrir la muestra, se deja durante 24 horas.

Posteriormente se escurre el agua libre y se extiende la arena en el fondo de una charola para romper, con los dedos, los terrones de arcilla que aún 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 totalmente, se deja enfriar y se pesa nuevamente al décimo de gramo anotándose como Pf.

Cálculo.

$$\% \text{ Terrones} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

Pi = 100 gramos.

Pf = Peso seco sin terrones.

Especificaciones y recomendaciones.



Las especificaciones de la ASTM dan un porcentaje admisible de terrones de arcilla en la arena del 0.5 % y un máximo permisible del 1 %. En caso de que la arena este contaminada en mas del 1 % se hará un estudio económico tendiente a ver si es factible cambiar el material o proceder a lavar la arena contaminada para eliminar la arcilla.

Densidad de la arena.

Esta prueba tiene como finalidad obtener el volumen obstáculo de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.

Equipo:

- Una muestra representativa de arena de aproximadamente 1000 gramos.
- Charolas
- Espátulas
- Parrillas eléctricas
- Molde tronco cónico.
- Pizón
- Probeta
- Frasco
- Vidrio
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento:

-Utilizando la probeta:

Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas, al termino de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde troncocónico.

En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial V_i en cm^3 .

Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como peso de la arena (P_a) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos.

Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua por que esto ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento en el volumen de agua y vamos a registrar este valor como volumen final V_f .



Cálculos:

La densidad de la arena se calcula de la siguiente manera:

$$DA = \frac{Pa}{Vf - Vi}$$

Donde:

DA = Densidad de la arena en grs/cm³

Pa = Peso de la arena saturada y superficialmente seca en gramos.

Vf – Vi = Volumen colocada dentro de la probeta en cm³

-Utilizando un frasco:

Se procede a pesar el frasco lleno de agua colocando el vidrio en la parte superior registrando este peso como Pi en gramos.

Enseguida se coloca una muestra de arena saturada y superficialmente seca dentro del frasco, llenado el resto del volumen con agua, se coloca el cristal y se pesa, este proceso lo llamaremos P2, al peso de la muestra de la arena la llamaremos Ph y será entre 200 y 300 gramos.

Cálculos.

$$DA = \frac{Ph}{Pi + Ph + P2}$$



Equivalente de arena.

El objetivo de esta prueba es determinar las proporciones volumétricas relativas de las partículas gruesas de un suelo respecto a los finos plásticos que contiene empleando un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos plásticos.

Es un procedimiento rápido para conocer la calidad de los materiales que se empleen como sub base, base, carpeta asfáltica, y arena para concreto.

Equipo:

- Probetas de lucita o acrílico graduadas en décimos de pulgadas.
- Tapón de hule.
- Tubo irrigador
- Un tramo de manguera
- Un pizón metálico de 1000 ± 5 gramos
- Cápsulas de $85 \pm \text{ml}$ (metálicas)
- Embudo
- Cronómetro
- Dos frascos de 3.875 litros
- Malla No 4
- Papel filtro No 12
- Solución de reserva
- Solución de trabajo.

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 del papel filtro, se le agregan 47 gramos de formaldehído en solución volumétrica al 40 % y 2050 gramos de glicerina USP (normalizada), mezclando el total, agregando agua destilada hasta completar los 3.785 litros y agitando toda la solución para uniformizarla.

Preparación de la solución de trabajo.

En un frasco de 3.875 litros se colocan $85 \pm 5 \text{ cm}^3$ de la solución de reserva completando con agua destilada hasta el nivel de 3.785 litros.

Procedimiento:

Se toma una muestra de material de aproximadamente 500 gramos que pasa por la malla No 4, procurando que no se pierdan finos.

Se llena la cápsula y se golpea para acomodar el material y se enrasa.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Previamente en la probetas se verterá solución de trabajo hasta una altura de 4 ± 0.1 de pulgada y se coloca la muestra en la probeta previamente preparada usando un embudo para evitar perdidas de material. Déjese reposar 10 ± 1 minuto procurando no mover la probeta en ese lapso de tiempo.

A continuación colóquese un tapón de hule a la probeta inclinándola para que afloje el material del fondo y agítese con una carrera de 20 centímetros (8 pulgadas) hasta completar 90 ciclos en 30 segundos.

Se introduce el tubo irrigador, se pica el material y con el mismo se baja el material que quedo en las paredes de la probeta, se llena con solución de trabajo hasta la marca de 15 y se deja reposar 20 minutos al termino de este tiempo en la escala de la probeta se lee el nivel superior de la arcilla en suspensión la cual se denominará nivel de arcilla.

Se introduce el pizón lentamente en la probeta ajustando hasta que el pizón se apoye en la arena, el nivel donde se apoye en la arena se denominará nivel de arena.

Cálculos:

$$E. \text{ de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

La prueba se realizará por triplicado y se hará un promedio de los resultados.

Causa de error:

- Que el agitado se haga en forma inapropiada
- Que se muevan las probetas cuando se encuentran en reposo.
- Que al introducir el pizón en las probetas se baje a velocidad excesiva.



4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CAL HIDRATADA.

Para la elaboración de morteros es necesario tomar muestras y hacer pruebas con el aglutinante que se va a emplear, esto con la finalidad de conocer sus propiedades y poder tomar buenas decisiones y así obtener los mejores resultados de resistencia y durabilidad.

Para lograr esto es necesario someter a una serie de pruebas a la cal hidratada:

Consistencia normal.

Finura.

Resistencia a la compresión.

Análisis químico

Sanidad.

Finura de la cal hidratada.

(ASTM 110-00)

Equipo:

-Balanza con exactitud del 0.1 por ciento 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 30 (590 micras)

-Horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Procedimiento:

Para calcular la finura de la cal hidratada se deberá pesar una muestra de 100 gramos de cal hidratada, tal como se reciba, se coloca en la malla No 30, que deberá ajustar sobre la malla No 200. El material se deberá lavar a través de las mallas por medio de un chorro de agua de la llave. El lavado se prolongará hasta que el agua salga clara a través de las mallas, pero en ningún caso, deberá prolongarse más de 30 minutos. El residuo de las mallas deberá secarse a peso constante a una temperatura entre 100 y 120°C en un horno.



Cálculo:

Se deberá calcular el por ciento de residuo retenido en cada malla, basado en el peso original de la muestra, sumando el peso del material retenido en la malla No 30 al peso del material retenido en la malla No 200.

Consistencia normal de la cal hidratada.

(ASTM C 110-00)

Equipo:

-Aparato de Vicat modificado.

Este aparato deberá consistir de una ménsula, sobre la cual se mueva una varilla de bronce, de 6.3 milímetros de diámetro y una longitud adecuada para ajustarse a la ménsula. Se deberá fijar al extremo inferior de la varilla un embudo de 12.5 milímetros de diámetro, hecho de tubo de aluminio. El peso total del embudo mas el embolo deberá ser cerrado y no estar redondeado, el tubo se podrá lastrar con municiones para obtener el peso especificado. La varilla y el embolo deberán de pesar 30 gramos. El peso total requerido también se podrá obtener usando una pesa, atornillada a la varilla. La varilla se deberá sostener en cualquier posición por medio de un tornillo, y tiene una marca a la mitad de su longitud que se mueve sobre una escala graduada en milímetros y fija a la ménsula. El molde cónico deberá ser de un material no corrosivo y no absorbente y deberá tener un diámetro de 7 centímetros en la base, 6 cm en la parte superior y una altura de 4 cm. La placa de base para apoyar el molde deberá de ser una placa de vidrio cuadrada de 10 cm de lado aproximadamente.

-Tamices o cedazos

Deben estar en marcos resistentes, contruidos de manera que se evite la perdida de material durante el cribado. Deben seleccionarse los tamaños de las mallas adecuados para obtener la información requerida por las especificaciones relativas al material ensayado. Los tamices cumplirán con los siguientes requisitos:

Tela de alambre.

La tela para tamices estándar debe hacerse con alambre de latón, bronce o cualquier otro tipo apropiado de alambre con tejido sencillo. El alambre que se emplee no tendrá ningún tipo de recubrimiento. Todas las mediciones de aberturas y diámetros deben hacerse sobre el tejido terminado. Los alambres longitudinales y transversales deben entretejerse de tal manera que sean rígidos durante su empleo. En ningún tejido pueden aceptarse variaciones excesivas en los diámetros de los alambres longitudinales ni en los transversales. Tampoco habrá roturas ni otros defectos evidentes.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

-Balanzas

Deberán cumplir con el requisito de que la variación que muestre con una capacidad de 1000 grs sea de ± 1.0 gramo si es usada y de ± 0.5 gramos si es nueva.

Pesas.

Estas deben de cumplir con las variaciones presentadas en la siguiente tabla:

Pesos en gramos	Variaciones permisibles en $\pm$ grs
500	0.35
300	0.30
250	0.25
200	0.20
100	0.15
50	0.10
20	0.05
10	0.04
5	0.03
2	0.02
1	0.01

Las variaciones en pesas nuevas serán la mitad de las mencionadas en la tabla anterior.

-Balanza con aproximación al décimo de gramo

-Probetas graduadas con una capacidad de 100 y 200 ml.

Procedimiento:

Para la determinación de la consistencia normal, se deberá mezclar alrededor de 300 grs de cal hidratada con una cantidad de agua suficiente para formar una pasta espesa y moverse con una llana o una espátula durante dos o tres minutos para asegurarse de que esta perfectamente mezclado. Si no se requiere que se sature la pasta la consistencia normal se deberá ajustar inmediatamente agregando cantidades de agua para ajustarse a los requisitos de penetración, si se requiere saturar la pasta después del humedecimiento inicial esta se deberá almacenar en un recipiente cubierto con un trapo húmedo por lo menos 16 horas pero no más de 24 horas. Después de saturada la pasta se deberá volver a mezclar durante dos o tres minutos, después de lo cual se deberá determinar su consistencia normal. Para determinar la consistencia normal se deberá colocar el molde cónico lleno de pasta de cal con su extremo mayor colocado sobre la placa



de vidrio y después se deberá de emparejar la pasta al ras de la parte superior del molde, la pasta contenida en el molde y apoyada sobre la placa, se deberá centrar después, debajo de la varilla del aparato de vicat modificado. El extremo de penetración de la varilla del aparato de Vicat modificado, se deberá de poner en contacto con la superficie de la pasta y hacerse una lectura inicial, enseguida se deberá soltar la varilla y la lectura final, se deberá de hacer después de transcurrido un periodo de 30 segundos a partir de que se haya soltado el émbolo.

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

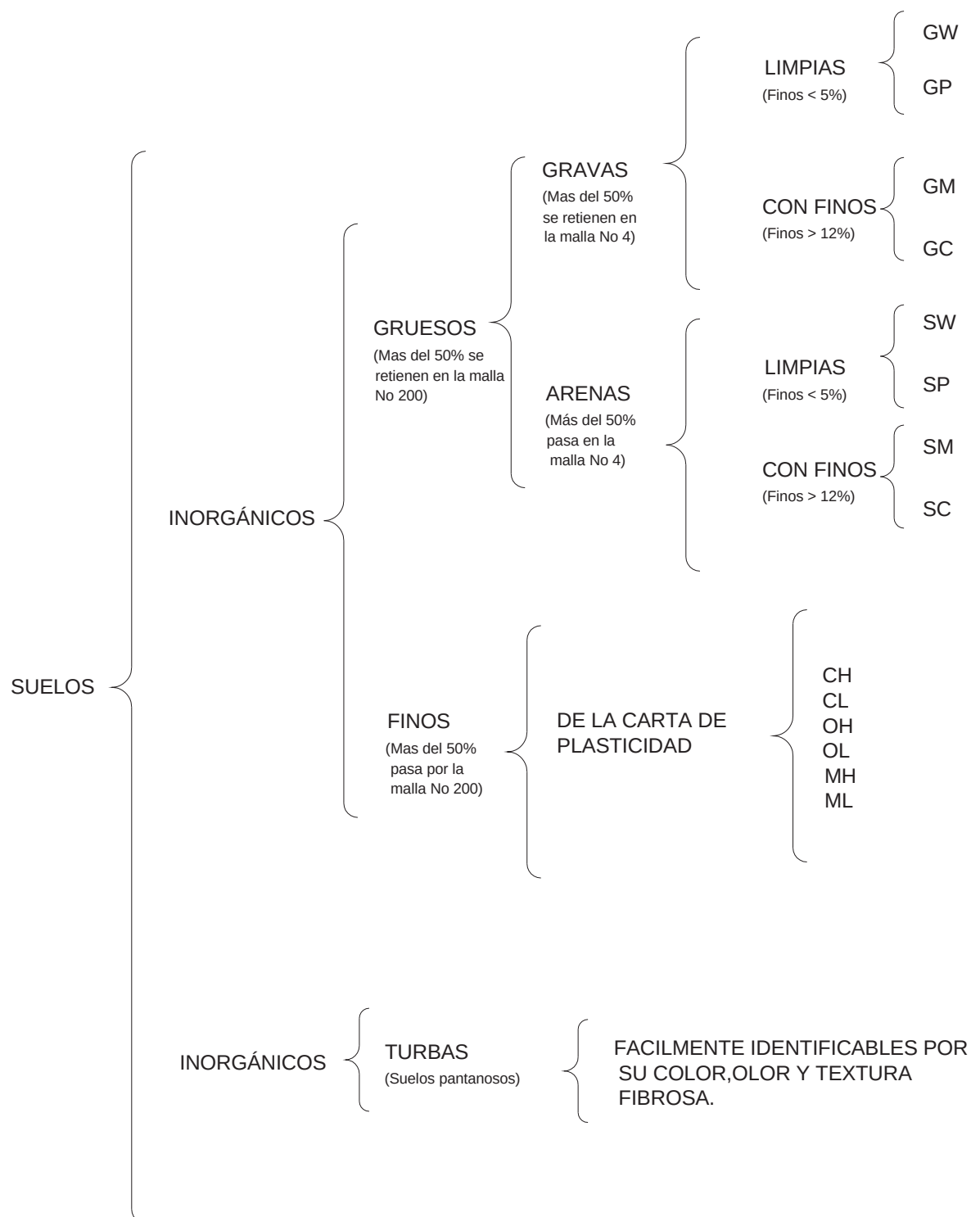
Este sistema nos permite identificar un suelo y clasificarlo de acuerdo a sus componentes y granulometrías.

El sistema cubre los suelos gruesos y los finos distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200, las partículas gruesas son mayores a dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si mas del 50% de sus partículas son gruesas y fino si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

Esquemáticamente la clasificación de los suelos es:



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA





Análisis de fluorescencia

El objetivo de esta prueba es la de conocer los minerales que se encuentran en la muestras en cantidad y porcentaje.

Procedimiento

Se toman muestras representativas de los materiales en estudio, se trasladan al laboratorio donde se hace la prueba de cuarteo. Se toma una parte de la muestra y se muele manualmente con un mortero ágata para no contaminar el material. El producto de la molienda debe pasar completamente por la malla No 350, esto con la finalidad de contener el polvo que contenga todas las partículas minerales que constituya a la arena.

De éste polvo obtenido se colocan 2 gramos aproximadamente en el porta muestras, se tapan con un papel especial de poliéster para análisis de rayos X.

Difracción de rayos X

Prácticamente todo lo que se conoce sobre la estructura cristalina ha sido descubierto a través de la difracción de rayos X. La difracción de los rayos X, significa la dispersión de estos rayos mediante las unidades de un sólido cristalino regular. Los patrones de dispersión o difracción que se obtienen se utilizan para deducir la disposición de las partículas en la red sólida.

Procedimiento

Se toman muestras representativas de los materiales en estudio, se trasladan al laboratorio donde se hace la prueba de cuarteo. Se toma una parte de la muestra y se muele manualmente con un mortero ágata para no contaminar el material. El producto de la molienda debe pasar completamente por la malla No 350, esto con la finalidad de contener el polvo que contenga todas las partículas minerales que constituya a la arena.

De éste polvo se colocan 2 gramos aproximadamente en el porta muestras tratando de formar una película uniforme en toda la superficie. El principio de la difracción es que se hace incidir un haz de rayos X con diferentes ángulos, éste será reflejado por todos los lados de los átomos que están en estas partículas que representan los minerales presentes en el polvo.



Microscopía electrónica de barrido

El estudio de microscopía electrónica de barrido analiza de manera puntual la morfología de los especímenes.

Para realizar estos estudios se procedió primero a secar el material de cualquier presencia de humedad por medio del horno eléctrico a una temperatura constante por lo menos durante 24 horas.

Las muestras se someten al vacío antes de metalizarlas. La metalización se hace recubriendo las muestras con Cobre (Cu), para que al realizar los microanálisis los rayos no interfieran con los elementos. El microanálisis puntual se realiza con un aditamento de rayos X.

El recubrimiento metálico es para que la muestra sea conductora de electricidad (e^-) y es adherida a un porta muestras de aluminio con pintura de plata, si no se dieran las condiciones descritas anteriormente, en un microscopio electrónico de barrido, los electrones serían en su inmensa mayoría absorbidos y no se retrodispersarían causando la señal digital

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS.

4.2.1 COMPRESIÓN SIMPLE EN MORTEROS.

El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la compresión en morteros compuestos de cal, arena y agua.

Equipo:

- Una porción de cal de aproximadamente un kilogramo.
- Una muestra de arena.
- Un molde metálico para fabricación de cubos de mortero de 5 X 5 X 5 cm por lado.
- Un pizón de material no absorbente.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una probeta graduada
- Espátulas
- Agua suficiente para elaborar las mezclas.



Procedimiento:

Se fabrica una mezcla con la porción 1:1 en volumen, agregándole agua hasta que el material sea manejable, procurando que esta sea la cantidad suficiente para elaborar los especímenes de 5 cm de lado. Cúbrase ligeramente las caras interior con aceite o grasa lubricante ligeramente y posteriormente se llena el molde en cuatro capas, aplicando con el pizón ocho golpes en cada capa repartidos en toda el área, se enrasa el molde con la espátula y se coloca este molde con la mezcla en un cuarto húmedo durante 24 horas.

Transcurrido ese tiempo se descimbran los especímenes y se colocan sumergidos en la arena húmeda o en una charola con agua procurando de cubrir todos los especímenes, sitio del cual se sacaran hasta la fecha de prueba.

Las fechas de ruptura o prueba de las muestras son: 24 horas, 3 días, 7 días, 14 días, 21 días, 28 días, 45 días 60 días.

Para probar los especímenes, se sacan estos en las fechas señaladas del cuarto húmedo y se seca cada espécimen hasta que su superficie haya quedado totalmente seca, se miden las dimensiones de la cara que va a estar en contacto con la platina móvil de la maquina universal de pruebas, se llevan las muestras a la maquina debiendo poner sobre la platina fija una cama de arena fina colocándose el cubo sobre esta. Sobre la cara superior de la muestra se pondrá también una cama superior de arena, esto con la finalidad de que la carga se distribuya uniformemente en toda el área y se aplica la carga en forma lenta y constante hasta la falla de la muestra.

Cálculos

$$R = \frac{W}{A}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión.

W = Carga de ruptura de la muestra en Kg

A = área de la muestra en centímetros.



Numero de muestra	Lado 1 cms	Lado 2 cms	Area cm^2	Carga kg	Resistencia Kg/cm^2
1					
2					
3					

4.2.2 Tensión en Morteros de Cal, Cemento y Terciados.

El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la tensión en un mortero.

Equipo:

- Un molde para fabricar briquetas
- Espátulas, charolas, vidrio y probetas graduadas.
- Maquina de pruebas con mordazas especiales para briquetas de mortero
- Municiones o postas para aplicar las cargas.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento:

Se toma una parte de cal y una parte de arena en volumen, los materiales ya secos en una charola se mezclan formando a continuación un cráter, vertiendo sobre este la cantidad de agua requerida y se mezcla, se procede a llenar los moldes previamente engrasados comprimiendo la mezcla con el dedo índice y se enrasa con la espátula.

Después de moldeadas las briquetas permanecerán en el cuarto húmedo durante 24 horas, al terminado ese tiempo se sacan y se ponen en un recipiente con agua y se sacaran hasta la fecha de ruptura.

Se sacan las muestras en la fecha señalada y se secan hasta obtener una superficie superficialmente seca.

Se toman las medidas de la sección media (S_m) de la briqueeta, se lleva hasta la maquina, la cual será nivelada previamente, se aplicará carga lentamente por medio de las municiones hasta la falla de la muestra, las municiones serán colocadas en la tolva de la maquina.

Después de la falla de la muestra se retiran las municiones pesándolas al décimo de gramo. El peso de las municiones (P_m) será considerado como la carga que soporto la sección media de la briqueeta.



Cálculos:

$$R = \frac{Pm \times 50}{S_m}$$

Donde:

R = La resistencia a la tensión en kg/cm^2

Pm = Peso de las municiones o carga de ruptura.

S_m = sección media de la briqueta en cm^2

50 = Constante de la maquina.

4.2.3 FLEXIÓN ESTÁTICA EN MORTEROS.

El objetivo de esta prueba es determinar la flexión estática de vigas hechas con mezclas de morteros.

Equipo:

- Moldes para fabricar vigas de mortero de 5 X 5 X 20 cm de dimensiones.
- Una muestra representativa de mezcla de mortero.
- Espátulas y charolas
- Un pizón de material no absorbente
- Aceite para lubricación

Procedimiento:

Se engrasan los moldes en sus caras interiores y se dejan secar, después se le pone la mezcla de mortero en los moldes, esto se hace en tres capas y dándole 16 golpes por capa con el pizón repartiéndolos por toda el área de la capa y cuidando de no pasar los golpes a la capa anterior. Después de llenar los moldes se engrasan y se dejan reposar por lo menos 24 horas.

Transcurrido ese tiempo se descimbran los especímenes y se colocan sumergidos en la arena húmeda o en una charola con agua procurando de cubrir todos los especímenes, sitio del cual se sacaran hasta la fecha de prueba.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Las fechas de ruptura o prueba de las muestras son: 24 horas, 3 días, 7 días, 14 días, 21 días, 28 días, 45 días 60 días.

Para probar los especímenes, se sacan estos en las fechas señaladas del cuarto húmedo y se seca cada espécimen hasta que su superficie haya quedado totalmente seca, se toman las dimensiones reales de la muestra. Se coloca en la máquina universal los apoyos con la separación centro a centro de 28" (71 cm) y los apoyos de carga al centro de los apoyos igual al 14" (35.50 cm). Se ajusta y se nivela la máquina universal, y se le aplica carga lenta y continua hasta la falla de la muestra con velocidad de 2.5 mm/min. Se toma la lectura final al momento de la falla o ruptura de la muestra, la cual deberá ser en el tercio medio de la viga.

Cálculos:

$$Mr = \frac{WL}{bd^2}$$

Donde:

Mr = Esfuerzo de ruptura

W = Carga en kg.

L = Longitud entre apoyos

b = Ancho de la viga.

d = Alto de la viga.

Muestra	Ancho (b) (cm)	Alto (d) (cm)	Área (cm ²)	Longitud entre apoyos (L) (cm)	Carga (kg)	Mr (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)



Informe:

Deberá incluir:

- Numero de identificación del espécimen
- Ancho promedio redondeado al más próximo 0.25 cm
- Peralte promedio redondeado al más próximo 0.25 cm.
- Longitud entre apoyos en centímetros.
- Máxima carga aplicada en kilogramos
- Modulo de ruptura calculado al más próximo 0.5 kg/cm^2
- Antecedentes del curado y condición aparente de la humedad en el momento de la prueba.
- Si el espécimen se cabeceó o se pulió.
- Defectos en el espécimen
- Edad de la prueba.

4.2.4 FLUIDEZ DE LOS MORTEROS.

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de agua necesaria para que el mortero sea manejable, plástico y dúctil.

Equipo:

- Mesa de fluidez puede ser eléctrica o manual.
- Aceite SAE-10 o cualquier otro lubricante con la misma densidad
- Moldes
- Calibrador
- Varilla para compactar 5/8.

Procedimiento:

Lubricación de la mesa: El eje vertical de la mesa se mantendrá limpio y se lubricará con aceite 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 facilitará la uniformidad del funcionamiento, se recomienda levantar la mesa y dejarla caer doce veces.



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

El molde para colar el espécimen para el ensaye será de bronce o latón con diámetro de la boca superior de 70 mm, las superficies definidas por la base y el borde superior serán perpendiculares entre si y al eje del cono vertical.

El calibrador se usara para medir el diámetro del mortero después que haya extendido, tendrá una exactitud tal que la distancia entre las quijadas deberá ser de 102 mm cuando el indicador se encuentre en cero.

Se debe humedecer la parte superior de la mesa, se limpiara del material arenoso y se eliminara el exceso de agua con una franela húmeda, todo para poder realizar el ensaye, se centra el molde en la mesa, después se ajusta y se llena, en dos capas que en total den el volumen del molde, se compacta cada una de las capas con 25 golpes, los cuales se distribuyen en la sección transversal, teniendo cuidado de no penetrar en la capa subyacente, al final se enrasa con una llana, el exceso de mortero se retira, limpiando el área de la mesa que se encuentra al molde, el molde se removerá con un tirón fuerte hacia arriba. La mesa se eleva y se deja caer 1.3 cm, 15 veces durante 15 segundos, haciendo girar la leva a una velocidad constante, el diámetro del mortero extendido será el promedio de seis medidas distribuidas simétricamente, leídas y redondeadas al 0.5 cm.

Cálculos:

Se registra como el porcentaje en que se incrementa el diámetro del mortero extendido con respecto al diámetro original de la base del mortero moldeado o sea:

$$\text{Fluidez} = \frac{\text{Diámetro extendido} - 25 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} \times 100$$



5. DISEÑO DE MEZCLAS Y ESPECIMENES

El diseño de mezclas consiste en la determinación de la cantidad de los materiales que deben usarse para un volumen unitario de mortero, cuya calidad sea tal que satisfaga los requisitos especificados para el elemento que se emplee.

Al efectuar el diseño de una mezcla conviene adoptar los siguientes lineamientos básicos:

1. Dar a la mezcla la consistencia más seca posible que permita colocarla y acomodarla en las condiciones particulares del elemento a elaborar, estas condiciones se manejan en términos de manejabilidad.
2. Prever que el mortero, una vez endurecido alcance las propiedades adecuadas que le permitan al elemento el correcto funcionamiento para el cual fue construido, en las condiciones de servicio prevalecientes. El logro de estas propiedades se consigue, generalmente, mediante la adecuada selección de los materiales y sus proporciones.
3. Procurar obtener el mortero de la calidad específica al costo más bajo posible.
4. En mezclas de concreto a diferencia de las de mortero, se tienen estudios realizados para diseño de dosificación, por lo tanto no se conoce con certeza los esfuerzos a que pueda ser sometido un mortero.

La función principal de un mortero es de ligar y recubrir los elementos de mampostería de cualquier tipo de obra civil en general.

Como ya se mencionó anteriormente los elementos que componen un mortero son un material inerte, un aglutinante mas agua. Y las mezclas que se realizaron para este proyecto son:

Cal hidratada de la fábrica “Calizas de Michoacán S.A. de C.V.” y el producto comercial es “Cal Muro”.

Como material inerte se utilizó arena negra triturada del banco de “Joyitas”, para pruebas piloto.

Como material de estudio se utilizó la ceniza volcánica o comúnmente llamada tierra de Acámbaro, extraída también del mismo banco de materiales.

Agua potable como líquido de amasado.

Como el objetivo es llegar a conocer el grado puzolánico de la ceniza volcánica se optó por hacer las mezclas con agregados en proporción 1:1 en relación con el volumen de cal con ceniza volcánica en una muestra y la misma proporción de cal con arena negra triturada en los otros especímenes para usarlos como pruebas piloto.



Para lo cual se obtuvo el volumen total de un bulto de cal de 25 kilos y ese mismo volumen se uso para la ceniza volcánica por un lado y para la arena negra triturada para la prueba piloto.

En cuanto a la cantidad de agua, que se adiciono para la mezcla, se le fue agregando en pequeñas cantidades medidas y tomando la medida de la fluidez hasta que dio un promedio de 60 %.

Cabe hacer mención que las normas ASTM determinan que para la elaboración de morteros de cemento, deberán hacerse mezclas con una fluidez del 115%, pero para éste proyecto no se tomo en cuenta esta restricción debido a que las mezclas con esta fluidez no se pueden manipular por su consistencia tan líquida que tienen.

De las diferentes mezclas se hicieron cubos de mortero, vigas y briquetas que se tronaron a los 7, 14 28, 45 y 60 días para las pruebas piloto y para los especímenes con ceniza se tronaron a los 3, 7, 14, 21, 28, 45 y 60 días para conocer el comportamiento de los materiales con respecto al tiempo.

Por ultimo se hace notar que las mezclas y especímenes se realizaron de acuerdo con las normas ASTM para morteros de cemento hidráulico ya que no existe normas para morteros con cal.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Pruebas realizadas a la arena negra	Resultados
Humedad de absorción	2.38%
Gravedad específica	2.33
Peso volumétrico seco y suelto	0.99 grs/cm ³ .
Peso volumétrico seco y varillado	1.04 grs/cm ³
Densidad	2.22 grs/cm ³
Materia orgánica	Muestra sin lavar. Numero de la muestra = 3.0
Sedimentación	No rebasó la marca de 444 ml
Material que pasa por la malla No. 200	5.30%
Terrones de arcilla	1.01%
Por ciento de grava en la muestra	0.00%
Por ciento de arena en la muestra	100.00%

Tabla 6.1.1 Resultados de las pruebas realizadas a la arena triturada

Análisis granulométrico de la arena triturada				
Mallas		Por ciento acumulado	Por ciento que pasa	Modulo de finura
No	Micras	%	%	
4	4760	0	100	3.10
8	2380	14.19	85.81	
16	1190	46.70	53.30	
30	590	77.03	22.97	
50	297	87.36	12.64	
100	149	92.16	7.84	
200	74	95.73	4.27	
Charola		100	0	

Tabla 6.1.2 Resultados del análisis granulométrico de la arena triturada



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Pruebas realizadas a la ceniza volcánica	Resultados
Humedad de absorción	22.90%
Gravedad específica	1.81
Peso volumétrico seco y suelto	0.863gr/cm ³
Peso volumétrico seco y varillado	0.865gr/cm ³
Densidad	1.60gr/cm ³
Materia orgánica	Esta prueba se realizó pero presentó un color demasiado oscuro por lo que, para conocer la materia que contiene la muestra se hicieron otros estudios como la difracción de rayos X
Sedimentación	No rebasó la marca de 444 ml
Material que pasa por la malla No. 200	12.36%
Terrones de arcilla	71.6%
Por ciento de grava en la muestra	0.00%
Por ciento de arena en la muestra	100.00%

Tabla 6.1.3 Resultados de las pruebas realizadas a la ceniza volcánica

Análisis granulométrico a la ceniza volcánica				
Mallas		Por ciento acumulado	Por ciento que pasa	Modulo de finura
No	Micras	%	%	
4	4760	0	100	4.14
8	2380	19.18	80.82	
16	1190	51.23	48.77	
30	590	74.59	25.41	
50	297	84.05	15.95	
100	149	90.69	9.31	
200	74	94.02	5.98	
Charola		100	0	

Tabla 6.1.4 Resultados del análisis granulométrico de la ceniza volcánica



Resultados de las pruebas físicas realizadas a la cal.

PRUEBAS REALIZADAS A LA CAL HIDRATADA	RESULTADOS
Finura de la cal hidratada	8.40%
Por ciento de agua de consistencia normal de la cal hidratada	58.50% del peso de la cal hidratada

Tabla 6.1.5 Resultados de las pruebas realizadas a la cal hidratada

Finura de la cal:

Cuando se efectúe el ensaye de finura establecido para cal hidráulica hidratada, la muestra no debe dejar un residuo mayor al 0.5% sobre la malla No 30, ni más del 10% sobre la malla No 200. (A. Álvarez)

De los estudios de fluorescencia de rayos X para la arena negra triturada y la ceniza se puede apreciar¹¹:

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₂	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	Σ (%)
Arena negra triturada	60.28	0.829	17.294	5.848	0.105	3.241	6.183	3.559	1.786	0.226	0.59	99.94
Ceniza volcánica	73.35	0.151	12.580	1.560	0.033	0.413	0.771	2.940	4.960	0.30	3.03	99.82

Tabla 6.1.6 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X para la arena negra triturada y la ceniza volcánica.

Elementos traza en ppm presentes¹¹

Muestra	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
Arena negra triturada	36	791	712	18	237	8	127	77	16	92	25	87	<4	17
Ceniza volcánica	187	57	140	45	130	23	11	5	190	9	7	44	23	22

Tabla 6.1.7 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X para la arena negra triturada y la ceniza volcánica



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

MUESTRA	ESPECIE MINERALÓGICA
Arena negra triturada	Plagioclasas (anortita, albita, andesina) dolomita
Ceniza volcánica	Cuarzo, cristobalita, feldespatos.

Tabla 6.1.8 Minerales existentes en las arenas en estudio.

En la tabla 6.1.8 se observa que la ceniza volcánica presenta los cristales de cuarzo, así como cristobalita y feldespatos que son minerales característicos que se encuentran en la ceniza volcánica¹¹.

Para la ceniza los resultados obtenidos de las pruebas en la sección de mecánica de suelos del laboratorio de materiales de la UMSNH se obtuvo:

La ceniza volcánica resultó ser una arena ya que arrojaron los siguientes resultados:

Grava = 12.79 %

Arena = 83.53 %

Finos = 3.68 %

Y de la gráfica de "Clasificación Sistema Unificado" se obtuvo que

$C_c = 6.00$

$C_u = 0.91$

Y para conocer que graduación tiene la arena debe cumplir que:

$$C_u > 6 \quad \text{y} \quad 1 < C_c < 3$$

Para decir que se trata de una arena bien graduada.

En el caso de la ceniza volcánica se trata de una arena mal graduada SP¹¹.



6.2 Propiedades mecánicas

6.2.1 Resistencia a la compresión simple en cubos hechos con proporción 1:1 en volumen cal - ceniza volcánica

Prueba a 3 días.						
No de especimen	Lado 1 cm	Lado 2 cm	Área Cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.08	5.07	25.76	40.00	1.55	1.79
2	5.09	5.10	25.96	55.00	2.12	
3	5.24	5.05	26.46	45.00	1.70	

Tabla 6.2.1.1 compresión simple en cubos a 3 días

Prueba a 7 días.						
No de especimen	Lado 1 cm	Lado 2 cm	Área Cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.15	5.19	26.73	54.00	2.02	2.92
2	5.08	5.15	26.16	59.00	2.26	
3	4.99	5.34	26.65	87.50	3.28	
4	4.99	5.00	24.95	84.00	3.37	
5	4.97	5.03	25.00	78.00	3.12	
6	5.18	5.01	25.95	89.50	3.45	

Tabla 6.2.1.2 compresión simple en cubos a 7 días

Prueba a 14 días.						
No de especimen	Lado 1 Cm	Lado 2 cm	Área cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.08	5.33	27.08	95.00	3.51	3.46
2	5.10	5.20	26.52	91.50	3.45	
3	5.16	5.26	27.14	93.00	3.43	
4	5.15	5.01	25.80	50.00	1.94	

Tabla 6.2.1.3 compresión simple en cubos a 14 días



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Prueba a 21 días.						
No de especimen	Lado 1 cm	Lado 2 cm	Área cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.05	5.00	25.25	78.00	3.09	2.87
2	5.00	5.00	25.00	70.00	2.80	
3	4.95	5.15	25.49	69.50	2.73	
4	5.00	5.10	25.50	69.50	2.73	

Tabla 6.2.1.4 compresión simple en cubos a 21 días

Prueba a 28 días.						
No de especimen	Lado 1 Cm	Lado 2 cm	Área cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.00	4.90	24.50	86.00	3.51	3.61
2	5.00	5.10	25.50	102.00	4.00	
3	5.10	5.10	26.01	86.00	3.31	
3	5.00	5.10	25.50	74.00	2.90	

Tabla 6.2.1.5 compresión simple en cubos a 28 días

Prueba a 45 días.						
No de especimen	Lado 1 Cm	Lado 2 cm	Área cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.20	5.00	26.00	102.50	3.94	4.47
2	5.00	5.10	25.50	87.00	3.41	
3	4.90	5.00	24.50	132.50	5.41	
4	5.00	5.10	25.50	130.00	5.10	

Tabla 6.2.1.6 compresión simple en cubos a 45 días



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

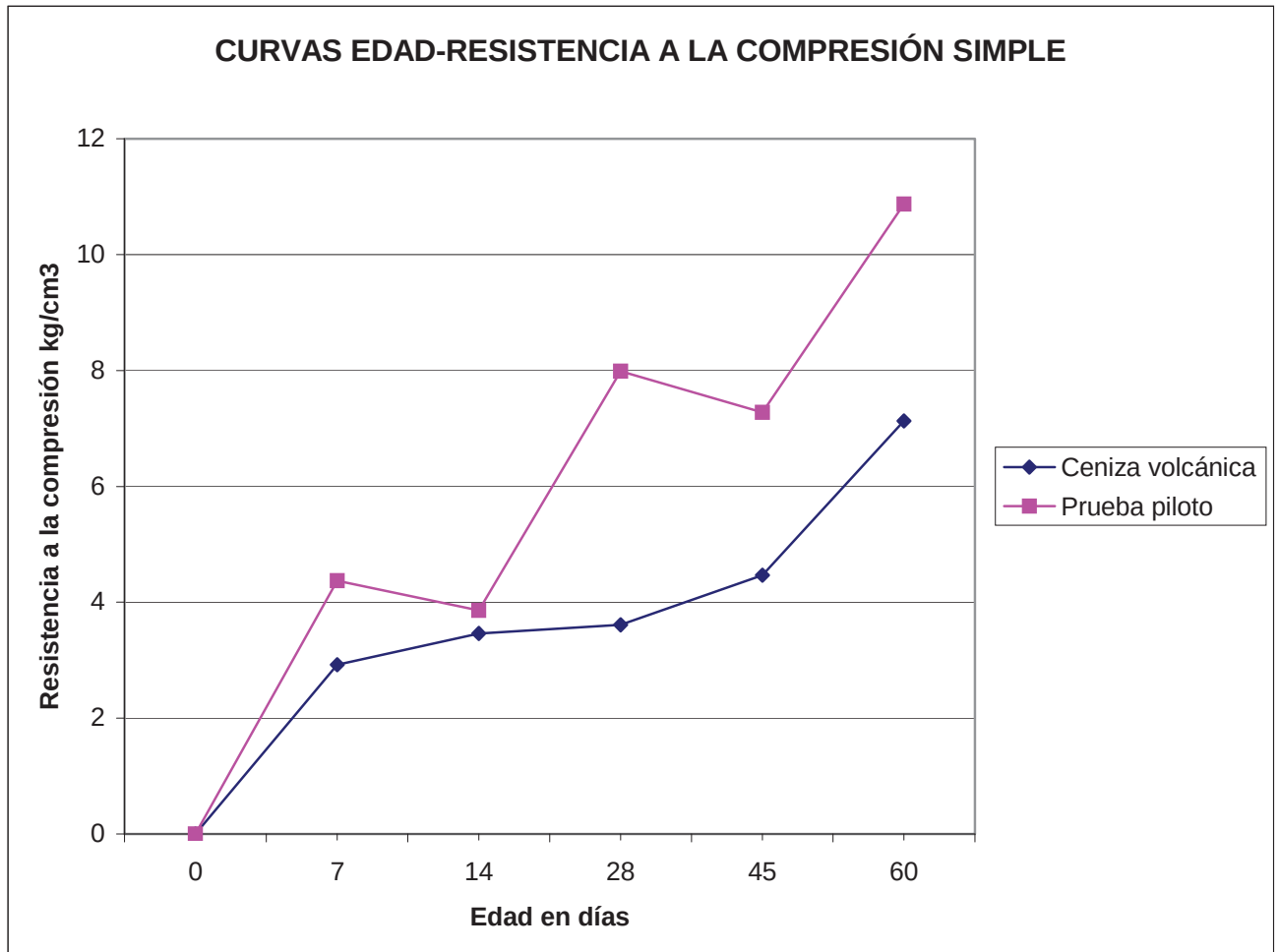
Prueba a 60 días.						
No de especimen	Lado 1 cm	Lado 2 cm	Área cm ²	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio
1	5.10	5.00	25.50	223.50	8.76	7.13
2	5.10	4.90	24.99	124.00	4.96	
3	5.10	4.90	24.99	144.50	5.78	
4	5.00	5.00	25.00	225.50	9.02	

Tabla 6.2.1.7 compresión simple en cubos a 60 días

Comparativa con la prueba piloto

Edad en días	Prueba piloto	Ceniza volcánica
7	4.37	2.92
14	3.86	3.46
28	7.99	3.61
45	7.28	4.47
60	10.87	7.13

Tabla 6.2.1.8 Comparativa de la prueba a compresión Simple en morteros





6.2.2. Tensión simple en morteros

Prueba a 3 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	2.69	2.50	6.73	0.09	0.70	1.04
2	2.64	2.51	6.63	0.15	1.15	
3	2.66	2.44	6.49	0.16	1.26	

Tabla 6.2.2.1 Tensión simple en briquetas a 3 días

Prueba a 7 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	2.63	2.57	6.76	0.14	1.06	1.10
2	2.61	2.62	6.84	0.17	1.26	
3	2.74	2.49	6.82	0.14	0.99	

Tabla 6.2.2.2 Tensión simple en briquetas a 7 días

Prueba a 14 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	2.92	2.71	7.91	0.23	1.45	1.66
2	2.96	2.75	8.14	0.11	0.67	
3	2.52	2.65	6.68	0.23	1.74	
4	2.44	2.79	6.81	0.38	2.78	

Tabla 6.2.2.3 Tensión simple en briquetas a 14 días



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

Prueba a 21 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	3.10	2.50	7.75	0.13	0.83	0.97
2	2.85	2.45	6.98	0.13	0.92	
3	2.80	2.50	7.00	0.16	1.16	
4	2.85	2.55	7.27	0.14	0.98	

Tabla 6.2.2.4 Tensión simple en briquetas a 21 días

Prueba a 28 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	3.00	2.50	7.50	0.07	0.44	0.80
2	3.10	2.40	7.44	0.09	0.62	
3	3.20	2.40	7.68	0.13	0.86	
4	2.90	2.40	6.96	0.18	1.29	

Tabla 6.2.2.5 Tensión simple en briquetas a 28 días

Prueba a 45 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	2.65	2.45	6.49	0.13	1.00	1.07
2	2.75	2.40	6.60	0.18	1.36	
3	2.85	2.35	6.70	0.13	0.97	
4	2.77	2.60	7.20	0.17	1.18	
5	2.71	2.50	6.78	0.11	0.81	

Tabla 6.2.2.6 Tensión simple en briquetas a 45 días



EL EFECTO PUZOLÁNICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA

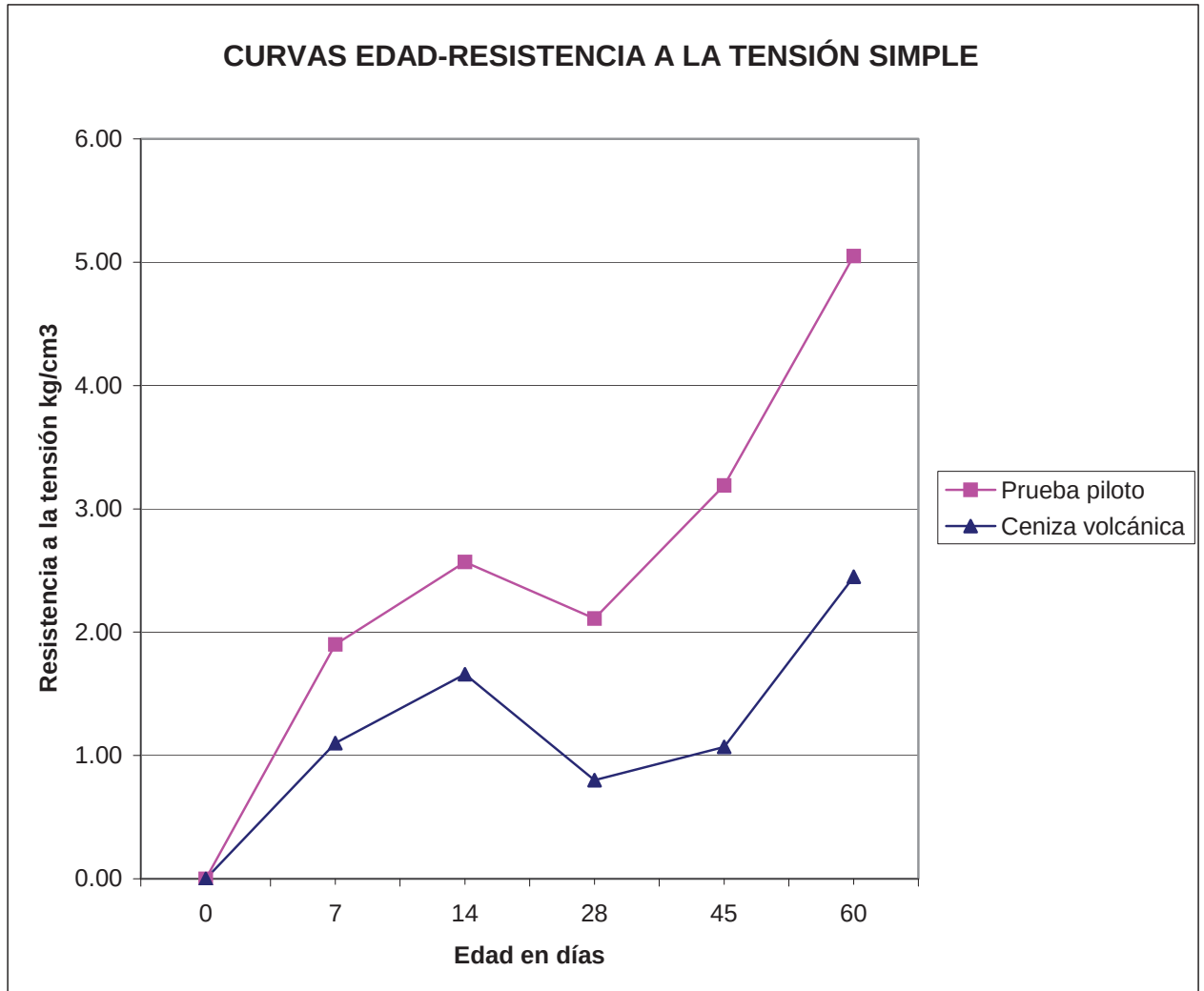
Prueba a 60 días						
Muestra	Ancho (cms)	Alto (cms)	Área (cms ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	2.45	2.50	6.13	0.60	4.92	2.45
2	2.50	2.50	6.25	0.25	2.01	
3	2.70	2.55	6.89	0.40	2.88	

Tabla 6.2.2.7 Tensión simple en briquetas a 60 días

Comparativa con la prueba piloto

Edad en días	Prueba piloto	Ceniza volcánica
7	1.90	1.10
14	2.57	1.66
28	2.11	0.80
45	3.19	1.07
60	5.05	2.45

Tabla 6.2.1.8 Comparativa de la prueba a tensión Simple en morteros





6.2.3 Flexión en morteros

Prueba a 3 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	5.02	5.14	14.40	13.00	1.45	1.70
2	5.12	5.24	14.85	19.50	2.11	
3	5.04	5.11	15.00	13.50	1.56	

Tabla 6.2.3.1 Flexión simple en vigas a 3 días

Prueba a 7 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	5.13	5.25	15.80	23.00	2.63	2.50
2	5.25	5.24	14.70	23.50	2.39	
3	5.22	5.30	15.50	20.00	2.15	
4	5.30	5.11	14.80	27.50	2.84	

Tabla 6.2.3.2 Flexión simple en vigas a 7 días

Prueba a 14 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	5.28	5.27	14.65	23.00	2.29	



2	5.12	5.20	15.10	21.00	2.33	2.43
3	5.24	5.14	15.35	24.50	2.66	

Tabla 6.2.3.3 Flexión simple en vigas a 14 días

Prueba a 21 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	5.05	5.10	15.05	22.00	2.55	2.03
2	4.95	5.10	15.20	13.50	1.64	
3	4.95	5.00	15.05	15.50	1.90	

Tabla 6.2.3.4 Flexión simple en vigas a 21 días

Prueba a 28 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	4.90	5.20	15.10	25.00	3.02	2.64
2	5.10	5.10	14.95	26.50	2.99	
3	5.10	5.00	15.00	27.00	3.11	
4	4.90	5.20	15.00	12.00	1.44	

Tabla 6.2.3.5 Flexión simple en vigas a 28 días

Prueba a 45 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	4.90	5.20	14.10	30.50	3.44	3.35
2	5.10	5.10	14.95	32.00	3.61	
3	4.95	5.15	15.00	32.00	3.80	
4	5.10	5.00	15.80	21.00	2.55	



Tabla 6.2.3.6 Flexión simple en vigas a 45 días

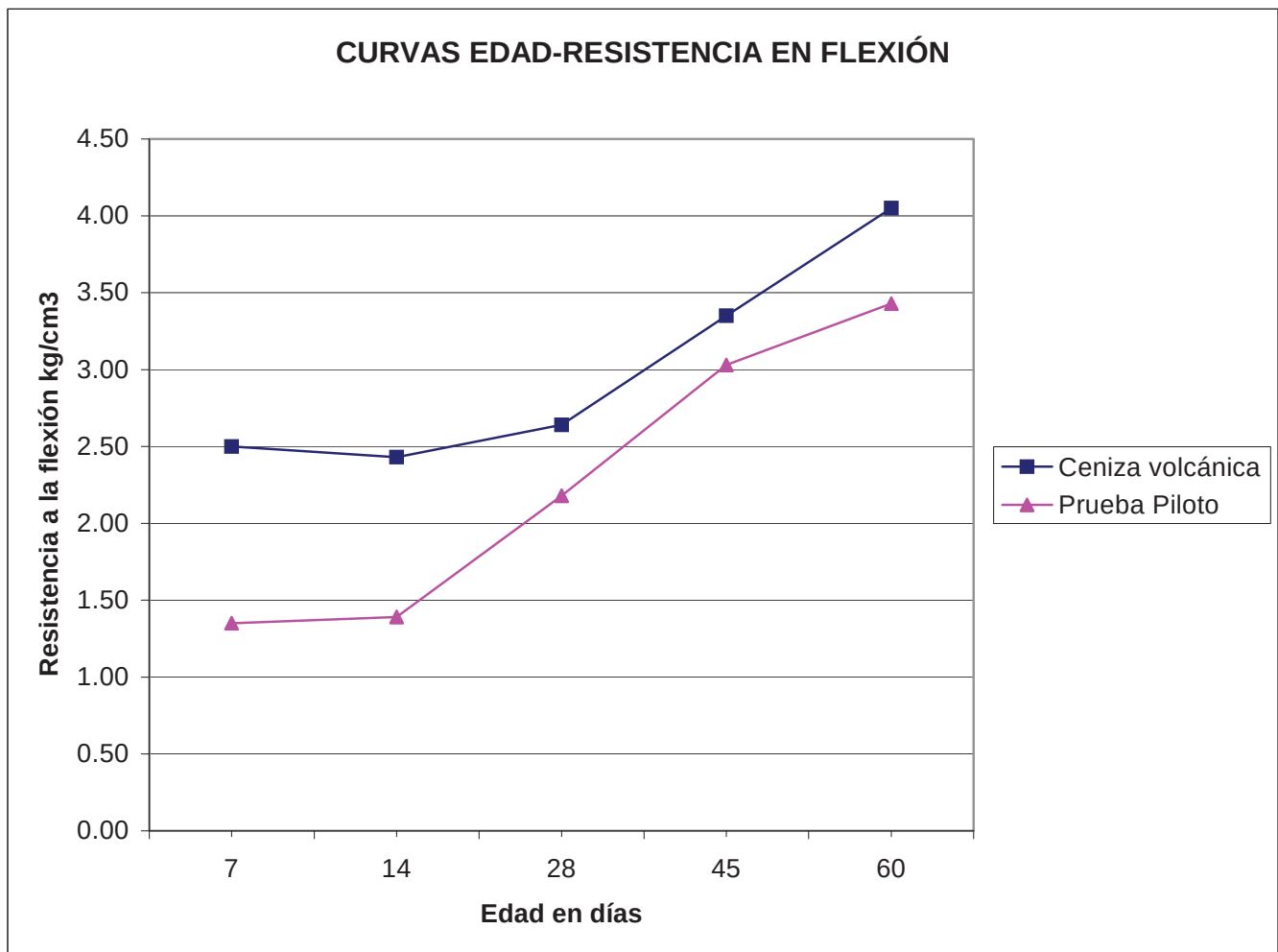
Prueba a 60 días						
Muestra	Dimensiones		Longitud entre apoyos cms	Carga Kgs	Esfuerzo Kgs/cm ²	Promedio de esfuerzo Kgs/cm ²
	Peralte	Ancho				
	cms					
1	5.20	5.10	15.30	39.50	4.38	4.05
2	5.00	5.30	15.00	29.00	3.28	
3	4.90	5.20	14.90	37.50	4.48	

Tabla 6.2.3.7 Flexión simple en vigas a 60 días

Comparativa de la flexión simple en morteros

días	Prueba Piloto	Ceniza volcánica
7	1.35	2.50
14	1.39	2.43
28	2.18	2.64
45	3.03	3.35
60	3.43	4.05

Tabla 6.2.3.8 Comparativa de la flexión simple en Vigas de mortero





6.3 Discusión

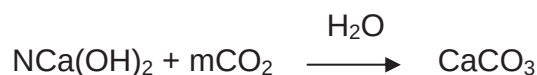
De las pruebas que se realizaron a los materiales para conocer sus propiedades físicas y haciendo una comparativa con los resultados obtenidos, se observa claramente que la ceniza volcánica es un material más ligero y que tienen más porosidad en su textura que la arena negra triturada. También se observó que al momento de que la ceniza volcánica recibía calor, tendían a pegarse las partículas más finas entre sí y al recipiente que las contenía.

De las pruebas mecánicas:

En la gráfica 6.2.1.9 se observa que la resistencia a compresión simple de la mezcla con puzolana se reduce en relación con la mezcla patrón. Pero se observa claramente que existe un aumento de la resistencia con el tiempo para ambas mezclas.

En el caso de la mezcla elaborada con puzolana se atribuye a una posible formación y crecimiento de la estructura cristalina formada por la reacción química entre el Ca(OH)_2 (la cal) y la puzolana SiO_2 , Al_2O_3 , etc.

En caso contrario para la mezcla elaborada con Ca(OH)_2 y agua el incremento a la resistencia se ve atribuida por la reacción de carbonatación entre la portlandita (Ca(OH)_2) y el dióxido de carbono proveniente de la atmósfera en presencia de la humedad, para permitir la difusión del gas dentro de la matriz, la reacción establecida se muestra a continuación:



Conforme se incrementa el tiempo aumenta la resistencia por el desarrollo de la estructura cristalina.



7. Conclusiones

7.1 Conclusiones

1. Las muestras hechas con arena negra triturada presentaron mayor resistencia a la compresión y a la flexión que aquellas que fueron hechas con ceniza volcánica, esta tendencia es muy notoria en edades tempranas y conformen van pasando los días, en especial los de los últimos días de pruebas, la mezcla hecha con la puzolana se recupera y adquiere más resistencia acortando la distancia ente el comportamiento de las dos mezclas.
2. Al comparar las muestras a flexión, se observa lo opuesto que en las pruebas a compresión y tensión ya que la mezcla con puzolana presenta mayor resistencia a la flexión que la muestra piloto y conforme pasa el tiempo y las mezclas maduran las puzolanas siguen con su desarrollo en su resistencia mecánica.
3. Al aplicar calor a la ceniza volcánica esta tiende a cementarse sobre todo en sus granos finos.

7.2 Aportaciones futuras:

1. El estudio y el análisis de puzolanas amorfas y con alta área superficial.
2. El estudio de morteros por medio de metales alcalinos K^+ , Na^+ que estén presentes en el $Ca(OH)_2$ y análisis de su reactividad tanto en la pasta como en los agregados pétreos.
3. El desarrollo de nuevos materiales con polímeros, fibras y puzolanas de alta reactividad.



8. Bibliografía

- 1 Historia del cemento portland. A. Julio De Icaza M. ajdicaza@latinsite.com
Asesor informático
- 2 Materiales alternativos al cemento Portland José Iván Escalante García
Unidad Saltillo del Cinvestav. 2002.
- 3 Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos. Juárez
Badillo – Rico Rodríguez. Limusa 2003.
- 4 Geología general. Alfonso Arroyo Serrato. Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo, departamento de materiales, sección geología.
Diciembre de 1987.
- 5 <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap04.htm>
Síntesis de publicaciones on-line del Dto. Geología de la Facultad de
Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y del área
Geología de la Universidad de Atacama.
- 6 Volcanic hazards with regard to sitting nuclear-power plants in the Pacific
Northwest. Hoblitt, Miller and Scott 1987.
http://www.vulcan.wr.usgs.gov/Pyroflows/description_pyro_flows.html.
- 7 How old is Cinder Cone? – Solving a mystery in Lassen volcanic National
Park, California: USGS Fact sheet 173-98
http://vulcan.wr.usgs.gov/Glossary/Tephra/description_tephra.html
- 8 "http://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_ash
Categories: Volcanology
- 9 Morteros de cal adicionados con aceite mineral. Tesis Cesar Omar Cortes
Alcántar. UMSNH. Septiembre 2002.
- 10 Morteros antiguos de albañilería con fibra animal. Tesis Armando Álvarez
Blancas. UMSNH. Junio 2001.
- 11 Incremento de la trabajabilidad del concreto hidráulico elaborado con
agregados pétreos del banco de joyitas y adicionados con ceniza volcánica.
Tesis de Hugo Luis Chávez García. Enero del 2003.



- 12 Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos
- 13 Normas y Costos de Construcción Tomo 1 Alfredo Plazola Cisneros editorial Limusa México DF. 1981
- 14 Tratado de Construcción Tomo 1 Antonio Miguel Saad. Continental S. A de C. V.
- 15 Annual Book of ASTM Standards 2000 Volume 04,01 Section four, Construction Cement, lime
- 16 Manual del Concreto Parte 1 SARH 1982
- 17 Análisis de Materiales Navarro Sánchez Luis Manuel, Martínez Molina Wilfrido, Espinoza Mandujano José A. UMSNH. 2000
- 18 <http://habitat.aq.upm.es/dubai/96/bp230.html> Construcción de vivienda con materiales autóctonos.