

Ciudad Obregón, Sonora, a 23 de Noviembre del 2011.

Instituto Tecnológico de Sonora
P r e s e n t e.

El que suscribe **Daniel Moreno Espino**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: "**Mortero para la fabricación de block usando ceniza volante**", en lo sucesivo "LA OBRA", misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Ingeniero Civil** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante "EL INSTITUTO", para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.

DANIEL MORENO ESPINO

Daniel Moreno Espino

(Nombre y firma del autor)



ITSON
Educar para
Trascender

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

**“MORTERO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOCK
USANDO CENIZA VOLANTE”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

DANIEL MORENO ESPINO

CD. OBREGÓN, SONORA

**SEPTIEMBRE
2011**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia que siempre me ha apoyado en las buenas y en las malas y en todas las decisiones que se toman a diario y siempre han estado al pendiente de mí y también me ha ayudado a salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada me gustaría agradecer a Dios por permitirme terminar esta etapa en mi vida.

También agradezco a mis padres y hermanos por todo el apoyo brindado en toda la carrera, así como lo han hecho a lo largo de mi vida.

Agradezco también el apoyo de mi asesor y profesor Dagoberto López López que siempre estuvo dispuesto a brindar su apoyo y tiempo, así como también a todos los profesores que me impartieron alguna materia y estuvieron ahí para apoyarme y brindar su conocimiento.

También me siento agradecido con los amigos y compañeros que me apoyaron en los momentos buenos y malos.

A mi novia que siempre me alentó a seguir adelante y nunca dejó de apoyarme.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Planteamiento del problema.....	10
1.3 Justificación	11
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo general.	11
1.4.2 Objetivos Específicos	12
1.5 Delimitaciones y limitaciones	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Tipos de cementos	15
2.1.1 Cementos naturales.	16
2.1.2 Cementos Expansivos.....	16
2.1.3 Cementos de alta alúmina.....	17
2.2 Fraguado	18
2.3 Finura	19
2.4 Aditivos.....	19
2.5 Puzolana	21
2.6 Agregados del concreto hidráulico	22
2.7 Clasificación de los agregados.....	23
2.8 Aplicaciones	24
2.9 Tecnología de los bloques de concreto en la actualidad	26
2.10 Concreto vibrado – teoría de la vibración.....	26
2.11 Principios fundamentales de la vibración	27
2.12 Granulometría	27

2.13 Densidad	29
2.14 Peso volumétrico	29
2.15 Absorción	30
CAPÍTULO III. MÉTODO Y MATERIALES	32
3.1 Metodología.....	32
3.2 Probetas y moldes.....	33
3.3 Mezclas	34
3.4 Pruebas de laboratorio	36
3.4.1 Granulometría	36
3.4.3 Peso volumétrico	42
3.4.4 Absorción	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1 Gráficas por familias.....	53
4.2 Pruebas finales.....	55
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1 Conclusiones.....	57
5.2 Recomendaciones.....	58
BIBLIOGRAFÍA	60

RESUMEN

El simple bloque de concreto continúa evolucionando a la par de los arquitectos y las plantas manufactureras de bloques de este tipo, desarrollando nuevas formas y tamaños. Estos nuevos bloques prometen hacer construcciones en menor tiempo y más económicas, resultando en estructuras que serán más durables y eficientes. La calidad de los bloques depende, fundamentalmente de la cuidadosa selección de los agregados, la correcta determinación de la dosificación, una perfecta elaboración en lo referente al mezclado, moldeo y compactación, y de un adecuado curado. En los que a nuestro trabajo respecta el mezclado, moldeo y compactación fueron realizados manualmente, por lo que al final del trabajo fueron limitantes, ya que existe una gran diferencia al usar una mezcladora que revolver el agregado manualmente y, por otro lado, la compactación se realizó con un pisón hidráulico en vez de utilizar una mesa vibradora, la cual permite un mejor asentamiento y acomodo de partículas en el mortero, por lo tanto, se puede apreciar una diferencia en la máxima resistencia obtenida en el trabajo que en las resistencias que actualmente se manejan, donde hay casos especiales donde se exige una resistencia mínima (INFONAVIT – 60 kg/cm²). Por otro lado, la idea principal del trabajo fue de elaborar un mortero ordinario al cual se le agregó ceniza volcánica o puzolana, con el propósito de encontrar una combinación en la cual, a la hora de fabricar bloques de concreto nos permita obtener una resistencia a la compresión que ande entre los límites considerables para su uso (35-40 kg/cm²), y un ahorro de material, en este caso cemento, y así, poder tener las mismas características y calidad de un bloque ordinario (arena, grava, agua y cemento).

Materiales Acosta es una de tantas productoras de bloques, localizada en Navojoa, Sonora, accedió a que se realizaran estudios de laboratorio en los materiales de agregados que ésta misma utiliza, con el fin de obtener una evaluación de sus productos y también contar con nuevas estrategias de producción utilizando un aditivo, como es el caso en este trabajo, el de la puzolana

volcánica. Por consiguiente los agregados utilizados en este estudio fueron los mismos utilizados en la empresa (Arena de arroyo, sello triturado $\frac{1}{4}$ y cemento portland tipo I), obtenidos directamente de ellos y acarreados a la ciudad de Obregón, Sonora.

El trabajo trató en la fabricación de 2 juegos de probetas, todas con medidas de 3x3 pulgadas de base por 4 pulgadas de altura. En el primero juego, se fabricaron 16 probetas con distintas combinaciones mostradas en el capítulo 4, la mayoría de las probetas arrojaron resultados en sus resistencias a la compresión por debajo de lo esperado, mas sin embargo se optó por realizar un segundo juego más cautelosamente de las muestras con mejor tendencia de resistencia, fueron 12 probetas más, las cuales arrojaron una resistencia más adecuada aunque, aún, debajo de las promedio, todo esto debido las limitantes antes mencionadas. No obstante se puede apreciar que se escogió la mejor combinación y que puede ser aplicable para la fabricación de este tipo de mortero al observar que con la utilización de la ceniza volcánica fueron aumentando las resistencias.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El mortero, también llamado cemento, es un cemento Portland mezclado con materiales inertes finamente molidos. En otras palabras, es cemento con arena y agua; y lo que lo distingue del concreto armado es la ausencia de agregados gruesos (las gravas).

La utilización del mortero y del concreto por los Romanos data desde a principios del año 200 a.c. con la finalidad de dar forma a las piedra usadas en la construcción de edificios en esa época. Durante el reinado del emperador romano Calígula en el año 37-41 d.c., pequeños bloques de concreto prefabricados fueron usados como material de construcción en la región cerca de lo que hoy se conoce como Nápoles, Italia. Sin embargo, mucha de la tecnología desarrollada por los romanos se perdió tras la caída del imperio en el siglo V. No fue sino hasta 1824 que el Inglés Joseph Aspdin, desarrollo el cemento Pórtland, que llego a ser un componente esencial del concreto moderno. El primer bloque de concreto fue

diseñado en 1890 por Harmon S. Palmer en los Estados Unidos. Después de 10 años de experimentación, Palmer patentó el diseño en 1900. Los bloques de Palmer fueron de 20.3 x 25.4 x 76.2 cms. En 1905, aproximadamente 1500 compañías estadounidenses se encontraban manufacturando bloques de concreto. Estos bloques eran sólidos sumamente pesados en los que se utilizaba la cal como material cementante. La introducción del cemento Portland y su uso intensivo, abrió nuevos horizontes a este sector de la industria.

A principios del siglo XX aparecieron los primeros bloques huecos para muros; la ligereza de estos nuevos bloques significa, por sus múltiples ventajas, un gran adelanto.

Las primeras máquinas que se utilizaban en la entonces incipiente industria se limita a simples moldes metálicos, en los cuales se compacta la mezcla manualmente; este método de producción se siguió utilizando hasta los años veinte, época en que aparecieron máquinas con martillos accionados mecánicamente, más tarde se descubrió la conveniencia de la compactación lograda basándose en vibración y compresión; actualmente, las más modernas y eficientes máquinas para la elaboración de bloques de concreto utilizan el sistema de vibro compactación. Los bloques de concreto son principalmente usados como materiales de construcción de paredes. La mayoría de los bloques tienen una o más cavidades y sus lados pueden ser planos o con algún diseño.

Ya en la construcción, los bloques de concreto son colocados uno a la vez con concreto fresco, para formar el alto y el ancho deseado de la pared.

La demanda del concreto en la industria de la construcción es cada día más importante, es por ello que las empresas productoras de concreto han seguido estudiando las características físicas y mecánicas de los agregados que lo constituyen. Así mismo, hoy en día el consumidor en general exige a dichas empresas conocer más a detalle el tipo de productos que adquiere y usa, con el fin de seleccionar aquel que mejor satisfaga sus necesidades en cuanto a construcción y economía. Es importante cuidar además, una vez diseñada

experimentalmente la mezcla de concreto, los procesos reglamentarios de curado, vibrado, y transportación de la mezcla, así como su manejo para que ésta pueda llegar a la resistencia última para la cual fue diseñada.

Conocidas estas características, el estudio experimental que se presentará en esta tesis es la producción de mortero para la fabricación de blocks utilizando como agregado especial la ceniza volante (fly ash), utilizando un método experimental de análisis de resultados obtenidos mediante pruebas realizadas en el laboratorio de Ingeniería Civil en el Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Nainari, en Ciudad Obregón, utilizando diferentes relaciones agua-cemento.

1.2 Planteamiento del problema

Existen varios factores que pueden influir en la realización de una obra civil, como un incorrecto seguimiento del plan de trabajo, así como también el mal uso o aplicación de los materiales de construcción, en este último encontramos que la calidad con que se fabrican y la calidad de los productos o materia prima con que se elaboran estos materiales es muy importante, el presente trabajo está enfocado en el caso de la fabricación de mortero para la elaboración de bloques de concreto huecos que actualmente son muy utilizados en la construcción, a éstos mismos se les añadirá ceniza volcánica (fly ash), otro material que normalmente no es usado para su fabricación. Aunque la elaboración de éstos puede ser un proceso poco complicado, muchas veces existen requisitos para su compra-venta como el alcanzar cierta resistencia y esta puede llegar a variar bastante si no se toman sus debidas precauciones.

1.3 Justificación

La calidad de materiales con que se trabaja en una obra de Ingeniería civil siempre ha tomado un papel muy importante en lo que a la construcción se refiere, ya que al tener una mayor calidad de material y un mejor desarrollo de propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión en nuestro caso, de este modo, se obtendrá una mayor ventaja sobre las otras construcciones, y por lógica un mayor mercadeo de este material sobre los otros productos.

Es por ello que es de suma importancia la realización de este trabajo, ya que a través de este, podremos darnos cuenta si el desarrollo y control de calidad con que se está llevando la fabricación de los bloques es adecuado, siendo los más beneficiados los integrantes o dueños de la empresa de venta de materiales, así como los clientes que adquieran estos productos y por qué no, las futuras personas a utilizar las obras civiles realizadas con estos mismos productos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Detectar la opción y cantidad óptima de material utilizado para la fabricación de probetas de mortero a la hora de agregarle algún aditivo, en este caso la ceniza volcánica (puzolana), comparando muestras con distintos porcentajes de sus agregados, y así de este modo escoger qué combinación es más apropiada para el ahorro de materia prima, sin afectar la resistencia a la compresión de los blocks fabricados.

1.4.2 Objetivos Específicos

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y de los bloques que constituyen estos materiales utilizados actualmente en la empresa Materiales Acosta en Navojoa, Sonora. (Pruebas de laboratorio).

Determinar un promedio de la capacidad de resistencia a la compresión alcanzada actualmente en los bloques fabricados por la empresa Materiales Acosta.

Comparar el promedio de resistencia a la compresión de las muestras de bloques con diferentes cantidades de agregados y ceniza volcánica.

1.5 Delimitaciones y limitaciones

El estudio se limita al análisis del comportamiento de blocks de concreto, bajo la acción de ensayos a compresión en laboratorio, considerando el uso de ceniza volcánica (fly ash) y diferentes cantidades de los agregados utilizados a la hora de su fabricación. Este estudio solo será aplicable a la fabricación de muestras de bloques elaborados con los mismos materiales utilizados en la bloquera.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El empleo de materiales cementantes es muy antiguo, se conoce información de que los egipcios utilizaban yeso calcinado impuro, los griegos y los romanos también utilizaron caliza calcinada, y con el paso del tiempo aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas, de tal modo que así se produjo el primer concreto de la historia. Los romanos para construcciones sujetas a la acción del agua empezaron a utilizar cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada finamente triturada. La sílice activa y la alúmina presentes en las cenizas y en las tejas se mezclan con la cal para producir lo que se conoce como “cemento puzolánico”, nombre proveniente del nombre del pueblo de Pozzuoli, cerca de Vesubio, donde se encontró por primera vez ceniza volcánica. El mismo nombre de cemento puzolánico se sigue utilizando hasta nuestros días para describir cementos obtenidos de moler materiales naturales a temperatura normal.

No fue hasta el siglo XVIII cuando se observó un progreso en el conocimiento de los cementos, John Smeaton descubrió que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba “puzolana” con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso, en ese tiempo la arcilla no se consideraba conveniente, y fue así como Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica. A partir de todo esto se empezaron a desarrollar otros tipos de cementos hidráulicos, como el cemento romano, obtenido de la calcinación de nódulos de caliza arcillosa, que finalmente terminó patentando lo que se conoce como “Cemento Portland”. Este cemento se prepara calentando la mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura hasta desaparecer el CO_2 , esta temperatura es menor que la necesaria para producir “clinker” (caliza cocida). El prototipo del cemento moderno lo hizo Isaac Johnson en 1845, quemando la mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de clinker, reacción necesaria para producción de un compuesto cementante.

El nombre del “cemento portland” se debe al parecido de color y calidad entre cemento fraguado y la piedra de Portland –una caliza obtenida en una cantera de Dorset- Este nombre se ha conservado a través del tiempo hasta nuestros días para describir un cemento que se obtiene de la mezcla minuciosa de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de fierro, quemándolos a una temperatura de formación de clinkers y mezclando el clinker resultante. Esta es la definición de la British Standard (La British Standards Institution, cuyas siglas corresponden a BSI, es una multinacional cuyo fin se basa en la creación de normas para la estandarización de procesos.) la cual estipula también que ningún otro material, aparte del yeso y del agua, puede adicionarse después de la calcinación. El yeso se adiciona para evitar el fraguado relámpago del cemento.

En general el cemento puede definirse como un material conglomerante (Se denomina conglomerante al material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos) con propiedades tanto adhesivas como

cohesivas con la finalidad de formar un todo compacto, debido estas cualidades admirables a este fino polvo se le ha llamado “polvo mágico”. El cemento también es el material de construcción más utilizado en todo el mundo

En la construcción los principales componentes del cemento utilizado son compuestos de cal, por lo tanto en ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos. Estos cementos tienen la capacidad de fraguar y endurecer con el agua, esto se debe a que presentan una reacción química con ella y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos. Los cementos hidráulicos están constituidos principalmente de silicatos aluminatos de cal y se pueden clasificar en: cementos naturales, cementos portland y cementos de alta alúmina.

El cemento portland es utilizado en todo el mundo y su proceso de fabricación consiste en la mezcla minuciosa de la materia prima (materiales calcáreos) finamente molida en un horno rotatorio a una temperatura de 1400°C donde el material se funde y sintetiza formando bolas como clinker. Después de este proceso el clinker se enfría y se tritura hasta que se obtiene un polvo fino, a este polvo se le adiciona un poco de yeso y el producto final es lo comercialmente conocido como cemento Portland.

2.1 Tipos de cementos

Existen varios tipos de cemento Portland para el comercio, aparte de cementos especiales que se pueden producir para usos específicos.

TABLA 2.1 Principales tipos de cementos Portland con su nomenclatura americana.

Descripción inglesa	Descripción ASTM
Portland normal	Tipo I
Portland de fraguado rápido	Tipo III
Portland de fraguado extra-rápido	
Portland de ultra-alta resistencia rápida	
Portland de bajo calor	Tipo IV
Cemento modificado	Tipo II
Portland resistente a los sulfatos	Tipo V
Portland de escoria de alto horno	Tipo IS
Portland blanco	
Portland puzolana	Tipo IP
	Tipo P
Cemento con escoria	Tipo S

NOTA: Los cementos Tipo I, IS, IP, P, S, II y III se elaboran también con un agente inclusor de aire y se denotan por la letra A, por ejemplo Tipo IA.

2.1.1 Cementos naturales.

Estos cementos se obtienen a partir de la calcinación y molienda de una roca conocida como roca cemento, piedra que contiene cerca de un 25 % de material arcilloso. Es un cemento muy similar al Portland y se considera como un producto intermedio del cemento Portland y cal hidráulica. Dado a que los cementos naturales son calcinados a bajas temperaturas no contienen C_3S y, por lo tanto, son de endurecimiento lento, son variables en su calidad y por esas razones no son usados o son de poco uso actualmente.

2.1.2 Cementos Expansivos

Los cementos Expansivos son los que durante su endurecimiento o secado se expanden durante los primeros días de vida. Entre los cementos de este tipo están: cementos expansivos, cementos expansivos de alta energía, y un descubrimiento más reciente es el cemento expansivo conocido como Tipo K, dentro de la

clasificación ASTM, elaborado en California, hay también un cemento Tipo S que tiene alto contenido de C_3A (aluminato tricálcio).

El empleo de un cemento expansivo no puede producir un concreto “sin contracciones”, ya que la contracción ocurre después de que el curado húmedo ha cesado.

2.1.3 Cementos de alta alúmina

Jules Bied creó un cemento de alta alúmina, este cemento cambia mucho en composición y también en algunas propiedades de los cementos Portland, pero las técnicas para fabricar concreto son similares. Estos cementos fueron creados como una solución al ataque de aguas portadoras de yeso a estructuras de concreto de cemento Portland en Francia.

Al conocer información de cada uno de los tipos cementos existentes, agregamos que la fabricación del cemento requiere de riguroso control; por lo tanto, se realizan diversas pruebas en los laboratorios de las fábricas de cemento para asegurarse de que éste posea la calidad deseada y de que está dentro de todos los requisitos de las normas de cada país. Sin embargo, se descarta que pueda convenir a un comprador o cualquier laboratorio independiente hacer pruebas de aceptación o, lo que es más común, examinar las propiedades del cemento que se va utilizar para alguna aplicación especial. Las cantidades efectivas de los diferentes tipos de compuestos varían de manera considerable de un cemento a otro y realmente es posible obtener distintos tipos de cemento agregando en forma proporcional los materiales correspondientes.

La reacción mediante la cual el cemento se transforma en un agente de enlace, se produce en una pasta de cemento y agua. En otras palabras los componentes que conforman un cemento en presencia del agua forman productos de hidratación que con el paso del tiempo da como resultado una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento endurecida. Los componentes de los diferentes

tipos de cementos pueden reaccionar con el agua de dos formas distintas: hidratación real, en la que se produce una adición directa de algunas moléculas de agua y la hidrólisis, reacción ácido-base entre una sustancia, típicamente una sal, y el agua.

2.2 Fraguado

El fraguado de una pasta de cemento es el término utilizado para describir la dureza o rigidez de la pasta, aún cuando la definición de rigidez de la pasta puede considerarse un poco arbitraria. En otras palabras el cambio del estado fluido al estado rígido de la pasta se refiere al fraguado, por otro lado, el fraguado del endurecimiento se refiere al incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada. En la práctica se utilizan los términos fraguado inicial y fraguado final, el método para determinar estos tiempos de fraguado se conoce como: tiempo de fraguado. El proceso de fraguado va acompañado de cambios de temperatura en la pasta del cemento: el fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura.

En el fraguado de una pasta de cemento portland el tiempo de fraguado que se ha determinado en la práctica usual son 28 días, que es el tiempo en el que la pasta alcanza su máxima resistencia o endurecimiento, sin embargo, en la construcción de presas y estructuras similares es frecuente considerar un tiempo más prolongado. En cualquier caso, la mezcla debe diseñarse de modo que el concreto alcance las propiedades requeridas a la edad especificada en el proyecto estructural, considerando que a partir de esta edad la estructura ya puede estar en condiciones de prestar servicio. La duración del fraguado de la pasta de cemento puede experimentar ligeras modificaciones por efecto de cambios en la relación agua/cemento y en el tipo o clase de cemento, pero más bien resulta sensiblemente afectada por las variaciones de temperatura, en condiciones de temperaturas altas la pasta fragua con mayor rapidez, y en temperaturas bajas con mayor lentitud, es ahí cuando entra el uso de aditivos, ya sea para retrasar o

para acelerar el proceso de fraguado dependiendo del clima en que se encuentre el colado o la mezcla de cemento. Al final del fraguado de una pasta de cemento, empieza el endurecimiento que conduce a la obtención de las propiedades que finalmente se identifican con la pasta endurecida.

2.3 Finura

La finura del cemento es una propiedad vital de éste mismo y tiene que someterse a un control cuidadoso. Debe recordarse que la hidratación del cemento comienza sobre la superficie de las partículas, de este modo, la velocidad de hidratación depende de la finura de las partículas de cemento, por lo tanto, para un desarrollo rápido de la resistencia se precisa un alto grado de finura. Por otro lado la molienda de partículas de cemento, para obtener mayor finura representa un costo considerable; además, cuanto más fino sea el cemento, se deteriorará más rápido por la atmósfera.

2.4 Aditivos

En la construcción, las mezclas para la fabricación de concreto hidráulico pueden modificarse mediante la aplicación de aditivos, dependiendo de la necesidad que requiera cada concreto fabricado, así, los aditivos para concreto son componentes de materias orgánica (resinas), cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades de los materiales conglomerados en estado fresco, su estado físico se presenta en polvos o en estado líquido.

Existen dos grupos dentro del mundo de los aditivos utilizados para el concreto:

- Modificadores de la reología, que cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, docilidad, etc.
- Modificadores del fraguado, que adelantan o retrasan el fraguado o sus condiciones.

Existen aditivos que incrementan la fluidez del concreto haciéndolo más manejable, los aditivos que aceleran el fraguado son especialmente diseñados para obras o construcciones donde las condiciones climáticas evitan un curado rápido.

Los aditivos retardantes son usados en lugares donde el concreto fragúa rápidamente, especialmente en regiones con clima cálido o en situaciones donde el concreto debe ser transportado a grandes distancias; esto con la intención de manipular la mezcla por mayor tiempo.

A continuación se presenta la clasificación de los aditivos de acuerdo con su función principal:

Aditivo reductor de agua/plastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido de agua de un determinado concreto, o que, sin modificar el contenido de agua, aumenta el asiento (cono de Abrams)/escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.

Aditivo reductor de agua de alta actividad/aditivo superplastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia del concreto, o que sin modificar el contenido de agua, aumenta considerablemente el asiento (cono de Abrams)/ escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.

Aditivo reductor de agua: Aditivo que reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.

Aditivo inclusor de aire: Aditivo que permite incorporar durante el amasado una cantidad determinada de burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.

Aditivo acelerador de fraguado: Aditivo que reduce el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al rígido.

Aditivo acelerador del endurecimiento: Aditivo que aumenta la velocidad de desarrollo de resistencia iniciales del concreto, con o sin modificación del tiempo de fraguado.

Aditivo retardador de fraguado: Aditivo que aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.

Aditivo hidrófugo de masa: Aditivo que reduce la absorción capilar del concreto endurecido.

Aditivo multifuncional: Aditivo que afecta a diversas propiedades del concreto fresco y/o endurecido actuando sobre más de una de las funciones principales definidas en los aditivos mencionados anteriormente.

2.5 Puzolana

La puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, proveniente de la población de Pozzuoli, en las faldas del Vesubio, donde ya era explotada en el tiempo de los romanos. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la Puzolana de origen natural podían tener usos sustitutivos. Hoy en día, una de sus acepciones más comunes es la de la grava que frena los escapes de las curvas en competiciones automovilísticas. En la actualidad este material tiene múltiples usos, utilizada como aditivo al cemento, entre uno de tantos destaca la fabricación de Cemento Portland Puzolánico. Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico sobre el resto se detallan a continuación:

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.

- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de Hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la Abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye la necesidad de agua.

La base de todas estas mejoras es el denominado “Efecto Puzolánico” en el cemento. Los Aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland. Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el Hidróxido de Calcio (lo que mejora su resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

2.6 Agregados del concreto hidráulico

Originalmente los agregados en una mezcla o pasta de cemento no eran considerados de mayor importancia, más que nada eran utilizados por razones económicas, al ser utilizados como un relleno o para el empleo de menor cantidad de cemento, (Los agregados tienen un menor costo que el cemento, por lo tanto, es más económico utilizar mayor cantidad de éstos y menor cantidad de éste). Cabe señalar que los agregados en una mezcla de concreto convencional representan alrededor del 60 y 75 por ciento del volumen absoluto de todos los componentes, por consiguiente, la calidad de los mismos es de suma importancia. Los agregados limitan la resistencia del concreto, por lo tanto, un agregado débil no puede constituir un concreto resistente, también proporcionan mayor estabilidad volumétrica y mayor dureza que si se utilizara solamente pasta de cemento, de esta forma se puede afirmar que un agregado como el representante

de mayor porcentaje en una mezcla de concreto tiene una función de mayor influencia en el comportamiento de éste.

2.7 Clasificación de los agregados

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

Por su naturaleza:

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

a. El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

b. El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

Por su densidad:

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

Por el origen, forma y textura superficial:

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

Redondeada: Bordes casi eliminados.

Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

2.8 Aplicaciones

Resumiendo, la pasta de cemento es el resultado de la mezcla del cemento con el agua, y la eventual incorporación de aditivos. Mediante la variación de las proporciones en que se combinan estos componentes, y por el uso de diferentes cementos y aditivos, es posible ejercer influencia controlada sobre el comportamiento de la pasta de cemento en los siguientes tres aspectos: 1) sus características como fluido viscoso, al ser mezclada, 2) su tiempo de fraguado, durante el cual se rigidiza, y 3) sus diferentes propiedades, como material endurecido.

Los 2 materiales estructurales más usados son el concreto y el acero. A veces desempeñan papeles complementarios uno respecto al otro, y a veces compiten entre sí, pues algunas estructuras pueden ser construidas con uno solo de estos 2 materiales.

El concreto o conocido también como hormigón es la mezcla de 4 elementos básicos: Agua, cemento, arena y grava. Esta mezcla es utilizada para la fabricación de diferentes elementos en construcción siendo las más comunes:

Columnas

Losas

Trabes

Cimentaciones

Pilotes

Dalas y castillos

Firmes y pisos

La aplicación y características del concreto, se determinan según el elemento en el cual será aplicado, y su resistencia está sujeta a la relación agua-cemento que se aplique en el mismo. Los miembros estructurales suelen producirse en la obra y su calidad depende en forma casi exclusiva de la calidad de la mano de obra en los procesos de elaboración y colocación del concreto.



Figura 2.1 Fabricación de bloques de concreto vibrado.

2.9 Tecnología de los bloques de concreto en la actualidad

Los bloques de concreto vibrado son elementos paralelepípedos, moldeados, que se adaptan a un manipuleo manual, especialmente diseñado para la albañilería armada y confinada con acabado tarrajado o también con un terminado cara vista. Los materiales utilizados para la fabricación de los bloques están constituidos por cemento Portland tipo I, por agregados que cumple con los requisitos para concretos convencionales; se debe considerar relación a/c mínima a fin de proporcionarles características de durabilidad e impermeabilidad; el equipo necesario para fabricar los bloques lo conforman una pequeña mesa vibradora con su respectivo molde metálico.

2.10 Concreto vibrado – teoría de la vibración

La vibración es el método de asentamiento práctico más eficaz conseguido hasta ahora, dando un concreto de características bien definidas como son la resistencia mecánica, compacidad y un buen acabado. La vibración consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas y con una frecuencia elevada. Bajo este efecto, la masa de concreto que se halla en un estado más o menos suelto según su consistencia, entra a un proceso de acomodo y se va asentando uniforme y gradualmente, reduciendo notablemente el aire atrapado. La duración de la vibración influye determinantemente en la compacidad del elemento. Un inconveniente que se encuentra a menudo en el campo de la vibración, es el efecto de pared, fenómeno que tiene lugar en aquellas piezas de paredes altas y espesor reducido. Aunque se haya calculado un vibrador que responda a la masa total a vibrar, el asentamiento no será completo si tiene lugar tal fenómeno, debiéndose adoptar aparatos de mayor potencia para subsanar el efecto pared.

2.11 Principios fundamentales de la vibración

La vibración queda determinada por su frecuencia e intensidad. Frecuencia es el número de impulsiones o pequeños golpes a que se somete el concreto en un minuto. Amplitudes la máximo desplazamiento de la superficie vibrante entre dos impulsiones. La vibración puede ser de alta o baja frecuencia. Se considera de baja frecuencia valores usuales de 3000 vibraciones por minuto; cuando éstas son iguales o superiores a 6000 vibraciones/minuto se consideran en el rango de alta frecuencia. Con este último se logra una mejor compactación: vibración de baja frecuencia obliga el empleo de mezclas con un mayor relación a/c. Un factor de considerable importancia es el tiempo que dura el proceso de vibración. Este tiempo depende, entre los factores más importantes, de la frecuencia de vibración, de la calidad del agregado, de la riqueza en cemento de la mezcla; al aumentar la frecuencia disminuye el tiempo de vibrado, sin embargo, la vibración muy enérgica y prolongada puede producir efectos desfavorables, la vibración se da por completa cuando la lechada de cemento empieza a fluir a la superficie.

2.12 Granulometría

Se le conoce como granulometría a la distribución de partículas según su tamaño, por lo tanto, un análisis granulométrico es el proceso que consiste en separar muestras de un agregado en fracciones de partículas del mismo tamaño. Para la realización de un estudio granulométrico se utilizan unos tamices de muestreo con aberturas estándar que van montados en marcos para que se puedan poner uno encima de otro, en orden de tamaño, con el tamiz más grande en la parte superior, y el material retenido en cada tamiz después de haberlos sacudido representa la fracción de agregado más grueso que el tamiz donde se encuentra, pero más fino

que el tamiz inmediato superior. Existen tamices de muestreo que se utilizan para agregados finos, así como también lo hay para agregados gruesos, cabe agregar que la malla No. 4 (5 mm ó 3/16 de pulgada), es la divisora entre los agregados gruesos y los finos. La serie de tamices utilizados para agregado grueso son 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", # 4 y para agregado fino son # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, # 200. La serie de tamices que se emplean para clasificar agrupados para concreto se ha establecido de manera que la abertura de cualquier tamiz sea aproximadamente la mitad de la abertura del tamiz inmediatamente superior, o sea, que cumplan con la relación 1 a 2.

Los resultados de un análisis granulométrico también se pueden representar en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas.

Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representa el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixta.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

En consecuencia hay factores que se derivan de un análisis granulométrico como son:

PARA AGREGADO FINO

Módulo de Finura (MF)

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100 , en nuestro estudio no se incluyen los tamices de 1" y ½".

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ retenido acumulado}}{100}$$

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir concreto satisfaciendo las especificaciones del ASTM debe estar entre 2.3 y 3.1 o, donde un valor menor que 2.0 indica una arena fina 2.5 una arena de finura media y más de 3.0 una arena gruesa.

2.13 Densidad

Según un cuento conocido, a Arquímedes le dieron la tarea de determinar si el orfebre de Hierón II de Siracusa desfalcaba el oro durante la fabricación de una corona dedicada a los dioses, y si además lo sustituía por otro metal más barato.

Arquímedes sabía que la corona, de forma irregular, podría ser aplastada o fundida en un cubo cuyo volumen se puede calcular fácilmente comparado con la masa. Pero el rey no estaba de acuerdo con estos métodos, pues habrían supuesto la destrucción de la corona.

Desconcertado, Arquímedes se dio un relajante baño de inmersión, y observando la subida del agua caliente cuando él entraba en ella, descubrió que podía calcular el volumen de la corona de oro mediante el desplazamiento del agua.

La densidad o densidad absoluta se refiere a la magnitud que expresa la relación de la masa de volumen sólido, con referencia al vacío, con la de un volumen igual de agua destilada y libre de gases.

2.14 Peso volumétrico

En los agregados se conoce como peso volumétrico al peso del agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario. Un peso volumétrico alto señala que queda muy pocos huecos por llenar del recipiente entre cada una de las partículas. Está claro que el peso volumétrico depende de qué tan bien se ha comprimido el agregado, por lo tanto, el peso volumétrico depende del tamaño,

distribución y forma de las partículas de éste mismo agregado, las partículas de un mismo tamaño se pueden comprimir hasta cierto límite, pero las pequeñas se pueden acomodar entre los huecos de las más grandes, aumentando así el peso volumétrico del material o agregado.

2.15 Absorción

El método de absorción se refiere al incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, (arena y sello triturado) en 24 horas. Para ello, la muestra seleccionada del agregado se sumerge en agua durante 24 horas. Al final de este tiempo deberá extraerse el material y proceder a su secado superficial, mediante un lienzo absorbente. En estas condiciones de saturación se determina el peso de la muestra W_h . Se pone luego a secar la muestra hasta peso constante W_s , y se calcula la absorción por la fórmula. (El resultado arrojado se expresa en porcentaje).

$$\% \text{Absorción} = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W_h : peso de la muestra superficialmente seca.

W_s : peso de la muestra seca.

El resultado obtenido por medio del método explicado sirve para compararlo con el que marque la especificación correspondiente al uso que se le vaya a dar al material y saber si satisface o no a la norma.

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una cierta aplicación. Por ejemplo, cuando el agregado puede influir en el comportamiento del concreto para soportar heladas, se especifica un agregado con baja absorción (no mayor al 5 %), por el peligro de deterioro en el material debido al congelamiento del agua absorbida en el agregado. La fórmula de cálculo para la absorción de gravas es igualmente aplicable para las arenas.

CAPÍTULO III. MÉTODO Y MATERIALES

En el siguiente apartado se muestra el procedimiento a seguir para realizar la recopilación de información y las pruebas realizadas en el laboratorio para elaborar la investigación:

Este trabajo fue realizado en la Ciudad de Obregón, Sonora (2011), en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en la unidad Náinari. Las pruebas de laboratorio realizadas para el análisis de materiales (Peso volumétrico, Densidad, Absorción y Granulometría), así como los ensayos de compresión simple en las probetas obtenidas fueron procedimientos elaborados en las instalaciones de la institución.

3.1 Metodología

La metodología para la elaboración de este estudio fue:

1. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados (pruebas de laboratorio), mismos que se utilizarán para la elaboración de especímenes de prueba.
2. Obtener la dosificación óptima de los componentes que integran cada mezcla.
3. Elaboración, curado y ensaye de especímenes rectangulares de 3 x 3 pulgadas en la base y 4 cm de largo para un ensaye a 3, 7, 14, 21, y 28 días a compresión simple.
4. Reportar resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio.
5. En base al análisis e interpretación de resultados obtenidos, realizar las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

Cabe aclarar que los estudios de laboratorio fueron realizados manualmente y se usaron los recursos disponibles en el laboratorio de Ingeniería civil.

3.2 Probetas y moldes

Las probetas elaboradas son en moldes de acero laminado de base cuadrada con dimensiones de 3 x 3 pulgadas y 4 pulgadas de alto, obtenidos del laboratorio de Ingeniería Civil, cada molde es lubricado con aceite para facilitar el descimbrado y las muestras son enumeradas y sumergidas en agua los días que se necesite antes de su ensaye a compresión simple. Las especificaciones y dosificaciones de agregados en cada probeta elaborada vienen con detalles en la tabla de diseño de mezclas.



Figura 3.1 Moldes utilizados para las probetas

3.3 Mezclas

Se trabajó con 4 porciones distintas de mezclas variando las cantidades cemento, agua y aditivo (Puzolana), en todas ellas. El elemento constante en todas las mezclas fue el sello triturado y la arena de arroyo. Con las dimensiones propuestas se calculó las cantidades necesarias para el número de muestras que se realizarán.

Las mezclas previamente homogeneizadas son vertidas en 3 capas en cada molde, entre cada capa 10 golpes con un pisón metálico con las medidas de los moldes, esto con la finalidad de comprimir y obtener un buen acomodo de partículas en la mezcla dentro de los moldes. Al terminar cada molde se enraza y se deja secar por 24 horas para después ser sumergido en agua y esperar los días necesarios para su prueba de compresión.

Variabes

En el presente trabajo las variables se definieron como:

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Se utilizó como variables independientes la cantidad de puzolana; 0, 5, 10 y 15 % con respecto a la cantidad de cemento requerida para las resistencias de 150, 160, 170 y 175 kg. Resumiendo las variables independientes que se manejaron:

- % de Puzolana = { 0, 5, 10, 15 } %
- Contenido de cemento = { 150, 160, 170, 175 } kg/m³

VARIABLES DEPENDIENTES:

Se tiene como variables dependientes a las resistencias ($f'c$) obtenidas de cada mezcla elaborada para cada combinación de cemento y puzolana, así como el peso volumétrico que también tuvo una variación en las probetas. Resumiendo las variables dependientes que se manejaron:

- Resistencia a Compresión = {14.54 – 32.78} kg/cm² (pruebas finales)
- Peso Volumétrico = { 2801 – 2982 } kg/m³



Figura 3.2 Preparación de la mezcla de concreto para las muestras.

3.4 Pruebas de laboratorio

A continuación se presentan las pruebas de laboratorio realizadas a los agregados utilizados para la fabricación de probetas.

NOTA: Estos materiales son los mismos utilizados en la empresa Materiales Acosta, en Navojoa, Sonora.

3.4.1 Granulometría

Para nuestro estudio realizado en laboratorio con respecto a la granulometría de los agregados se siguió el procedimiento antes especificado en el marco teórico en el apartado de granulometría, donde se nos explica cómo se obtienen los datos a continuación presentados, también se anexa la curva granulométrica correspondiente a los datos obtenidos para una mejor interpretación de resultados.

Tabla 3.1 Granulometría Arena de arroyo

No. DE MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
No. 4	66.50	3.33	3.33	0	5
8	386.20	19.32	22.65	0	20
16	680.40	34.05	56.70	15	50
30	661.60	33.10	89.80	40	75
50	153.10	7.66	97.46	70	90
100	33.60	1.68	99.14	90	98
Charola	17.10	0.86	100.00	98	100
Total	1998.50	100.00	369.09		

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado}}{100}$$

$$M.F. = 3.69$$

Por lo tanto se clasifica como una Arena Gruesa.

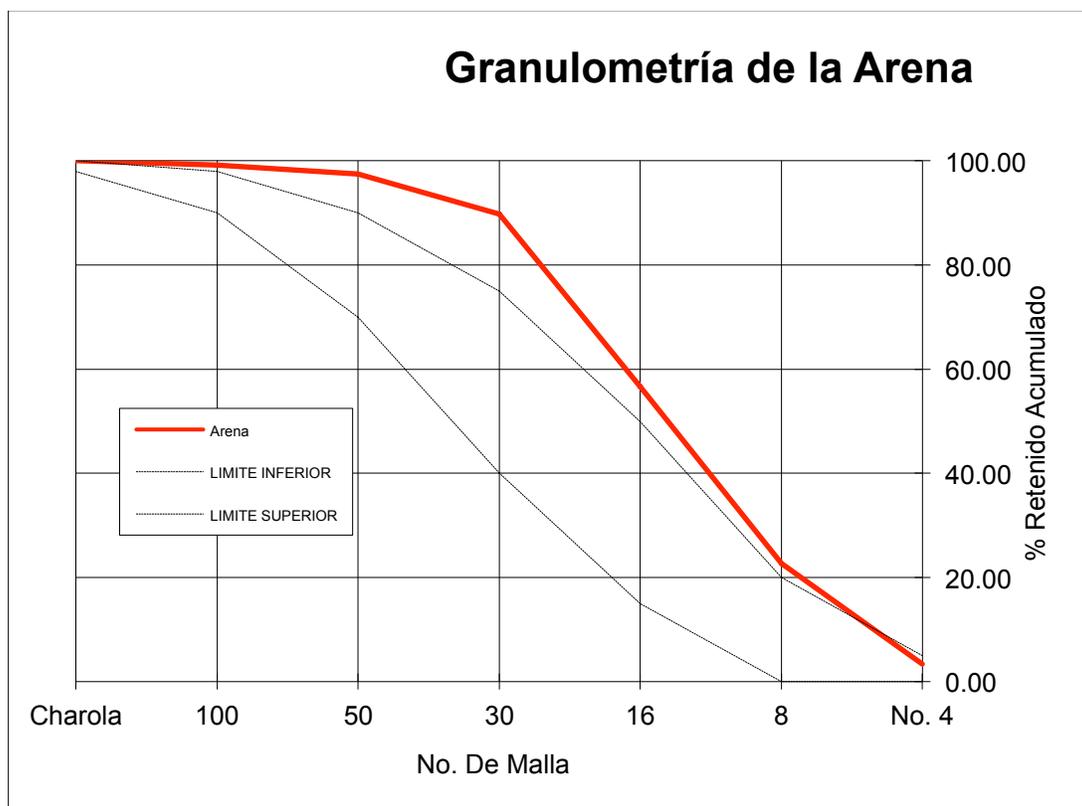


Figura 3.3 Gráfica granulométrica de la arena.

En la gráfica se puede observar cómo la curva de la arena está sobre el nivel superior, lo cual confirma que la arena utilizada en el estudio se clasifica como una arena gruesa.

PARA AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo (TM)

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

El agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de concreto.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado. La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

Para el presente trabajo se utilizó un agregado grueso (sello triturado) con un tamaño de $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm).



Figura 3.4 Tamices de muestreo



Figura 3.5 Granulometría de la arena de arroyo.



Figura 3.6 Granulometría del sello triturado

3.4.2 Densidad

En el caso de este estudio se realizaron 2 pruebas diferentes para obtener la densidad de la arena y el sello triturado, ya que, son diferentes tipos de suelo y cada uno tiene su prueba en el laboratorio. Para la arena se realizó la prueba del Frasco de Le Chatelier, la cual consiste en un recipiente de vidrio que se llena con agua destilada hasta la marca de enrase y después introducimos el sólido a trabajar, en este caso la arena. Para realizar estos pasos primero se pesó previamente el sólido y el picnómetro con el agua destilada, al obtener estos valores se introduce el sólido dentro del picnómetro y se vuelve a enrasar para pesarse de nuevo, la diferencia de valores es conocido como el agua desalojada.

Para obtener la densidad de la arena se utilizó la siguiente fórmula, $\rho = \frac{M}{V}$, donde:

M: representa el peso de la arena superficialmente seca.

V: el volumen desalojado de agua

NOTA: Al obtener la densidad se divide entre la densidad del agua que es $\rho_0 = 1000 \frac{kg}{m^3}$, para poder obtener la densidad relativa que es adimensional.

Datos y cálculos

Densidad de los agregados

Arena de arroyo

Wtara = 48.7 grs = 0.0487 kg

Wtara + arena superficialmente seca = 112 grs = 0.112 kg

Warena superficialmente seca = 0.0633 kg

Prueba del Frasco de Le Chatelier

Volumen desalojado = 23 cm³ = 0.000023 m³

$$P = \frac{m}{v}, \quad \rho = \frac{0.0633 \text{ kg}}{0.000023 \text{ m}^3} = 2752.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad \rho_r = \frac{2752.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \underline{\underline{2.75}}$$

En el caso del sello triturado se realizó la prueba del picnómetro tipo sifón 15 cm de diámetro x 30 cm de altura el cual se llena de agua hasta el enrase para posteriormente introducir el material, en este caso el sello triturado, y por medio del sifón empezar a desalojar el agua para obtener el volumen desalojado, para realizar esta prueba se pesa previamente la muestra del sello triturado a tratar y también el picnómetro, el agua desalojada cae en un matraz graduado para medir el volumen.

Sello triturado

Wtara = 479.8 grs = 0.4798 kg

Wsello superficialmente seco = 708.4 grs = 0.7084 kg

Prueba del Picnómetro

Volumen desalojado = 265 cm³ = 0.000265 m³

$$P = \frac{m}{v}, \quad \rho = \frac{0.7084 \text{ kg}}{0.000265 \text{ m}^3} = 2673.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \rho_r = \frac{\rho}{\rho_o}, \quad \rho_r = \frac{2673.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \underline{\underline{2.67}}$$



Figura 3.7 Picnómetro tipo sifón, utilizado para la prueba de densidad.

3.4.3 Peso volumétrico

Para realizar la prueba de Peso Volumétrico en el laboratorio se utilizó la prueba de peso volumétrico varillado, utilizando un recipiente cilíndrico metálico, este mismo se llena de arena hasta quedar enrasado para poder empezar a varillar dentro del recipiente con una varilla, se dan aproximadamente de 20 a 25 golpes para poder compactar lo más posible el material y se vuelve a enrasar, para realizar estos pasos se pesó previamente el recipiente cilíndrico y se tomaron sus medidas de altura, diámetro, área y volumen. Después del último enrase se pesa el recipiente con la arena ya compactada y a este resultado se le resta el peso del recipiente vacío para poder obtener el peso de la arena, por último con la fórmula de peso volumétrico $\gamma = w/v$, donde, γ = peso volumétrico, w = peso de la arena, y v = volumen del molde, obtenemos el resultado final.

A continuación se muestran los datos obtenidos en el laboratorio correspondientes a la prueba de Peso Volumétrico.

Peso Volumétrico de los Agregados

Peso Volumétrico varillado de la Arena de Arroyo

Diámetro : 0.1477 m

Altura : 0.175 m

Área : 0.017133 m²

Volumen Molde : 0.002998 m³

Wmolde : 1.068 kg

Warena+molde : 6.078 kg

Warena : 5.01 kg

Peso Volumétrico : $\gamma = w/v =$ **1670.89** kg/m³

El peso volumétrico obtenido para la arena de arroyo utilizada en la fabricación de las probetas da un total de **1670.89 kg/m³**.

Para el caso del sello triturado utilizado en la fabricación de las probetas se utilizó el mismo procedimiento realizado para el de la arena y a continuación se muestra los datos obtenidos en el laboratorio.

Peso Volumétrico varillado del sello triturado 1/4"

Diámetro : 0.1477 m

Altura : 0.175 m

Área : 0.017133 m²

Volumen Molde : 0.002998 m³

Wmolde : 1.068 kg

Wsello+molde : 5.955 kg

Wsello : 4.887 kg

Peso Volumétrico : $\gamma = \text{Peso/Vol}$ **1629.87** kg/m³

El peso volumétrico obtenido para el sello triturado $\frac{1}{4}$ dio un total de: **1629.89 kg/m³**.



Figura 3.8 Recipiente cilíndrico utilizado para la prueba de peso volumétrico.

3.4.4 Absorción

Al llevarse a cabo las pruebas de absorción en los agregados utilizados para la fabricación de las probetas de mortero fueron procedimientos un poco diferentes ya que, son diferentes tipos de suelo. (Arena y Sello triturado).

En el caso del sello triturado se obtuvo una muestra y se pesó, también se obtuvo el peso de una tara de porcelana donde se colocó la muestra y se sumergió en agua 24 horas, al terminar este periodo se retiró del agua la muestra y se secó superficialmente con un lienzo absorbente, esta muestra se pesó junto con la tara de porcelana, y se obtuvo el peso del sello superficialmente seco junto con la tara

de porcelana, esta misma tara con la muestra dentro se metió al horno a una temperatura de 100°C aproximadamente y se dejó secar 24 horas. Se volvió a pesar una vez más y se obtuvo la diferencia entre el peso seco de la muestra con la tara menos el peso de la tara pesada previamente. Con la fórmula se obtiene el porcentaje de absorción del agregado.

Para el caso de la arena de arroyo, el proceso para obtener el porcentaje fue un poco diferente en el momento de secar superficialmente la muestra. Se obtuvo una muestra de la arena y se pesó junto con una tara de porcelana en la que después se llenó de agua para sumergir la muestra, se dejó reposar un día la muestra sumergida, al siguiente día o después de 24 horas, luego de que la muestra fue totalmente saturada por un día, se cogió la mitad de la muestra saturada (agregado) y se procedió a secarla con la ayuda de una estufa hasta que el agregado quedó superficialmente seco. Una vez calentado el agregado, realizamos un pequeño ensayo del conito de absorción, introducimos la muestra en el molde cónico, luego se apisonó unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1cm. Todo esto para corroborar si el material se encontraba superficialmente seco. Posteriormente se niveló y si al quitar el molde la muestra se dejaba caer a lo mucho 1/3 de la muestra, es porque había alcanzado la condición requerida y no existía humedad libre, de lo contrario se continuaría secando y se repetiría el proceso hasta que se cumpliera con la condición.

Tabla de datos en la prueba de absorción para la arena de arroyo

% Absorción en los agregados	
% Absorción en Arena de Arroyo	
Wtara porcelana :	48.70 Grs
Wtara+arena sup. Seco :	127.1 Grs
Warena seco+tara :	126.18 Grs
Warena sup. Seco :	78.40
Warena seco :	77.48
% Absorción :	$((W_h - W_s)/W_s)*100$
% Absorción :	1.187 %
Donde :	W _h = Peso de arena superficialmente seca
	W _s = Peso de la arena seco en la estufa

Tabla de datos en la prueba de absorción para el sello triturado

% Absorción en los agregados	
% Absorción en Sello Triturado 1/4"	
Wtara porcelana :	64.10 grs
Wtara+sello sup. Seco :	202.25 grs
Wsello seco+tara :	200.4 grs
Wsello sup. Seco :	138.15
Wsello seco :	136.30
% Absorción :	$((W_h - W_s)/W_s)*100$
% Absorción :	1.357 %
Donde :	W _h = Peso del sello superficialmente seco
	W _s = Peso del sello seco al horno (24hrs.)



Figura 3.9 Ensayo del cono de absorción.



Figura 3.10 Muestra de la arena sin humedad libre después de usar el cono de absorción

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos, los cuales llevan a la selección de las probetas más adecuadas en cuanto a porcentajes de agregados utilizados (ceniza volcánica) y resistencia obtenida. Los resultados a las pruebas de compresión simple son presentados en tablas, así como también en gráficas.

Las gráficas y resultados presentados en este capítulo nos ayudaron a poder identificar las mezclas más apropiadas u óptimas para su empleo dentro de la empresa Materiales Acosta, en donde se busca adoptar la mezcla óptima que ayude a un ahorro de materiales y/o agregados en la fabricación de bloques.

De las primeras pruebas se puede observar en la tabla de diseño de mezclas que se trabajó con 150, 160, 170 y 175 kg de cemento por m³ en las combinaciones de cemento, y éstas se combinaron con 0, 5, 10 y 15 % de puzolana en cada una de las cantidades de cemento, y como se había previsto, entre más cantidad de cemento agregado, mayor resistencia a la compresión, mas sin embargo, después de las primeras pruebas realizadas, al elaborar la gráfica de las resistencias contra

los porcentajes de puzolana aplicados se observó que en la combinación de puzolana de 5 % contra 160 kg de cemento era la que llevaba mejor tendencia a crecer, entonces se optó por realizar un segundo juego de pruebas con esta combinación para comprobar los resultados de la gráfica mencionada.

Tabla 4.1 Diseño de mezclas y resultados obtenidos.

	Arena de Arroyo	Sello Triturado 1/4"	Agua	Cemento	% Puzolana	Puzolana	Peso Esp.	Lado A	Lado B	Altura	Pmax	Pmax	Res. Comp.	P. Vol.	Relación	Prom. P. Vol.	Prom. Res. Comp.	Edad
Probeta No.	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[Kg]	[cm]	[cm]	[cm]	[Lbs]	[Kg]	[Kg/cm2]	[Kg/m3]	A/C	[Kg/m3]	[Kg/cm2]	[Días]
1A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	0	0	1.33	6.97	6.99	9.62	3710	1684.34	34.57	2838				
1B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	0	0	1.35	7.13	7.26	9.41	2990	1357.46	26.22	2772				
1C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	0	0	1.32	6.91	7.12	9.42	3000	1362.00	27.68	2848	1.10	2819	29.49	39
2A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	5	0.0067	1.30	6.82	7.12	9.51	3910	1775.14	36.56	2815				
2B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	5	0.0067	1.30	7.00	7.00	9.31	3710	1684.34	34.37	2850				
2C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	5	0.0067	1.38	7.32	7.24	9.51	3630	1648.02	31.10	2738	1.10	2801	34.01	34
3A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	10	0.0134	1.32	7.00	7.00	9.64	4170	1893.18	38.64	2794				
3B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	10	0.0134	1.27	6.85	6.90	9.40	4090	1856.86	39.29	2858				
3C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	10	0.0134	1.35	7.06	7.10	9.51	4015	1822.81	36.36	2832	1.10	2828	38.10	34
4A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	15	0.0201	1.32	7.06	7.00	9.50	3845	1745.63	35.32	2812				
4B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	15	0.0201	1.31	6.96	6.91	9.50	5020	2279.08	47.39	2867				
4C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1337	15	0.0201	1.35	7.16	6.95	9.60	4000	1816.00	36.49	2826	1.10	2835	39.73	34
5A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	0	0	1.34	7.10	7.04	9.50	4390	1993.06	39.87	2822				
5B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	0	0	1.31	6.90	6.90	9.45	3890	1766.06	37.09	2912				
5C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	0	0	1.27	6.84	6.90	9.40	3240	1470.96	31.17	2863	1.03	2865	36.05	39
6A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	5	0.0071	1.35	7.10	6.93	9.50	5475	2485.65	50.52	2888				
6B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	5	0.0071	1.37	6.82	7.05	9.41	4420	2006.68	41.74	3028				
6C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	5	0.0071	1.35	6.80	6.90	9.50	4815	2186.01	46.59	3029	1.03	2982	46.28	33
7A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	10	0.0143	1.32	6.85	6.90	9.40	5115	2322.21	49.13	2971				
7B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	10	0.0143	1.36	6.90	6.93	9.45	4180	1897.72	39.69	3010				
7C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	10	0.0143	1.34	7.00	6.90	9.41	4940	2242.76	46.43	2948	1.03	2976	45.08	33
8A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	15	0.0214	1.38	7.10	7.10	9.50	4935	2240.49	44.45	2882				
8B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	15	0.0214	1.34	6.90	6.85	9.40	3905	1772.87	37.51	3016				
8C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1426	15	0.0214	1.32	6.80	7.00	9.60	4630	2102.02	44.16	2889	1.03	2929	42.04	33
9A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	0	0	1.30	6.90	6.93	9.33	5560	2524.24	52.79	2914				
9B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	0	0	1.31	6.90	6.80	9.44	4660	2115.64	45.09	2958				

Tabla 4.1... Continuación.

	Arena de Arroyo	Sello Triturado 1/4"	Agua	Cemento	% Puzolana	Puzolana	Peso Esp.	Lado A	Lado B	Altura	Pmax	Pmax	Res. Comp.	P. Vol.	Relación	Prom. P. Vol.	Prom. Res. Comp.	Edad
Probeta No.	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[Kg]	[cm]	[cm]	[cm]	[Lbs]	[Kg]	[Kg/cm2]	[Kg/m3]	A/C	[Kg/m3]	[Kg/cm2]	[Días]
9C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	0	0	1.34	6.84	7.05	9.64	4205	1909.07	39.59	2883	0.97	2918	45.82	39
10A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	5	0.0076	1.41	7.20	7.30	9.50	6150	2792.10	53.12	2824				
10B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	5	0.0076	1.34	6.96	6.85	9.45	4575	2077.05	43.57	2974				
10C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	5	0.0076	1.35	6.94	6.92	9.50	4145	1881.83	39.18	2959	0.97	2919	45.29	33
11A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	10	0.0152	1.34	6.92	6.90	9.33	4630	2102.02	44.02	3008				
11B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	10	0.0152	1.36	7.20	6.90	9.42	4595	2086.13	41.99	2906				
11C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	10	0.0152	1.36	6.90	7.10	9.45	4560	2070.24	42.26	2938	0.97	2951	42.76	33
12A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	15	0.0227	1.35	6.87	6.96	9.40	4760	2161.04	45.20	3004				
12B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	15	0.0227	1.34	7.00	6.94	9.40	4960	2251.84	46.35	2934				
12C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1515	15	0.0227	1.37	7.00	6.90	9.64	4020	1825.08	37.79	2942	0.97	2960	43.11	32
13A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	0	0	1.31	6.93	6.90	9.36	5150	2338.10	48.90	2927				
13B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	0	0	1.25	6.84	6.80	9.30	4400	1997.60	42.95	2890				
13C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	0	0	1.35	7.00	6.90	9.66	4310	1956.74	40.51	2893	0.94	2903	44.12	38
14A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	5	0.0078	1.34	6.80	7.00	9.50	4485	2036.19	42.78	2963				
14B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	5	0.0078	1.31	6.85	6.90	9.40	3930	1784.22	37.75	2949				
14C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	5	0.0078	1.34	6.90	6.80	9.50	3930	1784.22	38.03	3006	0.94	2973	39.52	32
15A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	10	0.0156	1.36	7.00	7.04	9.40	5165	2344.91	47.58	2936				
15B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	10	0.0156	1.37	7.10	6.90	9.56	5045	2290.43	46.75	2925				
15C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	10	0.0156	1.38	7.20	6.90	9.50	4645	2108.83	42.45	2924	0.94	2928	45.59	32
16A	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	15	0.0234	1.35	6.90	6.90	9.40	6005	2726.27	57.26	3017				
16B	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	15	0.0234	1.40	7.10	7.40	9.40	6615	3003.21	57.16	2835				
16C	1.4736	0.4791	0.1470	0.1560	15	0.0234	1.33	7.00	6.90	9.53	3875	1759.25	36.42	2889	0.94	2914	57.21	32

La tabla anteriormente presentada se fue obteniendo conforme se iba realizando el trabajo y en ella se pueden apreciar las cantidades utilizadas de cada uno de los agregados para la fabricación de las probetas, también los porcentajes utilizados de puzolana. Se puede observar que se fabricaron un total 48 probetas con un total de 16 variaciones, cada variación fue fabricada 3 veces con el propósito de obtener resultados más exactos al momento de promediar los valores en sus pesos volumétricos y resistencias a compresión, esto también sirvió para la mejor obtención de gráficas. Para las variaciones, lo único que se manejó como variable fue el cemento y la puzolana. Se manejaron 4 distintas cantidades de cemento en las probetas. De cada una de esas cantidades de cemento se manejó 0, 5, 10 y 15 % de puzolana, esto con el propósito de obtener la relación más adecuada o la que arrojará mejor resistencia a la hora de su ensaye a compresión. Las medidas presentadas de las probetas se tomaron después de haber estado sumergidas en el agua, cada una de ellas fue llevada a ensaye de compresión, todas estuvieron al menos sumergidas 28 días para alcanzar su “máxima resistencia” de acuerdo al manual de la Comisión Federal de Electricidad, Tecnología del concreto.



Figura 4.1 Ensaye de esfuerzo a compresión

4.1 Gráficas por familias

A continuación se presentan las gráficas por familias obtenidas de la tabla 4. , en donde se puede observar que la combinación de puzolana con cemento, 5 % - 160 kg respectivamente fue la más adecuada y con mejor tendencia a crecer.

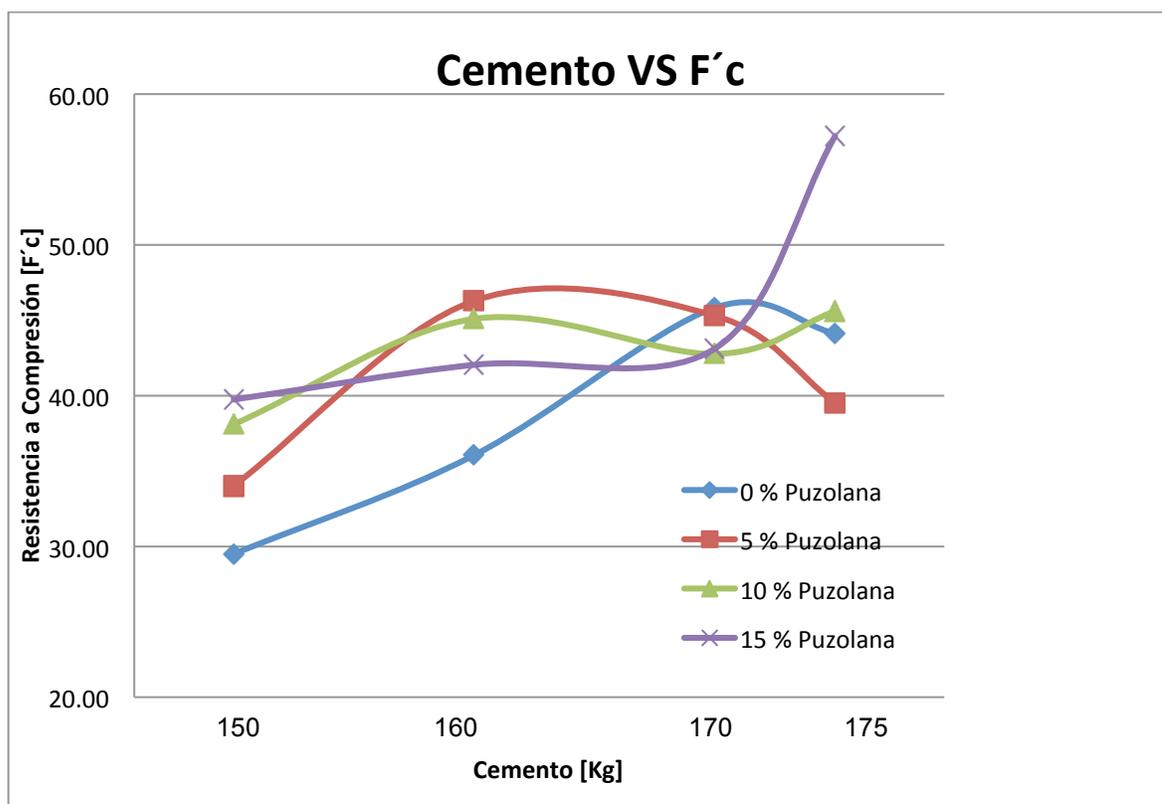


Figura 4.2 Cantidades de cemento en kg utilizadas contra la resistencia en kg/cm² en cada uno de los porcentajes de puzolana.

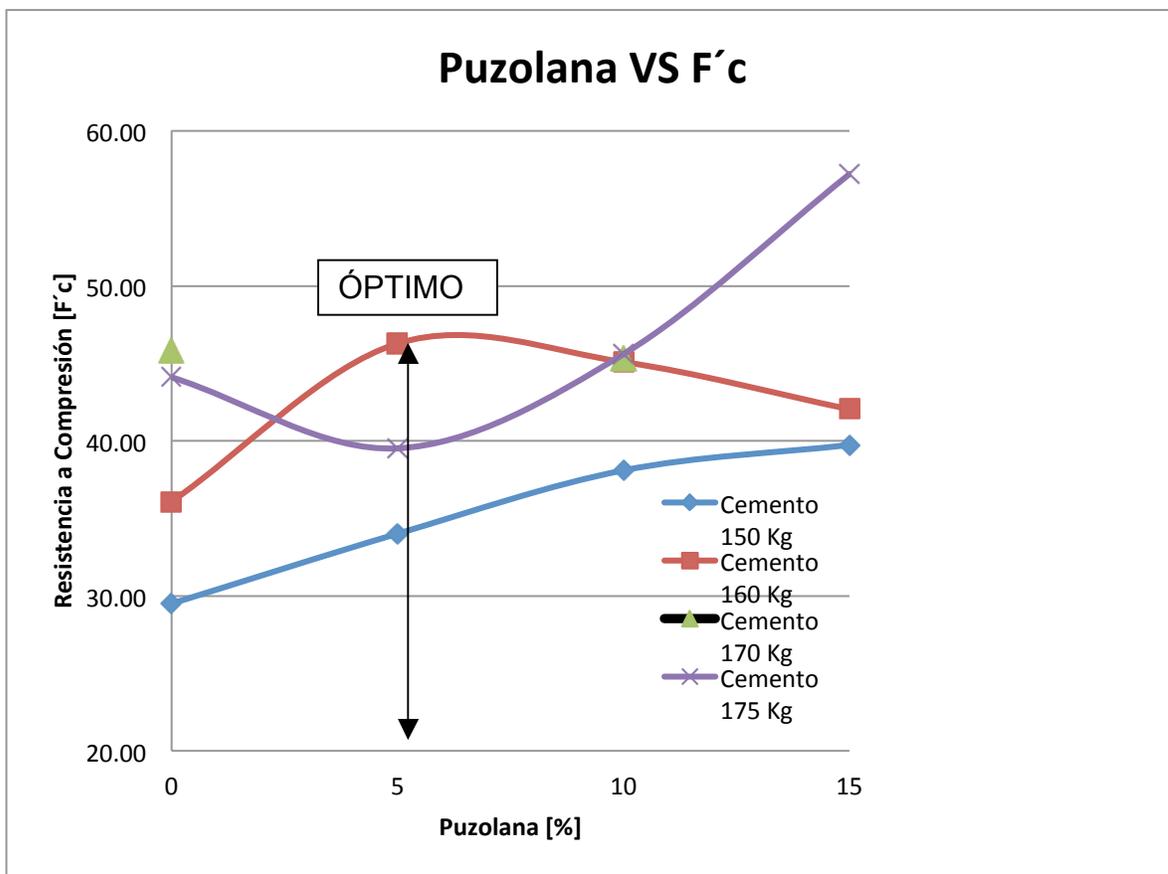


Figura 4.3 % de puzolana utilizado contra la resistencia obtenida de las probetas con las cantidades de cemento utilizadas por m^3 .

Al haber terminado los ensayos a compresión y elaborado las gráficas por familias, se escogió la mejor combinación de % de puzolana contra $f'c$ (resistencia a compresión), y de esta combinación se realizó un segundo juego de probetas, la diferencia en estos ensayos fue a la hora de llevarlas a la falla, ya que éstas se realizaron a 7, 14, 21 y 28 días para ir observando la variación de resistencias. De estas últimas probetas se realizaron 12 especímenes para poder llevar a ensaye 3 de ellos cada día de prueba y de este modo poder obtener un promedio de las resistencias obtenidas cada día para una respuesta mejor respaldada y una gráfica mejor ajustada.

4.2 Pruebas finales

A continuación se presenta la tabla de los ensayos a compresión simple de las últimas pruebas realizadas con sus respectivas resistencias representadas en Libras fuerza (Lbf), que son las unidades que maneja la máquina de ensayos a compresión simple, se convirtieron a Kilogramos fuerza (kgf) utilizando una simple regla de 3 tomando en cuenta $1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$ y dividimos entre el área de la cara superior de las probetas, para obtener unidades que se manejan en México y estar más familiarizados con las respuestas.

Tabla 4.2 Resultados de los ensayos finales.

No. Probeta	Ensaye	Pmax (Lbf)	Pmax(Kgf)	Ancho "a" (cm)	Ancho "b" (cm)	Áreas (cm ²)	Resistencia a Compresión Kg/cm ²	Promedios (kg/cm ²)
1	7 días	1825	828.55	7.4	7.7	56.98	14.54	15.11
2		1830	830.82	7.8	7.9	61.62	13.48	
3		2145	973.83	7.5	7.5	56.25	17.31	
4	14 días	2205	1001.07	7.4	7.4	54.76	18.28	18.83
5		2270	1030.58	7.5	7.5	56.25	18.32	
6		2565	1164.51	7.7	7.6	58.52	19.90	
7	21 días	3595	1632.13	7.6	7.5	57	28.63	29.46
8		4080	1852.32	7.5	7.7	57.75	32.07	
9		3520	1598.08	7.7	7.5	57.75	27.67	
10	28 días	3955	1795.57	7.5	7.6	57	31.50	32.84
11		4185	1899.99	7.4	7.5	55.5	34.23	
12		4115	1868.21	7.6	7.5	57	32.78	

De la tabla anterior podemos deducir la máxima resistencia alcanzada en las probetas de mortero fabricadas que es de 32.84 kg/cm². La mayoría de los

fabricantes producen bloques con diferentes resistencias. Por lo general, todos los bloques macizos de concreto tienen una resistencia de 35.2 kg/cm², pero es posible que se necesite un bloque con una resistencia de 70.4 kg/cm² para reforzar muros de contención. Algunos distribuidores cuentan con bloques con resistencias incluso mayores a las antes mencionadas.

Aún así se puede observar que el mortero fabricado en este trabajo fue adquiriendo una mejor compresión al momento de agregarle la ceniza volcánica, lo que nos deja con una buena idea de la aplicación de Puzolana o ceniza volcánica a una mezcla de concreto.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En este último capítulo se presenta de manera breve una conclusión al presente trabajo en donde, en el capítulo IV, tabla 4.2, se pueden observar los resultados de las últimas probetas, ahí se puede corroborar en la columna de Resistencia a compresión, que la aplicación de ceniza volante o puzolana a las mezclas de mortero fabricadas tuvo un efecto positivo en su aplicación al realizar la prueba de compresión simple a las probetas realizadas con este mismo mortero, ya que, la resistencia alcanzada por las probetas va aumentando al ir aumentando también el tiempo de fraguado en cual fue de 7, 14, 21, y 28 días, tiempo que es suficiente para alcanzar la máxima resistencia en un concreto de acuerdo con el manual de Tecnología del Concreto, Comisión Federal de Electricidad, tomo I. Entonces puede tomarse en cuenta como un buen aditivo en la fabricación de morteros para la obtención de bloques ya que no afecta a ningún agregado o variable, al contrario, en los lugares donde se fabrica y maneja la venta de estos productos en

grandes cantidades puede resultar conveniente su uso y considerar un ahorro de cemento a largo plazo ya que este material es manejado en bajos costos.

- Se detectó la dosificación óptima de porcentaje de puzolana contra la resistencia en el primer juego de probetas realizado siendo ésta 5 % de puzolana contra 160 kg de cemento, donde en la figura 4.3 se puede apreciar el crecimiento más favorable al haber graficado los valores de esta combinación.

- Se comprobó que el uso de ceniza volante (puzolana) obtuvo resultados positivos al no afectar la resistencia de las probetas obtenidas. (Ver tabla 4.2, resultados de los ensayos finales).

- Se compararon los resultados de resistencia a la compresión desde los primeros días de vida de las probetas al llevar a la falla a los 7, 14, 21, y 28 días, en cada día de prueba 3 probetas, las cuales arrojaron resultados favorables al uso de este aditivo (puzolana), ya que, en los promedios de las resistencias de estas probetas se observa que va en forma creciente donde el más bajo, a los 7 días, alcanzó apenas un promedio de 15.11 kg/cm², y el promedio más alto a los 28 días alcanzó un promedio de 32.84 kg/cm² para este mortero fabricado.

- La incorporación de puzolana incrementó un 27 % la resistencia del mortero fabricado.

5.2 Recomendaciones

La recomendación para el estudio realizado es poder seguir pensando en la posibilidad de agregarle o incorporarle algún aditivo a los morteros y/o concretos fabricados actualmente, ya que en este trabajo se observó la influencia positiva de la utilización de un aditivo en este caso: Puzolana.

También se puede considerar la continuación de este estudio con el propósito de poder conocer mejor el comportamiento de la puzolana como agregado a mediano o largo plazo y determinar mejor su eficiencia, por otro lado también llegar a

conocer la dosificación perfecta a manejar de este aditivo cuando se considere su incorporación en una mezcla de mortero.

BIBLIOGRAFÍA

- Manual de tecnología del concreto, tomo 1 y 2 , Comisión Federal de Electricidad (CFE)
- Libro Tecnología del Concreto, Neville Adam M, tomo 1
- Manual de Laboratorio de Suelos I, Instituto Tecnológico de Sonora, plan 2002.
- Mecánica de suelos y cimentaciones, Sexta edición, Crespo Villalaz
- <http://www.elconstructorcivil.com/2010/12/la-absorcion-de-los-agregados.html>
- <http://www.cecytech.edu.mx/Pdf/manualblocks.pdf>
- <http://www.imcyc.com/revistact06/sept06/POSIBILIDADES.pdf>
- <http://es.scribd.com/doc/20869782/LA-ABSORCION-EN-LOS-AGREGADOS>
- <http://www.iccyc.com/pagecreator/paginas/userFiles/manualbloquesconcreto.pdf>
- http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/10/12.%20LA%20PUZOLANA.pdf
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Puzolana>
- Libro Hormigón de Manuel Fernández Cánovas
- Editorial: Colegio De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos
Número de Edición: 8ª
Año de Edición: 2007
- <http://www.arquigrafico.com/tipos-de-aditivos-para-hormigon> Tipos de Aditivos para el hormigón]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Aditivos_para_hormig%C3%B3n
- <http://es.scribd.com/doc/24876405/Fabricacion-bloques-de-cemento>

