



# UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

## **Ceniza de origen orgánico: su efecto sobre las propiedades físico-mecánicas de morteros de cemento**

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ BUCIO**

ASESOR

M.I. Cindy Lara Gómez

Morelia, Mich. Febrero 2012



## RESUMEN

El tema de la protección al medio ambiente en un aspecto que causa mucho ruido en la actualidad, debido a los cambios que visiblemente se nota en el medio ambiente. El aumento de la población conlleva a una mayor demanda necesidades y esto a su vez a la producción de una mayor cantidad de desechos. Es aquí donde se hace presente el fin de la siguiente tesis, como su nombre lo dice es el uso de cenizas de origen orgánico, la cenizas se producen de la quema de algún producto, sustituyendo parcialmente el cemento en la producción de morteros.

La producción de mortero es una mezcla de material cemento, material pétreo y agua que al mezclarse producen una especie de pasta denominada mortero. El empleo de cemento involucra una contaminación hacia el medio, sin embargo hasta el momento no existe otro material con las características de un cemento para materia de construcción, por lo que su producción es indispensable para la demanda de la población.

Ante esto nos encontramos entre dos productos los cuales son inevitables su proceso de elaboración o producción. Por lo que es muy interesante como aprovechar estos dos productos que de alguna manera provocas emisiones de gases perjudiciales en primer plano para las personas y en segundo para la atmosfera.

## DEDICATORIA

A mi madre **MA. DOLORES BUCIO VELAZQUEZ** mujer que merece toda mi admiración y cariño. Por sus cuidados, regaños, caricias, abrazos pero sobre todo porque siempre ah creído en mi.

MAMI TE AMO.

A mi padre **J. LUIS RODRIGUEZ MARÍN** hombre inteligente, tenaz, de carácter fuerte pero que sabe demostrar el cariño hacia las personas que quiere. Persona admirable, gran Ingeniero Civil. Colega,

PA TE AMO.

A mi hermana **MA. GUADALUPE RODRIGUEZ BUCIO** hermana, compañera y amiga que ha compartido a lado mio risas, travesuras, peleas, alegrías.

PITA TE AMO.

*Sólo una cosa vuelve un sueño imposible: el miedo a fracasar.*  
*(Paulo Coelho)*



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



## Contenido

OBJETIVO .....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. CEMENTO .....	10
2.1. Historia del cemento en México .....	10
2.2. Producción del Cemento. ....	10
2.3 Tipos de cemento. ....	13
2.4. El Cemento en los últimos años. ....	17
3. PUZOLANAS .....	19
3.1. Uso de las puzolanas como aditivo al Cemento. ....	19
4. MORTERO.....	21
4.1. Fundamentos generales de un Mortero.....	21
4.2. Aglutinantes.....	24
4.3. Material Inerte.....	24
4.4. Clasificación de los Morteros.....	25
4.5. Tipos de mezclado.....	26
5. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	27
5.1. Prueba de velocidad de pulso ultrasónico. ....	31
5.1.1. Teoría de propagación de onda. ....	33
5.1.2. INSTRUMENTO DE PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO.....	36
5.1.3. EL MÉTODO DE VELOCIDAD DE PULSO.....	37
5.1.4. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE PULSO. ....	43
6. TECNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....	45



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



6.1. Difracción de Rayos X. ....	45
7. MATERIALES UTILIZADOS COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DEL MORTERO. ....	45
7.1 Ceniza de Carbón Vegetal (CCV). ....	46
7.2. Ceniza de Bagazo de Caña (CBC). ....	50
8. DESARROLLO EXPERIMENTAL. ....	54
8.1. Cemento. ....	54
8.2. Material Inerte. ....	54
8.3. Agua ....	55
8.4 Elaboración de la Mezcla. ....	55
8.5. El aditivo. ....	61
8.6. Elaboración de losas de concreto para realización de pruebas de adherencia. ....	64
8.7 ELABORACIÓN DE CUBOS ....	66
8.8. Elaboración de cilindros. ....	69
8.9. Elaboración de prismas ....	72
8.10. Elaboración de briquetas. ....	74
8.11. Elaboración de mezclas para la realización de pruebas de adherencia. ....	76
9. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS. ....	77
9.1. Resistividad Eléctrica. ....	77
9.2.. Velocidad de pulso ultrasónico. ....	80
10. PRUEBAS DESTRUCTIVAS. ....	83
10.1. Pruebas destructivas realizadas. ....	83



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



---

10.2. Determinación de la resistencia a la compresión simple de cubos de mortero.....	83
10.3. Determinación de la resistencia a la flexión.....	86
10.4. Determinación de la resistencia a la tensión. ....	88
11. PRUEBAS DE ADHERENCIA. ....	90
12. RESULTADOS.....	92
12.1. Compresión. ....	92
12.2. Flexión. ....	93
13. CONCLUSIÓN. ....	96
14. BIBLIOGRAFÍA.....	97



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### OBJETIVO

La producción de cementos inorgánicos y orgánicos hace elevar el consumo de derivados del petróleo y de combustibles fósiles, por la emisión de gases altamente nocivos para la capa de ozono, tales como los de tipo NOx, CO2, fluorinados, y dioxinas entre otros. Por ello, la sustitución, así sea parcial del cemento y de los plásticos por otros materiales, y mejor aún si estos son a su vez desechos o subproductos agroindustriales, es una opción altamente atractiva para reducir sensiblemente el problema, y en consecuencia propiciar un ahorro energético y una menor afectación al ambiente.

A lo citado anteriormente, el fin del presente trabajo es la disminución del uso del cemento mediante la sustitución parcial de cemento adicionando desde un 5% hasta 30% residuos agroindustriales como; ceniza de carbón vegetal (CCV) y ceniza de bagazo de caña (CBC) y con esto lograr un mortero con características físico-mecánicas similares o superiores a las de un mortero de albañilería convencional (cemento-arena-agua).





# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



## 1. INTRODUCCIÓN

Hace 5.000 años aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indígenas. De la misma manera los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales que hasta el día hoy se muestran erguidas y causan gran asombro a la humanidad.

Por otra parte los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales volcánicos (cenizas), mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Estas cenizas las encontraron en un lugar llamado Puteoli conocido hoy como Pozzuoli, de aquí que a este cemento se le llamase «cemento de puzolana».

Hasta el siglo XVIII sólo se utilizan los morteros de cal, yesos y materiales puzolánicos. Hacia 1750-1800 se investigan mezclas calcinadas de arcilla y caliza. En el siglo XIX, Vicat realizó una serie de investigaciones que describían el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla, y propuso en 1818 el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad. Vicat encaminó la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. Este sistema es de vía húmeda y orientó el inicio del actual proceso de fabricación (IECA).

En 1824, James Parker y Joseph Aspdin patentan el Cemento Portland



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



dándole este nombre por motivos comerciales, en razón de su color y dureza que recuerdan a las piedras de Portland, materia que obtuvieron de la calcinación a alta temperatura de una Caliza Arcillosa. Y es así como a finales del siglo XIX se perfecciona el proceso de fabricación que posteriormente desencadenó la fabricación de los actuales cementos Portland, material íntimamente ligado a la producción de los morteros de hoy.

## 2. CEMENTO

### 2.1. *Historia del cemento en México.*

En México a principios del siglo XX fue cuando se empezó consumir el cemento importado de Inglaterra y para 1906 se constituyó la primera Compañía de Cementos Portland, en Toluca estado de Hidalgo, cuyo primer horno comenzó a trabajar en 1909. La revolución mexicana de 1920 y la crisis mundial de 1929 fueron factores determinantes que retrasaron el desarrollo de la industria cementera mexicana; sin embargo, Desde principios del siglo XX el uso del cemento se ha popularizado hasta convertirse en un producto estratégico para el crecimiento económico. En México las primeras fábricas iniciaron a principios del siglo XX. Actualmente México tiene la tercera empresa más importante del mundo en la producción de cemento, a pesar de ser el décimo productor mundial (Pacífica, 2008).

### 2.2. *Producción del Cemento.*

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



con agua se hidrata y solidifica progresivamente.

El proceso de fabricación del cemento Figura 2.1, comprende cuatro etapas principales :

- ❖ Extracción y molienda de la materia prima.
- ❖ Homogeneización de la materia prima.
- ❖ Producción del Clinker.
- ❖ Molienda de cemento.

La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

La etapa de homogeneización es por vía seca, donde la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. Anteriormente el proceso podía ser por vía húmeda y seca, pero en la actualidad es utilizado únicamente el proceso por vía seca. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el Clinker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



El Clinker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

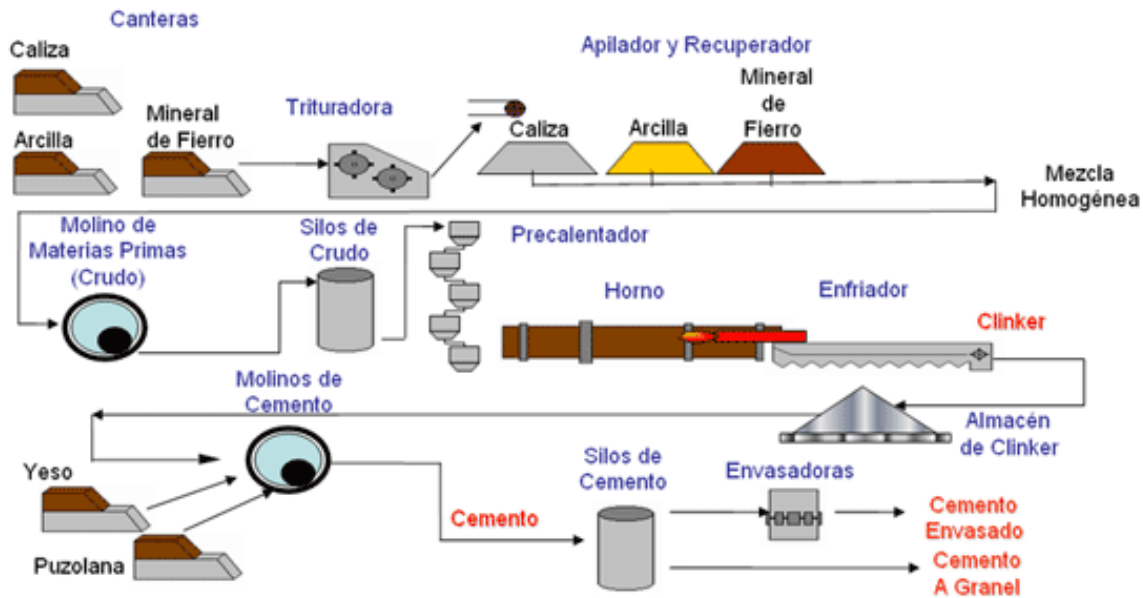


Figura 2.1 Proceso de elaboración del Cemento.

Un aspecto importante a considerar una vez almacenado el cemento en sacos, es que deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias (Wikipedia).

### *2.3 Tipos de cemento.*

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

- ❖ de origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente;
- ❖ de origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

La clasificación de los tipos de cemento esta proporcionada por la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999, la cual establece lo siguiente (CANACEM):



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



De acuerdo a su composición Tabla 2.1, estos pueden ser:

**Tabla 2.1 Denominación del Cemento por su composición.**

TIPO	DENOMINACIÓN
<b>CPO</b>	Cemento Portland Ordinario
<b>CPP</b>	Cemento Portland Puzolánico
<b>TPEG</b>	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
<b>CPC</b>	Cemento Portland Compuesto
<b>CPS</b>	Cemento Portland con humo de Sílice
<b>CEG</b>	Cemento con Escoria Granulada de alto horno



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



De acuerdo a sus características especiales Tabla 2.2, éstos pueden ser:

**Tabla 2.2 Denominación del Cemento por sus características especiales.**

<b>NOMENCLATURA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS</b>
<b>R</b>	Alta resistencia Inicial
<b>RS</b>	Resistente a los sulfatos
<b>BRA</b>	Baja reactividad álcalina agregado
<b>BCH</b>	Bajo calor de hidratación
<b>B</b>	Blanco

De acuerdo a su resistencia estos pueden:

La resistencia normal de un cemento es la resistencia mínima mecánica a la



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



compresión a los 28 días y se indica como 20, 30 ó 40 Mega Pascales (MPa).

En un de cemento, la clasificación del cemento estará integrada por lo siguiente:

### **Composición + Resistencia + Característica especial**

Ejemplo:

Cemento CPO 40R

Esta clasificación indica que se trata de un cemento portland ordinario, con alta resistencia inicial.

Cemento TPEG 30 RS

Esta clasificación indica un cemento con adición de escoria, con una resistencia normal y resistente a los sulfatos.

Cemento CPP 30 BRA / BCH

Esta clasificación indica un cemento portland puzolánico, con una





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



resistencia normal, de baja reactividad alcalina agregado y de bajo calor de hidratación.

### *2.4. El Cemento en los últimos años.*

El alto consumo de recursos naturales y energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes comprometen las posibilidades futuras de utilización de cemento como material de construcción.<sup>1</sup>

En la actualidad, la importancia del sector de la construcción en todos los países, desde el punto de vista económico y social, junto con la menor disponibilidad de los recursos naturales y artificiales necesarios, y su desarrollo sostenible, han provocado que desde hace varias décadas a esta parte, se haya tenido que aumentar, en cantidad y tipos, la incorporación de adiciones minerales naturales y/o artificiales al cemento Portland. Las interacciones que se generan entre dichas adiciones minerales tan diversas y el cemento Portland, sumadas al resto de variables químico-físicas que intervienen en cada caso, tanto en el momento de su fabricación y primeras edades, como en sus prestaciones futuras sobre todo, es decir, su durabilidad, constituye una materia de investigación muy extensa.

Todo ello, se ha visto además acelerado en la actualidad, al tratar de conseguir dos objetivos fundamentales: el primero, que queda circunscrito a la industria del cemento, y que es el de reducir los costos de producción mediante la sustitución parcial del cemento Portland por dichas adiciones, obteniendo así un

---

<sup>1</sup> Cachán, 2001



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



ahorro de energía, y el segundo, de carácter medioambiental y de efecto doble, por el que se consiguen fabricar las cantidades de cemento necesarias disminuyendo la fabricación de clínker Portland. Este proceso lleva asociado por tanto, la valorización material de diferentes residuos minerales de otros sectores industriales los cuales dejan de serlo para ganarse por este motivo el apelativo de subproductos. Por consiguiente, no es de extrañar que existan innumerables líneas de investigación encaminadas a la búsqueda, detección y consecución de nuevas adiciones minerales naturales y/o artificiales que puedan ser incorporadas al cemento Portland, si bien y en cualquier caso, las nuevas que se encuentren pertenecerán al grupo de las “activas” o al grupo de las “no activas” o mal llamadas “inertes”. Entre las “activas” se encuentran las adiciones puzolánicas y las adiciones siderúrgicas.

Para atenuar esta situación se trabaja en la disminución de su impacto ambiental, por dos vías; la de mejorar la eficiencia de los procesos de producción en planta, con el objeto de disminuir el consumo energético y la de disminuir el consumo de cemento en obra utilizando adiciones que sustituyan parcialmente este material por otros de menor impacto.

Las adiciones puzolánicas son aquellos materiales inorgánicos naturales o artificiales que, pese a carecer de actividad hidráulica y propiedades cementíceas, contienen no obstante constituyentes químicos que a temperatura ambiente y en presencia de agua, se combinan con cal apagada, cal grasa, cal hidráulica, o la portlandita procedente de la hidratación de los cementos Portland, para formar compuestos hidratados semejantes a los originados por el propio cemento Portland en su hidratación



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 3. PUZOLANAS

Como se menciona anteriormente las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento, desde la antigüedad Romana hasta la invención del cemento Portland en el siglo XIX.

La puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, que proviene de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, donde ya era explotada en tiempos 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 sustitutos.

La civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podían ofrecer.

#### *3.1. Uso de las puzolanas como aditivo al Cemento.*

Hoy en día, existen múltiples usos que pueden darse a la Puzolana, si bien de entre todos ellos destaca la fabricación de Cemento Portland Puzolánico.

En México la producción de Cemento Portland Puzolánico se encuentra bajo la normativa NMX-C-414-ONNCCE.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



porosa y puede obtenerse a bajo precio. Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

- ❖ 55-70% de Clinker Portland
- ❖ 30-45% de puzolana
- ❖ 2-4% de yeso

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 Portland. 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



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

Existen otros materiales que tienen actividad puzolánica en mayor o menor medida. Entre ellas se encuentran las escorias de fundiciones de acero, la microsílica o humo de sílice que se genera como producto secundario en la fundición de aleaciones de ferrosilicatos, metacaolines procedentes del tratamiento térmico del caolín, y las cenizas volantes procedentes de la combustión del carbón en plantas térmicas.

No obstante, estos sustitutos de la puzolana no presentan la misma superficie de reacción que las de origen natural, debido a que la puzolana de origen volcánico presenta una mayor cantidad de poros originados por los gases de la erupción, no presentando hoy por hoy unas propiedades igual de óptimas.

### 4. MORTERO.

#### 4.1. *Fundamentos generales de un Mortero.*

En construcción, se llama mortero a la combinación de aglomerantes<sup>2</sup> y aglomerados, para de esta manera obtener un conglomerante<sup>3</sup>. Los más comunes son los de cemento y están compuestos de:

---

<sup>2</sup> Los aglomerantes son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos; en los conglomerantes es mediante procesos químicos.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



**MORTERO = AGLUTINANTE + MATERIAL INERTE + LIQUIDO DE  
AMASADO**

(cemento) + (arena) + (agua)

Generalmente, se utilizan para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.

Los morteros de cemento Portland se elaboran con arena, agua y cemento Portland. Los morteros se han empleado tradicionalmente para pegar tabiques y en todo tipo de aplanados en muros y techos, sin embargo existen muchas otras aplicaciones en la ingeniería civil que tienen que ver con la necesidad de colocar un material de textura lo suficientemente fina para poder penetrar en pequeñas ranuras ya sea para sellar, resanar o nivelar con mucha mayor facilidad de lo que es posible de hacer con los concretos. Debido a que los morteros no llevan grava son más fáciles de manejar y se consume menos energía en su mezclado y colocación, ya sea manual o por medios mecánicos.

Como se ha mencionado, para hacer un mortero se requiere cemento, arena y agua, estos ingredientes básicos se manejan en proporciones adecuadas según las necesidades de fluidez y resistencia. Los parámetros

---

3 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. Los conglomerantes son utilizados como medio de ligazón, formando pastas llamadas morteros o argamasas

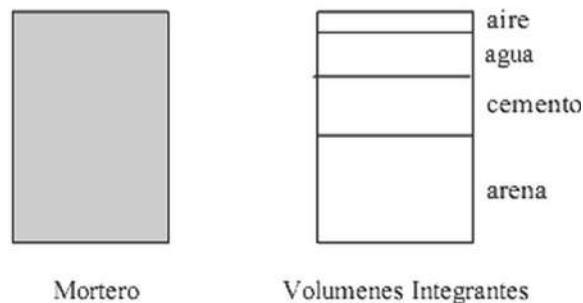


## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



anteriores pueden ser evaluados mediante pruebas, de manera que es relativamente sencillo controlar la calidad del mortero. Sin embargo en muchos trabajos el control se deja al albañil, el albañil controla de una manera empírica la calidad de la mezcla, casi siempre atendiendo exclusivamente a la facilidad de colocación del mortero y sin ninguna prueba extra. Esto es un grave error, pues origina una gran variabilidad en el material. Además, contrario a la creencia de que el costo de los morteros es bajo, debe considerarse que en ellos se consume más cemento por unidad de volumen de lo que se puede consumir en muchos concretos de uso común, ya que por el simple hecho de emplearse exclusivamente arena como agregado, es necesario consumir altos volúmenes de pasta (cemento + agua) para rodear las partículas, esto debido a la gran superficie específica que ofrecen las arenas.

Los principios básicos de comportamiento de los morteros se derivan de la estructura que presenta este material, todo mortero está formado por un volumen de pasta, un volumen de sólidos (arena), y un volumen de aire. La Figura 4.1 muestra dicha composición (INGTEKCH):





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 4.1 Composición de un Mortero

### 4.2. Aglutinantes.

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

### 4.3. 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 de basalto, también la arena de río o las calizas funcionan bien.

La arena al mezclarse con los aglomerantes constituye el soporte para el mortero y evita el resquebrajamiento que se produciría si se empleara el aglomerante solo, aparte de que su uso reduce a menos de un tercio el aglomerante. Las arenas estarán libres de sustancias que impidan la adherencia o influyan desfavorablemente en el proceso de endurecimiento como ácidos, grasas, restos vegetales y cantidades perjudiciales de arcilla y sales minerales. En morteros de cal y cemento sólo se podrá usar arena lavada. Las proporciones de mezcla están dadas para cada caso en particular, según el uso que se vaya a dar al mortero, y la clase de arena empleada en su preparación (ARQHYS).





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Las arenas de grano redondeado proporcionan un mortero más fácil de trabajar que las arenas trituradas (E.).

### *4.4. Clasificación de los Morteros.*

Los morteros se clasifican de acuerdo al tipo de fraguado o según su tipo de composición (Mendoza, Brito Benitez, & Arenas Alatorre, 2004).

#### Mortero físico.

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

#### Mortero químico.

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

#### Mortero aéreo.

Es aquel que fragua al contacto con el aire, como los morteros de arcilla,



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



yeso y cal hidratada.

Mortero hidráulico.

Tiene la propiedad de endurecer rápidamente, además tiene las propiedades de fraguar en contacto con el agua o en presencia de humedad como el yeso hidráulico, cal hidráulica, mortero comercial y de cemento.

Mortero bituminoso.

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

### *4.5. Tipos de mezclado.*

El proceso de mezclado y fabricación podrá ser por medios manuales, mecánicos en obra o premezclados (García Rivero, 2004):

Por medios manuales.

Solo se realizará de esa manera cuando lo permita la especificación del proyecto. Si es así, primeramente se mezclarán en seco la arena y el o los aglutinantes hasta alcanzar una mezcla homogénea la cual se distinguirá visualmente ya que su coloración se torna uniforme. Posteriormente se agrega el agua hasta lograr la consistencia deseada pero sin descuidar la dosificación respectiva (aproximadamente entre el 35% y 45% del volumen de agua en relación al volumen del agregado fino). La mezcla debe realizarse sobre un entarimado de madera o piso de concreto para evitar la contaminación de los materiales con el terreno natural. Si se realiza inevitablemente sobre el suelo,



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



debe cuidarse de no resolver fragmentos de éste con el mortero.

Por medios mecánicos.

En general, es deseable fabricar los morteros con este procedimiento cuando son elaborados en obra. Primeramente se introducen en la revolvedora todos los componentes de la mezcla en seco y se revuelven hasta homogeneizar la mezcla. Posteriormente, se agrega el agua en la proporción especificada y se continúa durante un minuto más.

Premezclado

Con este procedimiento de mezclado y de suministro se eliminan los riesgos normales de fabricación en obra.

### **5. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.**

Una definición general de prueba no destructiva es una revisión, prueba, o evaluación realizada en algún tipo de objeto sin cambiar o alterar dicho objeto en alguna forma, para determinar la ausencia o presencia de condiciones o discontinuidades que puedan tener un efecto en la utilidad del objeto. Las pruebas no destructivas también pueden realizarse para medir otras características de prueba del objeto como tamaño, dimensión, configuración, estructura, incluyendo contenido de aleación, dureza, tamaño de grano, etc. (Charles, 2001).

Los ensayos no-destructivos se basan en la medición de las propiedades de



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



los materiales, y en el caso de los métodos ultrasónicos lo que se busca es establecer relaciones entre los diferentes parámetros de las constantes de propagación y la existencia de posibles defectos en un material. Las propiedades que se miden son de diferente índole y van desde la ecogenicidad (capacidad de producir ecos) para formar imágenes hasta la determinación de constantes elásticas, a veces mediante el estudio de modos de propagación complejos. Las técnicas de inspección no destructiva tienen las siguientes limitaciones (Gaete, et al, 2001):

- ❖ En algunos casos se requiere una inversión inicial bastante alta, aunque se puede justificar si se analiza correctamente la relación costo-beneficio, especialmente en lo referente a tiempos muertos en las líneas productivas.
- ❖ La propiedad física a controlar es medida de forma indirecta y es evaluada cualitativamente o por comparación. Esto se puede evitar si se preparan patrones de referencia que permitan una calibración correcta de los sistemas de inspección.
- ❖ Una misma indicación puede ser interpretada y ponderada de forma diferente por dos o más inspectores en el caso en el que no existan procedimientos de inspección preparados y cualificados debidamente o no se cuente con patrones de calibración adecuados.
- ❖ Aunque las pruebas son fáciles de realizar, se requiere que el personal encargado de ello esté debidamente capacitado y calificado. Además deberá contar con la experiencia necesaria para interpretar y evaluar correctamente los resultados, evitando el



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



desperdicio de material o las pérdidas de tiempo.

Sin embargo, para el estudio de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, en las técnicas no destructivas se han tratado de introducir dos o más parámetros para mejorar la estimación de la resistencia del concreto, algunos incluso sugieren la predicción de la resistencia del concreto en base a datos de peso y de velocidad de pulso de los especímenes, mediante regresión múltiple y redes neuronales artificiales (Kewalramani, Gupta, 2005). Existe una relación entre la velocidad ultrasónica en el material y la resistencia del mismo, se han realizado estudios para determinar la resistencia del concreto mediante una técnica no destructiva llamada velocidad de pulso ultrasónico (VPU), en combinación con otra técnica no destructiva llamada relación de la amplitud relativa (RAR), obteniendo que las mediciones de velocidad de pulso tienen una buena correlación con la resistencia a la compresión del concreto con humo de sílice de donde obtienen resultados que indican que para concretos con resistencias grandes la sensibilidad de las mediciones para la velocidad de pulso decrece (Hamid, et al, 2009).

De igual forma en otros trabajos se ha investigado sobre la predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y a la calidad de los materiales, en dicha investigación el objetivo del estudio fue identificar variables adicionales a la velocidad que expliquen la varianza independiente en la resistencia (Solís, et al, 2004).

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868, cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



limpiaban y se esparcía con un polvo que revelará el aceite que había penetrado en las grietas. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (Charles, 2001).

Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las técnicas no destructivas una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual (Charles, 2001).

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNDT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre las técnicas no destructivas, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema estadounidense (Charles, 2001).

La entidad que reúne a todas las instituciones debidamente constituidas es el



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Comité Internacional de Ensayos No Destructivos (ICNDT, por sus siglas en inglés) con sede en Viena.

La globalización en los mercados mundiales ha marcado el desarrollo de los ensayos no destructivos, los cuales tienen ya un alcance en cada rincón del planeta, y actualmente existen sociedades de ensayos no destructivos en la mayoría de los países como por ejemplo, La Sociedad Argentina de Ensayos No Destructivos (AAENDE), El Instituto Australiano para Ensayos No Destructivos (AINDT), La Sociedad Austriaca de Ensayos No Destructivos (OGFZP), La Asociación Belga de Ensayos No Destructivos (BANT), La Sociedad Brasileña de Ensayos No Destructivos (ABENDE), La Sociedad Canadiense de Ensayos No destructivos (CSNDT), La Sociedad China para Ensayos No Destructivos (ChSNDT), El Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C. (IMENDE A.C.) (Charles, 2001).

### *5.1. Prueba de velocidad de pulso ultrasónico.*

En muchos países y por muchos años, se han realizado estudios de correlación con la intención de obtener modelos que permitan predecir la resistencia a la compresión uniaxial del concreto con base en la velocidad ultrasónica (Sturup, et al, 1984; Anderson and Seals, 1981; Hisham, 2000; Qindan et al, 2011). Como resultado de esto, se han obtenido múltiples modelos diferentes, debido principalmente al carácter compuesto del material y a la falta de controles rígidos en los procesos constructivos.

El método de velocidad de pulso ultrasónico ha sido usado exitosamente para evaluar la calidad del concreto por más de 60 años. Este método puede ser



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



usado para evaluar grietas internas y otros defectos como por ejemplo cambios en el concreto por deterioro debido a agresiones químicas del medio ambiente, así como por congelación y deshielo. Mediante el uso del método de la velocidad ultrasónica, también puede ser posible estimar la resistencia de especímenes de concreto y de concreto en obra. Este método utiliza ondas mecánicas que no ocasionan ningún daño al elemento de prueba. El espécimen de prueba puede ser probado varias veces en la misma localización, lo cual es útil para el monitoreo de concreto sometido a cambios estructurales internos por un largo periodo de tiempo (Malhotra and Carino, 2004).

Los tecnólogos del concreto se han interesado en determinar las propiedades del concreto mediante pruebas no destructivas por décadas. A principios de 1930 algunos métodos de prueba se propusieron para probar especímenes de laboratorio usando métodos de vibración. Los investigadores Powers, Obert, Hornibrook y Thompson fueron los primeros en llevar a cabo una amplia investigación usando técnicas de vibración tales como el método de frecuencia de resonancia (Powers, 1938; Obert, 1939; Hornibrook, 1939; Thomson, 1940).

La segunda guerra mundial aceleró las investigaciones con respecto a las pruebas no destructivas usando métodos de propagación de onda de estrés. El desarrollo del método de velocidad de pulso comenzó en Canadá e Inglaterra alrededor del mismo tiempo. En Canadá los investigadores Leslie y Cheesman desarrollaron un instrumento llamado soniscope (Leslie and Cheesman, 1949). En Inglaterra, otro investigador desarrolló un instrumento llamado probador ultrasónico (Jones, 1948). En un principio, ambos, el soniscope y el probador ultrasónico, fueron bastante similares, con pequeñas diferencias en detalle. Desde





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



1960, los métodos de velocidad de pulso han sido llevados fuera de los laboratorios, a las construcciones u obras civiles (Whitehurst, 1966). El investigador Malhotra cuenta con una lista extensa de artículos publicados sobre este tema (Malhotra, 1976). Algunas naciones han adoptado procedimientos estandarizados para medir la velocidad de pulso en el concreto.

### *5.1.1. Teoría de propagación de onda.*

Cuando un medio sólido es alterado por una carga dinámica o vibratoria, se producen tres tipos de propagación de ondas mecánicas, Figura 5.1, (también llamadas ondas de esfuerzo): 1) ondas de compresión (también llamadas longitudinales u ondas P), 2) ondas cortantes (también llamadas transversales u ondas S), y ondas superficiales (también llamadas ondas Rayleigh). Las ondas de compresión se propagan a través del medio sólido de manera análoga a las ondas sonoras que se propagan a través del aire. Cada tipo de onda se propaga con una velocidad característica. Para un sólido dado, las ondas de compresión tienen la mayor velocidad mientras que las ondas de superficie tienen la menor. En el concreto, las velocidades de las ondas de cortante y de superficie son típicamente 60 y 55%, respectivamente, de la velocidad de las ondas de compresión (ACI Committee 228, 1998). La velocidad particular de una onda depende de las propiedades elásticas y de la densidad del medio. Para un medio sólido homogéneo elástico la velocidad de la onda de compresión está dada por la ecuación 5.1:

$$V = \sqrt{\frac{(1-\mu)/((1+\mu)(1-2\mu))E}{\rho}} \quad \text{ecuacion 5.1}$$



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Dónde:

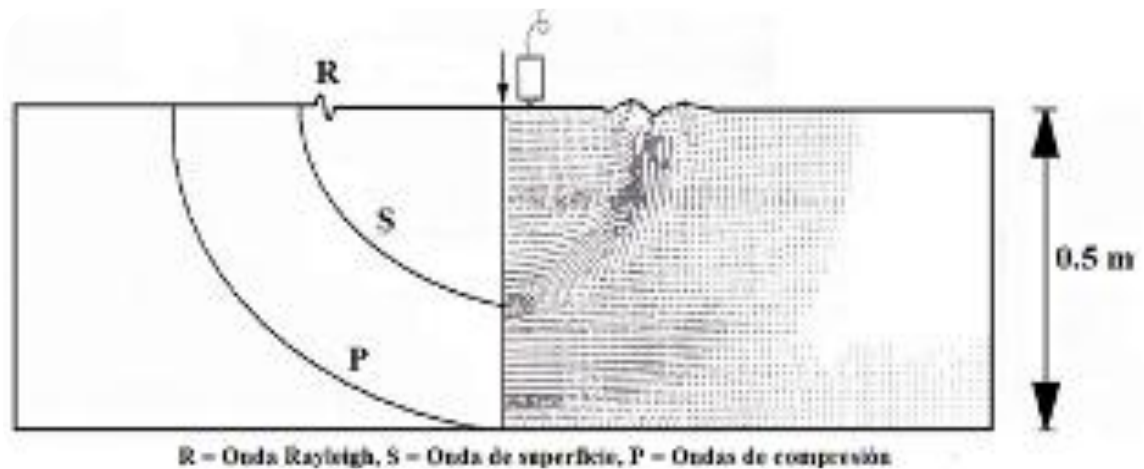
$V$  = Velocidad de la onda de compresión

$$K = (1 - \mu) / ((1 + \mu)(1 - 2\mu))$$

$E$  = Módulo de elasticidad dinámico

$\rho$  = Densidad

$\mu$  = Relación dinámica de Poisson



*Figura 5.1. Tipos de propagación de onda de mecánicas (Malhotra and Carino, 2004)*

El valor de  $K$  varía en un rango muy estrecho. Por ejemplo, cuando  $\mu$  incrementa de 0.15 a 0.25 (67% de incremento) el valor asociado de  $K$  aumenta de 1.06 a 1.20 (12% de incremento). Por lo tanto variaciones en  $E$  y en  $\rho$  tienen un efecto más significativo sobre  $V$  que las variaciones en  $\mu$ . Para el concreto, los



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



rangos típicos de  $V$  van de 3000 a 5000 m/s.

La frecuencia  $f$  y la longitud de onda  $\lambda$  del movimiento de propagación de onda están relacionados por la velocidad de propagación:  $V = f\lambda$ . La frecuencia es reportada en unidades de hertz (o ciclos por segundo) y la longitud de onda en unidades de distancia (por ejemplo mm). En un medio dado, un incremento en la frecuencia de onda dicta un decremento en la longitud de onda, y viceversa. Cuando un pulso de propagación de onda incide en una interfase con un medio que tiene distintas propiedades de material, una porción de la energía de onda se dispersa fuera de la trayectoria de la onda original. Por ejemplo, vacíos, grietas y partículas de agregados en el concreto actúan dispersando parte de la energía inicial del pulso de la onda de compresión fuera de la trayectoria de onda original. La magnitud de la dispersión es especialmente intensa si la longitud de onda de propagación es del mismo tamaño o menor que el tamaño del dispersor, resultando en una atenuación de onda rápida (Jones, 1962). Para el concreto, el límite superior de frecuencias que se usan es de alrededor de 500khz el cual es asociado a una longitud de onda de aproximadamente 10mm, lo cual está en un rango de tamaño de las partículas secundarias de agregado. Como resultado, la longitud del camino puede ser efectivamente recorrida en este límite superior de frecuencia antes de que el pulso de onda se disperse completamente en tan sólo unos centímetros. Se pueden recorrer mayores longitudes de camino usando menores frecuencias (por lo tanto mayores longitudes de onda): una frecuencia de 20khz puede generalmente recorrer hasta 10m de concreto (Jones, 1962).

En el método de velocidad de pulso ultrasónico, un pulso de onda ultrasónica a través del concreto es creado en un punto sobre la superficie del objeto de prueba, y el tiempo que éste tarda en viajar de ese punto a otro es medido.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Conociendo la distancia entre los dos puntos, la velocidad del pulso de onda puede ser determinada. Un equipo portátil de velocidad de pulso está disponible hoy en día en el mercado para realizar pruebas en concreto y determinar el tiempo de llegada del primer frente de onda. Para la mayoría de las configuraciones de prueba, esta resulta ser la onda de compresión directa, ya que es la más rápida.

### *5.1.2. INSTRUMENTO DE PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO.*

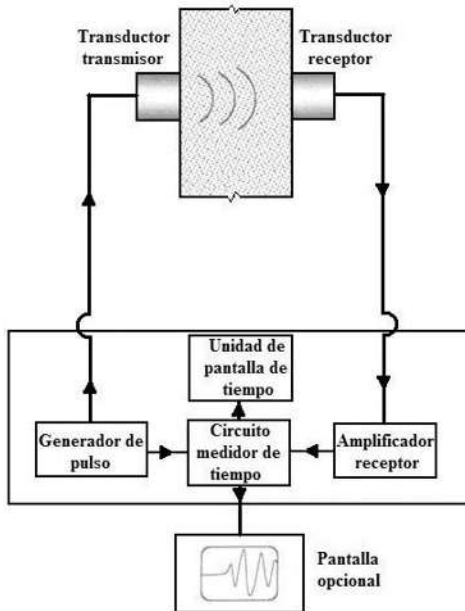
El instrumento de prueba consiste de un medio para producir un pulso de onda en el concreto (generador y transmisor de pulso) y un medio de sensibilidad de llegada de pulso (receptor) y medir con precisión el tiempo tomado por el pulso que viaja a través del concreto. El equipo puede ser conectado a un osciloscopio o a otro dispositivo de pantalla, para observar la naturaleza del pulso recibido. En la Figura 5.2 se muestra un diagrama esquemático. Se tiene una descripción del método en la norma ASTM C597, (2003). Se tienen equipos portátiles de prueba de velocidad de pulso ultrasónico, los cuales son simples de operar, además pueden incluir baterías recargables o una unidad de carga. Típicamente, los tiempos de pulso son de hasta  $6500\mu\text{s}$  y pueden ser medidos con una resolución de  $0.1\mu\text{s}$ . La medición del tiempo de viaje es promediada. El instrumento cuenta con 2 transductores, uno para recibir y uno para transmitir el pulso ultrasónico. Estos transductores tienen frecuencias de 25 a 100kHz y son los usados para realizar pruebas en el concreto. Se tienen también transductores con diferentes frecuencias de resonancia para aplicaciones especiales: transductores de alta frecuencia (arriba de 100kHz) son usados para muestras pequeñas, trayectorias relativamente cortas, o concreto de alta resistencia, mientras que los transductores de bajas frecuencias (por debajo de 25kHz) son usados para especímenes grandes y trayectorias relativamente grandes, concreto con tamaño de agregado grande. Estos transductores principalmente generan ondas de compresión en una frecuencia predominante, con la mayor parte de la energía de onda dirigida a lo



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



largo del eje normal a la cara del transductor.



**Figura 5.2. Diagrama esquemático del circuito de prueba de velocidad de pulso (Malhotra and Carino, 2004).**

### 5.1.3. EL MÉTODO DE VELOCIDAD DE PULSO.

La velocidad de pulso ultrasónico es una alternativa de prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto, la cual se ha utilizado desde hace aproximadamente 50 años. La técnica fue desarrollada por Leslie y Cheesman en Canadá y se utilizó con gran éxito desde la década de los sesentas para diagnosticar el estado del concreto utilizado en cortinas de presas; casi simultáneamente Jones desarrolló en Inglaterra una técnica basada en el mismo principio (Malhotra and Carino, 2004).



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de: ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cortante y ondas superficiales o Rayleigh. La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, se pueden estimar las propiedades elásticas del medio, mismas que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material (Rose, 1999).

La idea básica del método de velocidad de pulso es establecer que la velocidad de un pulso de onda de compresión a través de un medio depende de las propiedades elásticas y de la densidad del medio.

El transductor transmisor del instrumento de velocidad de pulso transmite una onda en el concreto y el transductor receptor, a una distancia  $L$ , recibe el pulso que pasa por el concreto en otro punto. La pantalla del instrumento de velocidad de pulso indica el tiempo de tránsito,  $\Delta t$ , que toma el pulso de la onda de compresión en viajar a través del concreto. La velocidad del pulso de la onda de compresión  $V$  ecuación 5.2, por lo tanto, es:

$$V = \frac{L}{\Delta t} \quad \text{ecuación 5.2}$$

El pulso de compresión transmitido a través del concreto se somete a



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



dispersión en los límites de los agregados. Para cuando el pulso llega al transductor receptor, este se transforma en una onda compleja, que contiene múltiples ondas de compresión y de cortante reflejadas. Desde luego, las ondas de compresión viajan más rápido y llegan primero al receptor.

Para transmitir o recibir el pulso, los transductores deben estar en completo contacto con el objeto de prueba; de otro modo el aire entre el objeto de prueba y el transductor puede introducir un error en el tiempo de tránsito indicado. Este error es introducido por que sólo una insignificante cantidad de energía de onda puede ser transmitida a través del aire. Se pueden usar muchos acopladores del mercado para eliminar el aire y asegurar un buen contacto entre la muestra y los transductores. Jalea a base de petróleo nos da uno de los mejores acoplamientos. Tenemos también, otros acopladores como grasas, jabón, pasta de caolín-glicerol. Las capas del acoplador deben de ser tan delgadas como sea posible. Aplicando una presión constante en los transductores, se podrán tomar lecturas repetidas en una ubicación hasta obtener un mínimo valor de tiempo de tránsito. Si la superficie del concreto está muy rugosa, se debe usar grasa espesa como acoplador. En algunos casos, que se tenga que suavizar la superficie rugosa o establecer una superficie lisa se puede hacer con el uso de yeso de París, o con una pasta de cemento de fraguado rápido o con un mortero epóxico de fraguado rápido. La nivelación de la pasta debe realizarse antes de la prueba de velocidad de pulso. En superficies muy rugosas, también puede emplearse un receptor exponencial con un diámetro de punta de sólo 6mm, como por ejemplo, superficies de mortero dañadas por fuego o por la acción de la intemperie. Sin embargo, hay que destacar que esta prueba es buena sólo para recibir la señal. Se requiere una superficie lisa para el transductor transmisor (Malhotra and Carino, 2004).

La velocidad de pulso para un concreto ordinario es típicamente de 3700 a



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



4200m/s. Por tanto, para un trayecto de 300mm el tiempo de viaje es aproximadamente de 70 a 85 $\mu$ s. Es obvio que el instrumento debe ser muy exacto para mediciones con pequeños tiempos de tránsito. La trayectoria debe ser medida también con cuidado. Debido a que el método de velocidad de pulso es una técnica de propagación de onda, debe ser eliminada cualquier fuente (como por ejemplo martillos neumáticos) del menor movimiento de onda durante la prueba.

Existen tres configuraciones en las cuales se pueden arreglar o acomodar los transductores, como se muestra en las Figuras 5.3a, 5.3b y 5.3c. Tenemos entonces, 1) transmisión directa; 2) transmisión semidirecta; y 3) transmisión indirecta o método de superficie. El método de transmisión directa, Figura 5.4a, es el más deseable y el arreglo más satisfactorio, debido a que con este arreglo, se transmite y recibe el máximo de la energía del pulso. El método de transmisión semidirecta, Figura 5.4b, puede ser usado satisfactoriamente también. Sin embargo, se debe tener cuidado de que los transductores no estén muy alejados; de otro modo la transmisión del pulso podría disminuir y por tanto la señal podría no detectarse. Este método es usado donde se tienen concentraciones de refuerzos. El método de transmisión indirecta o método de superficie, Figura 15.4c, es el menos satisfactorio por que la amplitud de la señal que se recibe es significativamente menor que la señal que se recibe por el método de transmisión directa. Este método es más propenso a errores y se requiere un procedimiento especial para determinar la velocidad de pulso (Qixian and Bungey, 1996).

El procedimiento para el método indirecto consiste en: Primero, la localización del transductor transmisor se fija y la localización del receptor se cambia en incrementos fijos a lo largo de una línea, y se toma una serie de





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO

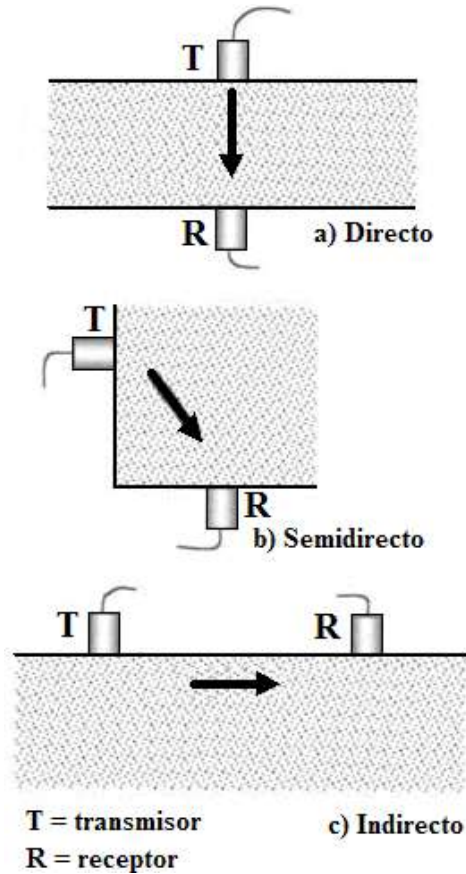


lecturas de tiempo. La distancia directa entre los dos transductores se traza en el eje de las “x” y el correspondiente tiempo de tránsito del pulso se traza en el eje “y” como se muestra en la Figura 5.5. La inversa de la pendiente de este gráfico es la velocidad de pulso a lo largo de la línea.

Cuando se usa este método de superficie, el pulso se propaga en la capa de concreto cercana a la superficie. La proximidad de la superficie del concreto en ocasiones está compuesta ligeramente diferente al concreto en las capas inferiores. Por ejemplo, el concreto cercano a la superficie de una losa tiene mayores cantidades de material fino que el concreto de las porciones interiores de la losa. Entonces, las mediciones de velocidades por el método de superficie son típicamente menores que las transmisiones tomadas con el método de transmisión directa. Este comportamiento, sin embargo, puede convertirse en un medio para detectar y estimar el espesor de una capa de calidad diferente del material. Una capa de concreto de menor calidad puede darse debido a prácticas inapropiadas de construcción (como por ejemplo una vibración y terminado pobre, un curado pobre, juntas frías debido a retrasos en la construcción, una colocación incorrecta), daños debidos a la acción del desgaste (por ejemplo congelación y deshielo, ataque de sulfatos, y corrosión del acero de refuerzo) y el daño por el fuego. Los espesores de las capas pueden ser determinados mediante el procedimiento indirecto o de superficie. Cuando los dos transductores están cercanos, el camino más rápido es viajar por la capa superior del concreto, y como los transductores se apartan más, el camino de viaje más rápido es la ruta combinada a través de ambas capas. La velocidad de pulso a través de la capa superior ( $V_1$ ) y la de la capa inferior ( $V_2$ ) será indicada en la gráfica por las diferentes pendientes de las dos líneas rectas ajustadas a los datos, Figura 5.5.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



**Figura 5.4. Configuraciones para medición de velocidad de pulso, a) Método directo, b) Método semidirecto, c) Método indirecto o de superficie (Malhotra and Carino, 2004).**

La distancia  $X$  en la Figura 5.5 muestra cuando se da el cambio de pendiente es medida y el espesor de la capa superior,  $t$ , es estimado a partir de la siguiente ecuación 5.3:



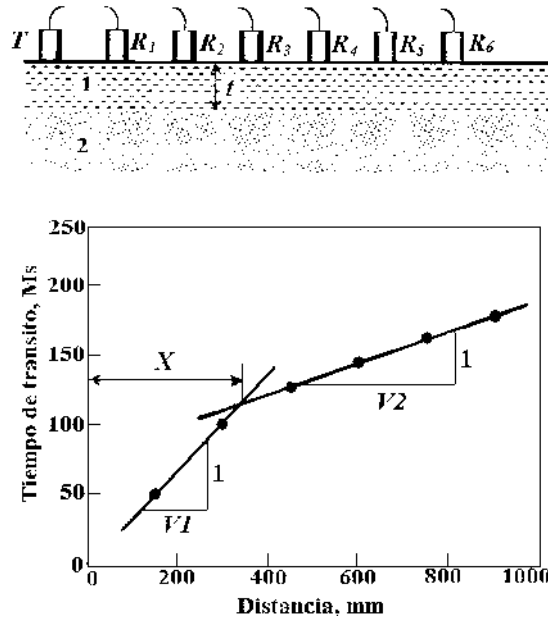
## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



$$t = \frac{X}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

ecuación 5.3

Este método es solamente adecuado cuando la capa superior, (la capa de baja calidad) es distinta, es razonablemente del mismo espesor, y  $V_2 > V_1$ .



**Figura 5.5. Empleo del método de superficie para determinar la profundidad de deterioro (Malhotra and Carino, 2004).**

### 5.1.4. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE PULSO.

Aún que es relativamente fácil realizar la prueba de velocidad de pulso, es



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



importante que la prueba a ser realizada sea tal que las lecturas de velocidad de pulso sean reproducibles y que estas sean afectadas solamente por las propiedades del concreto que se está probando y no por otros factores. Los factores que afectan la velocidad de pulso pueden ser divididos en dos categorías: 1) Factores que resultan directamente de las propiedades del concreto; y 2) otros factores.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 6. TECNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.

#### 6.1. *Difracción de Rayos X.*

La Difracción de Rayos X está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación. Los Rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, del mismo orden que las distancias interatómicas de los componentes de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a analizar, los Rayos X se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas.

La difracción de rayos-x es un método de alta tecnología no destructivo para el análisis de una amplia gama de materiales, incluso fluidos, metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámica y semiconductora. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina.

### 7. MATERIALES UTILIZADOS COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ELABORACIÓN DEL MORTERO.

Como se ha establecido, el fin del presente trabajo es lograr una disminución en el uso de cemento en la producción de mortero, para lo cual se ha establecido usar residuos agroindustriales como Ceniza de Bagazo de Caña (CBC) y Ceniza de Carbón Vegetal (CCV). Dichos materiales presentan un alto contenido en cuanto a silicatos el cual es un componente primordial en las puzolanas, de ahí el



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



interés por su estudio.

### 7.1 Ceniza de Carbón Vegetal (CCV).

La Ceniza de Carbón Vegetal se obtuvo del poblado de Cuto de la Esperanza el cual se encuentra localizado en el Municipio de Morelia del Estado de Michoacán de Ocampo Figura 7.1.



Figura 7.1. Ubicación satelital Cuto de la Esperanza.

Se encuentra a 2160 metros de altitud. La localidad tiene 1129 habitantes de los cuales 511 son masculinos y 618 femeninas.

La población económicamente activa en la localidad de Cuto de la Esperanza es de 337 (27.97% de la población total) personas, las que están ocupadas se reparten en sectores de la siguiente forma (Foro-Mexico.com):



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



- ❖ Sector Primario: 129 (38.97%) (Municipio:3.59%, Estado:24.34%) Agricultura, Explotación forestal, Ganadería, Minería, Pesca ...
  
- ❖ Sector Secundario: 65 (19.64%) (Municipio:24.01%, Estado:25.52%) Construcción, Electricidad, gas y agua, Industria Manufacturera ...
  
- ❖ Sector Terciario: 137 (41.39%) (Municipio:72.39%, Estado:50.13%) Comercio, Servicios, Transportes...

Una de las actividades que se realizan en la región es la producción de carbón vegetal, el cual es de origen de madera de encino dato obtenido por los mismos productores.

El proceso de fabricación de carbón vegetal es el siguiente:

Lo primero es talar la madera y transportarla hasta la zona donde se produce el carboneo (este es el nombre que recibe la acción de producir el carbón). Este lugar es una especie de agujero (chimeneas) en la tierra donde se deposita la madera de encino Figura 7.2. Posteriormente prende fuego a la madera deposita, es importante que la madera se encuentre seca, una vez que se ha cerciorado que la madera esta ardiendo se colocan ramas y materia orgánica encima de la leña. Se deja por varios días que la leña bajo el calor de las llamas produciendo la deshidratación y posteriormente la leña adquiere la forma y color del carbón que se vende.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figur 7.2. Chimenea para carboneo.

La siguiente imagen muestra la forma en que quedan las chimeneas con la leña debajo de ramas y materia orgánica Figura 7.3.



Figura 7.3. Producción de carbón.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



El proceso de fabricación de carbón como cualquier quema de un producto, provoca la producción de ceniza del material que se consume. Es de esta manera como se produce la Ceniza de Carbón Vegetal (CCV) la cual, para este caso es de suma importancia en el desarrollo del presente trabajo.

Para lo obtención de CVV basta con excavar en las chimeneas o simplemente quitar el sobrante de la producción de carbón. Ahora mediante el uso de una pala se extrae la ceniza de las chimeneas. Para facilidad del traslado la ceniza se deposita en costales y se traslada al laboratorio Figura 7.4.



Figura 7.4. Obtención de CCV.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 7.2. Ceniza de Bagazo de Caña (CBC).

El material de Ceniza de Bagazo de Caña se logró por el apoyo del Ingenio de Azúcar “Lázaro Cárdenas” ubicado en el Municipio de Taretan del estado de Michoacán de Ocampo Figura 7.5.

#### Escudo

En la parte superior están representadas dos cultivos predominantes del municipio: el maíz y la caña de azúcar Figura 7.6. El escudo se divide en cuatro cuarteles: el cuartel superior izquierdo presenta el ingenio azucarero Lázaro Cárdenas que simboliza la lucha agraria en esta región y su instalación en 1946; en el cuartel superior derecho, presenta el palacio municipal construcción de tipo colonial que representa el poder del ejecutivo municipal; en el cuartel inferior izquierdo se plasman los caracteres geográficos más importantes de la región: cerro de la cruz y una caída de agua llamada “Las Goteras”; en el cuartel inferior derecho, se asienta un libro abierto indicando estudios y cultura como base del progreso, la pluma y el tintero refleja que Taretan ha sido cuna de grandes escritores, poetas y literarios de renombre; las estrellas representan las comunidades

Figura 7.5. Municipio de Taretan.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



más importantes del municipio.

La leyenda dice: “Pasado histórico, futuro promisorio”, que significa que este municipio, ha recorrido trayectoria histórica que se habrá de traducir en un mejor futuro para las nuevas generaciones taretenses.

### Extensión

Su superficie es de 185. 23 km<sup>2</sup> y representa el 0.31 por ciento del total del Estado.

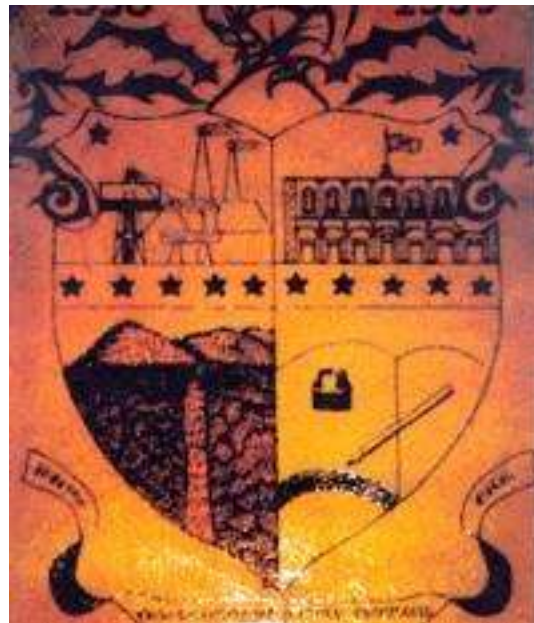
### Orografía

Su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal, la sierra de Santa Clara, los cerros de la cruz, cobrero, Hornos, Mesa de García, Mesa de la Exhacienda, Palma, San Joaquín, Pelón y Guayabo y la Planicie del Llanito.

### Hidrografía

Su hidrografía está constituida por los ríos Acámbaro. Paso del Reloj, El Guayabo y Hoyo del Aire, y por arroyos y manantiales de agua fría.

Figura 7.6. Escudo Taretan.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### Clima

Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1, 560 milímetros y temperaturas que oscilan entre 14. 4 a 29. 66 ° centígrados.

### Principales Ecosistemas

En el municipio predomina el bosque tropical deciduo con zapote, tepeguaje, cirián, parota, guaje y mango. Su fauna se conforma por zorra, tejón, coyote, conejo, liebre, golondrina, güilota, pato y aguililla.

### Recursos Naturales

La superficie forestal maderable está ocupada por pino y encino, la no maderable, por matorrales de distintas especies.

### Características y uso del suelo

Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente forestal y en proporción semejante están dedicados a la actividad agrícola y ganadera.



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Ingenio: Lazaro Cardenas												
Concepto	Unidad	Zafra										Máximo Óptimo
		2010/11	2009/10	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06	2004/05	2003/04	2002/03	2001/02	
INICIACION	FECHA	19-dic-10	21-dic-09	22-dic-08	26-dic-07	03-dic-06	03-dic-05	29-nov-04	01-dic-03	09-dic-02	10-dic-01	
TERMINACION	FECHA	23-mar-11	06-may-10	07-abr-09	20-may-08	19-may-07	07-may-06	15-may-05	13-may-04	25-may-03	28-may-02	
DURACION	DIAS	101	136	107	147	166	155	167	164	163	169	
SUPERFICIE INDUSTRIALIZADA	HA	2,837	2,918	2,989	3,317	3,268	3,257	3,144	3,199	3,385	3,669	3,669
FRENTE DE CORTE	NUM.	23	24	23	25	25	26	26	27	26	25	23
CORTADORES	PERO	891	695	679	880	775	730	730	740	750	783	696
VEHICULOS DE ACARREO	CAM.	87	78	87	86	96	84	76	76	79	75	75
CAÑA COSECHADA MECANICAMENTE	%	-	-	-	-	-	-	-	-	0.533	-	0.033
CAÑA ALZADA MECANICAMENTE	TONS.	91.822	59.095	61.347	54.435	47.778	45.888	33.094	12.968	10.371	9.065	91.822
CAÑA POR HECTAREA	TONS.	74.754	84.144	74.565	86.452	87.780	80.878	91.593	83.550	78.007	75.562	91.593
AZUCAR POR HECTAREA	Kgs.	9.242	10.283	8.531	10.490	10.052	8.977	11.050	10.414	9.550	9.077	11.050
KARBE (Caba Nueva)	Kgs./TCB	122.159	120.673	117.549	121.601	121.252	110.869	120.420	127.080	127.300	123.704	127.300
KARBE (Caba Nueva)	Kgs./TCN	123.677	120.658	117.450	121.768	121.507	111.199	120.743	127.130	127.341	123.729	127.341
KARBE (Caba Nueva)	Kgs./TCN	125.276	122.539	116.121	121.956	115.223	111.872	121.487	125.087	122.905	120.577	125.276
PRECIO REF. DEL AZUCAR PARA PAGO CAÑA	\$/Tca	10.368.58	10.222.25	6.579.21	5.996.13	6.356.45	5.932.77	5.759.97	5.383.15	4.803.38	4.561.05	10.368.58
PRECIO POR TONELADA DE CAÑA NETA	\$/Tca	730.35	704.20	441.20	416.15	440.24	376.04	396.42	390.05	348.65	321.67	730.35
CAÑA MOLIDA BRUTA	TONS.	212.052	245.007	220.601	286.760	286.865	263.389	287.972	267.242	264.054	277.208	287.972
CAÑA MOLIDA NETA	TONS.	209.619	245.131	220.411	286.367	286.263	262.608	287.202	267.138	263.967	277.152	287.202
CAÑA MOLIDA POR DIA DE ZAFRA	TONS.	2.100	1.805	2.052	1.951	1.708	1.699	1.724	1.630	1.620	1.640	2.100
CAÑA MOLIDA POR DIA HABIL	TONS.	2.245	2.207	2.343	2.350	2.231	2.104	2.116	2.150	2.204	2.216	2.350
CAÑA MOLIDA POR HORA	TONS.	94	92	98	98	83	98	88	90	92	92	98
FIBRA EN CAÑA	%	13.339	14.254	15.348	15.721	13.764	17.548	15.318	14.013	14.056	14.350	13.339
EXTRACCION REDUCIDA A 11.5% EN CAÑA	%	96.804	96.701	96.408	96.400	96.397	96.042	96.491	96.471	96.318	96.074	96.804
DISTRIBUCION PORCENTO CAÑA	%	24.54	30.63	27.22	29.60	31.83	33.23	28.43	33.45	33.94	32.47	
BAGAZO OBTENIDO	TONS.	60.470	73.679	72.937	99.393	87.011	98.457	92.884	80.399	79.808	85.780	60.470
BAGAZO EN CAÑA	%	28.517	30.011	33.063	34.661	30.332	37.381	32.255	30.533	30.111	30.944	28.517
HUMEDAD EN BAGAZO	%	50.418	49.876	50.843	51.891	51.930	50.260	49.950	52.040	50.600	50.830	49.876
SACAROSA EN BAGAZO	%	1.710	1.821	1.947	1.988	1.922	2.135	1.973	1.944	2.089	2.173	1.710
BAGAZO EMPACADO	TONS.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRODUCCION DE AZUCAR	REFINADA	TONS.	3.718	-	20.248	3.428	2.102	-	-	-	-	20.248
	ESTANDAR	TONS.	22.501	30.002	4.996	31.378	30.750	29.236	34.742	33.310	32.328	33.299
	MASCABADO	TONS.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TOTAL (Pais)	TONS.	26.217	30.002	25.242	34.796	32.851	29.236	34.742	33.310	32.328	33.299
	TOTAL (Base Estadar)	TONS.	26.260	30.038	25.374	34.924	32.984	29.378	34.891	33.415	32.443	33.418
RENDIMIENTO DE FABRICA	%	12.36	12.22	11.44	12.13	11.45	11.10	12.06	12.46	12.24	12.01	12.45
MELES A 1º BRIX TOTAL	TONS.	6.972	8.587	9.629	12.466	14.179	10.828	11.691	9.740	10.865	11.441	6.972
MELES A 1º BRIX POR TON DE CAÑA	Kgs.	32.977	34.977	43.651	43.471	48.427	41.110	40.599	36.447	41.148	41.274	32.977
MELES A 1º BRIX APORTADAS A FAB. DE ALCOHOL	TONS.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 8. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

#### 8.1. Cemento.

El cemento utilizado en la realización del mortero para emplearse en la construcción de los diferentes especímenes para realizarles las correspondientes pruebas fue un Cemento Portland Compuesto de alta resistencia inicial y resistente a los sulfatos (CPC 30R RS).

#### 8.2. Material Inerte

La arena utilizada para la elaboración del mortero fue arena de río proveniente del poblado del Cuervo perteneciente al municipio de Zinapécuaro Michoacán Figura 8.2, dicho material fue tamizado, utilizando solamente el material que pasa la malla # 16 y retiene la malla # 30, este material pose características similares a la arena de Ottawa, es decir con alto contenido de sílice (ASTM C 91, 1995).



Figura 8.2. Río del Cuervo, Zinapécuaro,



### *8.3. Agua*

El agua utilizada para elaborar las mezclas de mortero, fue agua proveniente de la red de agua potable de la ciudad de Morelia Michoacán Figura 8.3.



**Figura 8.3. Probetas donde se midió el agua a utilizar.**

### *8.4 Elaboración de la Mezcla.*

Una vez elegido el tipo de cemento y analizado la arena que se previó para el desarrollo de la tesis, se continuó con la elaboración del mortero. Dicha mezcla está conformada por los elementos para realizar un mortero estándar, es decir, cemento + arena + agua y será denominada durante este trabajo como “**testigo**”. Como se está trabajando con un cemento del tipo CPC la norma *ASTM C 109/C 109M 07* indica que la proporción en peso de los materiales secos para elaborar el



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



mortero estándar debe consistir de una parte de cemento y 2.75 de arena graduada y la cantidad de agua de mezclado debe ser la que produzca una fluidez de  $110\% \pm 5\%$  determinada como se especifica en la norma. La misma norma establece las cantidades para elaborar cierto número de especímenes:

Tabla 8.1.- Cantidad de material 1

<b>Materiales</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
Número de especímenes	6	9
Cemento	500g	740 g
Arena graduada	1375 g	2035
Agua para cemento CPO	242 ml	359 m
Agua para cemento CPP, CPC, CPEG, CPS CEG.	La necesaria para dar una fluidez de $110\% \pm 5\%$	La necesaria para dar una fluidez de $110\% \pm 5\%$

Para determinar la cantidad de agua necesaria se efectuó la prueba de fluidez la cual consiste en en llenar el molde troncocónico con la mezcla de mortero, sobre el plato circular, es decir sobre la mesa de fluidez Figura 8.4 ,





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.4.- Mesa de fluidez y molde troncocónico.

el llenado se hace en dos capas, agregando a cada una de estas la mitad del volumen del molde aproximadamente, después del llenado de la primera capa se le dan 25 golpes con el pisón a la mezcla distribuidos en toda la superficie Figura 8.5, se procede a llenar la segunda capa teniendo cuidado en dejar un sobrante de mezcla sobre la parte superior, después se le dan a esta capa otros 25 golpes con el pisón, se enraza el molde ayudándose de una espátula, cuchara de albañil o similar, se retira el molde.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.4.- Apisonamiento de la mezcla.

Mediante el uso de la manivela el plato circular se levanta y se deja caer súbitamente, esta operación debe hacerse un total de 15 veces en un tiempo aproximado de 15 segundos. Una vez realizado lo anterior se proceda a medir con el uso de un vernier la fluidez de la mezcla, esto se haciendo la sumatoria de cuatro medidas del diámetro de la mezcla desparramada sobre la mesa, dicha mediciones deben pasar por el centro del plato o bien siguiendo las guías si es que están marcadas en la superficie de la mesa de fluidez Figura 8.5.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.5.- Medición del diámetro de la mezcla sobre la mesa de fluidez.

Es importante mencionar que para obtener una mezcla más rápida y homogénea se usó un taladro eléctrico marca Bosch con potencia de 750w y 3500 RPM, al cual se le incorporó de unas espas mezcladoras. Dado que se haría uso de este equipo para realizar las mezclas, se incorporó a la idea usar cubetas con capacidad de 19 lts como recipientes para realizar el mezclado, de esta forma se evitaría que el material se dispersa por acción de las revoluciones de las espas. Este método de realizar la mezcla fue de gran utilidad ya que el resultado sencillo, práctico y sobretodo funcional.



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.6.- Mezclado de los elemento para lograr un mortero.



Figura 8.7.- Martillo y aspas para mezclado



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Con todo lo anterior se logro realizar el testigo, el cual además de ser el parámetro por el cual serán comparadas todas las mezclas con las sustituciones planteadas, marcará la pauta de la relación A/C que se respetará en las mezclas subsecuentes. En el caso que los morteros con sustituciones de Ceniza de Bagazo de Caña (CBC) y Ceniza de Carbón Vegetal (CCV) no cumplan con la fluidez marcada en la norma, se le añadirá un aditivo fluidificante cuya función como bien dice su nombre es proporcionar a la mezcla una mayor trabajabilidad la cual se ve reflejada con la fluidez.

**Tabla X.- Cantidades para elaborar el testigo.**

Cemento	1481 gr
Arena	4072gr
Agua	1495 ml
Relación agua/cemento(A/C)	1.01
Fluidez	108%

### *8.5. El aditivo.*

Como se menciona, para el caso de las mezclas en las cuales la relación A/C no cumpliera con la fluidez establecida se le agrego un aditivo fluidificante. El cual cumple con las siguientes características:

SikaCem Fluidificante Figura 8.8, aditivo fluidificante de concretos o morteros que incrementa el revenimiento o disminuye el consumo de agua en un 10% aprox.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



El fabricante recomienda la siguiente dosificación:

- ❖ Una bolsa de producto (SikaCem Fluidificante) por cada saco de 50 kg.



Figura 8.8. Aditivo fluidificante SikaCem.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se elaboraron cubos de mortero sin sustituciones minerales, pero si con diferentes sustituciones de fluidificante, se elaboraron mezclas con 0gr, 2gr, 4gr, 6gr y 8gr de fluidificante por cada 1kg de cemento, con estas mezclas se elaboraron 3 especímenes para probarse a las edades de 7, 14, 28, 60 y 90 días de edad del mortero, esto para comprobar que el fluidificante no agregara ningún porcentaje de resistencia a la compresión de



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



nuestro mortero.

Se fijo usar la cantidad de 1481gr de cementante, puesto que se cuantifico el volumen que se debía llenar para los especímenes que se elaborarían, ya que después de varios tanteos se observo que el rendimiento de cementante era de  $0.47\text{gr}/\text{cm}^3$ , ya que si se utilizaba lo que indica la norma (ASTM C 109M, 2002). para llenar de mezcla 6 cubos de dimensiones 5cm x 5cm x 5cm, habría un desperdicio considerable.

Se elaboraron dos mezclas por cada sustitución, con cantidades iguales de material, dichas mezclas servirían para el llenado de los siguientes especímenes  
Tabla 8.2 :

Tabla 8.2.- Número de especímenes que se elaboraran.

Espécimen	Prueba a realizar	Cantidad de especímenes elaborados
Cubos de 5 x 5 x 5 cm	Compresión axial	15
Cilindros de 10 x 20 cm	Módulo de elasticidad	7
Prismas de 4 x4 x16 cm	Flexión	7
Briquetas	Tensión	15



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



De los especímenes elaborados, se realizarían las pruebas correspondientes a las edades de 14, 28 y 45 días, a excepción de los módulos de elasticidad los cuales solo se determinaron a edades de 28 y 45 días.

### *8.6. Elaboración de losas de concreto para realización de pruebas de adherencia.*

Mientras se elaboraban los diferentes especímenes mencionados, también se elaboraron unas pequeñas losas de concreto de  $1\text{m}^2$  por 7 cm de espesor aproximadamente, con el fin colocarles una vez que cumplieran los 28 días un revestimiento de las mezclas de mortero con sus diferentes sustituciones y con la mezcla testigo para realizar sobre estas pruebas de adherencia. Aprovechando el material con el que se cuenta, el concreto se elaboraría con material pétreo de origen volcánico y cemento del tipo CPC 30R RS.

Para elaborar las losas primero se preparo la cimbra, la cual fue hecha de madera de tercera calidad. La elaboración se logro de la siguiente manera: se llenaron en dos capas, la primera fue a una altura de 3.5cm aproximadamente, después de la primera capa, se coloco malla electro soldada a la mitad del espesor de la losa Figura 8.9, esto para aumentar la rigidez y evitar posibles accidentes cuando se descimbraran o se movieran de lugar. Posteriormente se lleno la siguiente capa de concreto hasta alcanzar una altura de aproximadamente 7cm Figura 8.10, a la superficie de la losa no se le dio ningún tipo de acabado (ASTM C 1583, 2004), es decir solo se tuvo el cuidado de que el espesor de la losa fuera uniforme de 7cm aproximadamente.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



El concreto para la elaboración de las losas se diseño para una resistencia ( $f'c$ ) aproximada de  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

Se procedió a curar el concreto, esto durante 28 días. Una vez transcurrido este tiempo las losas fueron descimbradas y se procedió a colocar el revestimiento de mortero previsto.



Figura 8.9.- Elaboración de la losa con malla electro soldada.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.10. Losas para pruebas de adherencia terminadas.

### 8.7 ELABORACIÓN DE CUBOS

En la elaboración de los cubos de mortero se utilizaron moldes de acero inoxidable y bronce que cumplen con las dimensiones especificadas (ASTM C 109M, 2002).

Para la fabricación de los cubos de mortero, es necesario recubrir los moldes con un desmoldante Figura 8.11, con la finalidad de que al día siguiente una vez cumplido de 20-24 hrs se descimbraran con facilidad. Para tal fin se utilizó aceite para transmisión mezclado con diesel.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.11. Engrasado de Moldes

Una vez realizada la prueba de fluidez se regresa la mezcla y se procede a elaborar los especímenes cúbicos. La preparación de los especímenes se debe empezar dentro de un tiempo no mayor de 2 minutos 30 segundos a partir de haber terminado el mezclado. Se vierte aproximadamente 4 capas de 25mm de espesor aproximadamente y luego el mortero de cada compartimiento se compacta con el pisón, 32 veces en 10 segundos, en 4 vueltas. La iniciación de cada vuelta se efectúa a 90° con respecto a lo siguiente (o a lo anterior) y consiste en 8 golpes adyacentes repartidos sobre la superficie, tal como se muestra en la Figura 8.12. La presión para compactar el espécimen debe ser la necesaria para asegurar un llenado uniforme del molde.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO

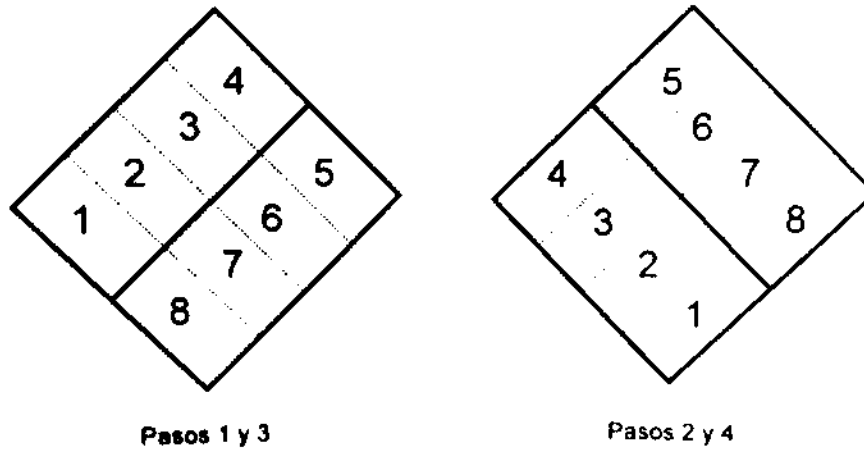


Figura 8.11.- Apisonamiento en cubos

Fabricados el número de cubos para a las edades de prueba especificadas y con la sustitución correspondiente, se rotulaban con ayuda de un marcador indeleble, su correspondiente nomenclatura (la nomenclatura que se le puso a todos los especímenes como son: cubos, cilindros, prismas y briquetas fue la misma), en dicha nomenclatura llevaba la fecha de elaboración del cubo, la sustitución, el porcentaje de la sustitución de la mezcla con la que se elaboro y el material de dicha sustitución, una vez realizado lo anterior, se procedía a curar los cubos de mortero Figura 8.12. El curado que se dio a los especímenes fue por inmersión en agua hasta el día de la prueba (ASTM C 511, 2003).



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.12. Pila de curado. 1

### 8.8. Elaboración de cilindros.

Para elaborar los cilindros de mortero de dimensiones 10cm de altura por 5cm de diámetro en sus diferentes sustituciones, se utilizaron moldes de acero inoxidable que cumplen con las dimensiones especificadas para su fabricación.

Para la fabricación de los cilindros, se siguió el mismo procedimiento que se describió en la elaboración de los cubos, es decir, primero se engrasaron los moldes y después se llenaron con la mezcla de mortero correspondiente.

El llenado de los moldes cilíndricos se hizo en dos capas de igual espesor aproximadamente, es decir a la mitad de la altura del cilindro, en cada capa se le dieron 25 golpes con una varilla punta de bala de 1/4" de diámetro, y se le 15 golpes con la misma varilla por la parte exterior del molde, con el fin de expulsar la



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



mayor cantidad de aire posible. Después de la segunda capa se enrazaron con ayuda de la varilla punta de bala Figura 8.13 y Figura 8.14.

Después de la elaboración del numero de cilindros correspondiente a las edades de prueba especificadas y con las diferentes sustituciones, se dejaron fraguar durante 20-24 hrs, se descimbraron y se rotulo la nomenclatura mencionada, después se procedió a curar los cilindros de mortero, al igual que los cubos y demás especímenes elaborados, el curado que se dio a las muestras fue por inmersión en agua hasta el día de la prueba.

Después de sumergir en agua los especímenes cilíndricos, se limpiaron cada uno de los moldes, se armaron, y se engrasaron, para de nuevo fabricar especímenes de la correspondiente fecha, hasta que se terminaron de elaborar el total de especímenes cilíndricos, requeridos para cada edad de prueba y sustitución correspondiente.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.13.- Llenado de especímenes cilíndricos.



Figura 8.14.- Golpeo con varilla punta de bala.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### *8.9. Elaboración de prismas*

Para la fabricación de los prismas con dimensiones 4cm x 4cm x 16cm con las mezclas y sustituciones correspondientes, se utilizaron moldes de acero inoxidable que cumplen con las dimensiones especificadas por la norma correspondiente para su fabricación.

El llenado de los prismas se hizo en dos capas de igual espesor aproximadamente lo cual se ilustra en las Figura 8.15 y Figura 8.16, es decir a la mitad de la altura del prisma, en cada capa se le dieron 12 golpes con un pisón, el cual es el mismo que se utiliza para la elaboración de especímenes cúbicos, los golpes se dieron en diferente sentido, a cada capa, como se describió en el llenado de cubos. Previamente se engrasaron los moldes para facilitar el descimbrado.

Después de la elaboración del número de los especímenes prismáticos correspondiente a las edades de prueba especificadas y con las diferentes sustituciones, se dejaron fraguar durante 20-24 hrs aproximadamente, se descimbraron y al igual que en los cubos y cilindros se les puso la misma nomenclatura, Finalmente se procedió a curar los prismas de mortero, la manera de curar los especímenes menes fue la ya mencionada.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.15.- Elaboración de prismas.



Figura 8.16. Especímenes prismáticos elaborados.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### *8.10. Elaboración de briquetas.*

Para la fabricación de las briquetas (especímenes en forma de cacahuete) con las mezclas y sustituciones correspondientes, se utilizaron moldes de bronce.

De la misma forma que para los anteriores especímenes se engrasaron los moldes y después se llenaron con la mezcla de mortero correspondiente.

Puesto que no hay ninguna norma para el llenado de las briquetas, estas se llenaron siguiendo el procedimiento descrito el Manual de Análisis de Materiales tercera edición. El llenado de las briquetas consiste en llenar los comprimiendo la mezcla con el dedo índice y enrazando con la ayuda de una espátula Figura 8.17, y Figura 8.18, puesto que los moldes no tienen una base en la cual quedará la mezcla, el molde se puso sobre una superficie de cristal, engrasado previamente para evitar que la mezcla se adhiera a este.

Después de la elaboración del número correspondiente de briquetas para las edades de prueba especificadas, se dejaron fraguar durante 20-24 hrs, después se les puso la misma nomenclatura descrita anteriormente y se sumergieron en agua para su curado hasta la fecha de prueba.



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.17. Eaboración de briquetas. 1



Figura 8.18. Equipo para la elaboración de briquetas.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### *8.11. Elaboración de mezclas para la realización de pruebas de adherencia.*

Para la realización de las pruebas de adherencia (ASTM C 1583, 2004), se elaboraron mezclas de mortero tanto de testigo como con los diferentes porcentajes de sustitución de CBC y CCV.

Las losas de concreto sobre las cuales se colocaría el revestimiento se dividieron en 6 partes de aproximadamente 50 cm por 33 cm, donde una vez elaboradas las mezclas de mortero se colocaron sobre la superficie dividida Figura 8.19, de manera que cada losa de 1m<sup>2</sup> obtuvo 5 mezclas con diferentes sustituciones de perlita natural o perlita expandida y una mezcla testigo, para posteriormente realizar la prueba de adherencia correspondiente a la edad especificada.



Figura 8.19.- Revestimiento de las losas.



## **9. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.**

### *9.1. Resistividad Eléctrica.*

La resistividad eléctrica fue la primera prueba no destructiva realizada a los especímenes cúbicos, cilíndricos y prismáticos, los especímenes se extraían del área de curado y se cubrían con una franela húmeda para evitar la pérdida de humedad. Las mediciones correspondientes a esta prueba se realizaron con un equipo “Resistómetro” que mide resistividad eléctrica en suelos y materiales porosos, marca Nilsson Figura 8.20.



**Figura 8.20.- Resistómetro Nilsson.**

El procedimiento seguido se resume a continuación:

1. Determinaron las dimensiones de la muestra.
2. Se revisa la conexión de las terminales de corriente y voltaje.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



3. Se monta la muestra en el equipo Nilsson.
4. Se colocan las caras laterales del espécimen a realizarle la prueba entre dos placas de cobre y entre éstas esponjas húmedas Figura 8.21.
5. Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen, se somete el espécimen a una corriente dada, (I) y voltaje (E).
6. La resistencia eléctrica (R) se calcula como E/I y se expresa en Ohmios (Lo hace el equipo automáticamente) Figura 8.22.

De esta manera la resistividad eléctrica está dada por la ecuación 8.1:

$$\rho = R_e \left( \frac{A}{L} \right) \quad \text{ecuación (8.1)}$$

Dónde:

$\rho$  = Resistividad eléctrica en K $\Omega$ -cm (ohm-m)

$R_e$  = Resistencia eléctrica que el equipo proporciona, en K $\Omega$

A = Área transversal del espécimen en cm<sup>2</sup>

L = Longitud del espécimen en cm



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO

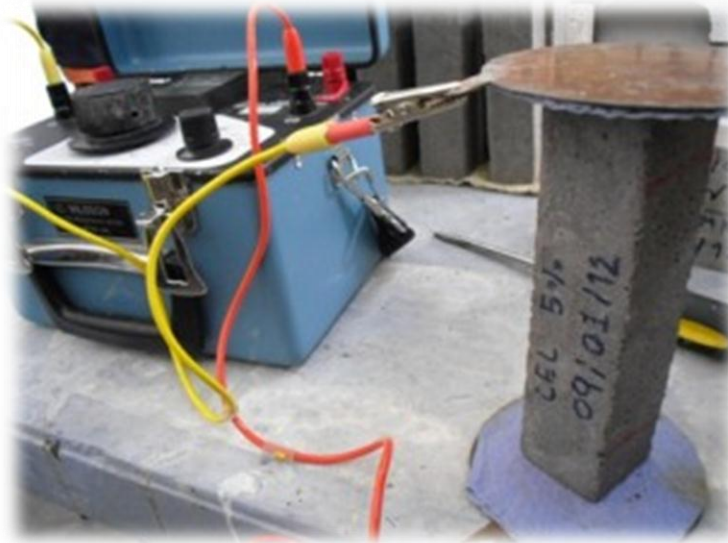


Figura 8.21.- Colocación del espécimen para prueba de resistividad.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.22.- Uso del Resistómetro.

Cabe mencionar que esta prueba se realizó al total de especímenes (cubos, cilindros y prismas) que se tenían el día de la prueba, es decir para cubos y prismas a edades de 14, 28 y 45 días, y en cilindros a edades de 28 y 45 días solamente.

### *9.2.. Velocidad de pulso ultrasónico.*

Los especímenes empleados para determinar lecturas de resistividad eléctrica eran pasados en seguida a una mesa contigua en donde se la determinaba el tiempo de tránsito de pulso ultrasónico.

El equipo empleado para esta prueba fue una máquina dual para ensayos ultrasónicos y por rebote, con introducción automática de los resultados del esclerómetro, modelo 58-E0049/B, marca CONTROLS, medidor de velocidad de pulsos ultrasónicos, Figura 8.23; con una escala de frecuencia de 24 a 150kHz;





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



impedancia de entrada del receptor de 1M; salida RS 232; cuenta con la posibilidad de conectar un osciloscopio; con una medición del tiempo de propagación de 0.1 a 1 999.9 $\mu$ s; velocidad de los impulsos con una selección de 1 a 10 por segundo; precisión 1 $\mu$ s; salida del transmisor hasta 1500V; funciona con baterías recargables internas; incluye un esclerómetro para ensayos en concreto con una energía de impacto de 2.207NM.

El equipo tiene dos transductores, un emisor y un receptor, estos transductores tienen que tener un buen contacto con la superficie a probar y para tal fin se emplea un medio conductor ó gel. Este gel es proporcionado por el fabricante del equipo, sin embargo, se hicieron mediciones empleado un gel antibacterial, haciendo comparaciones de las lecturas obtenidas con ambos geles y las diferencias fueron mínimas, fue entonces que se decidió el empleo del gel antibacterial para la toma de mediciones de velocidad de pulso. Se buscó el empleo de otro gel debido a que el que proporciona el fabricante es insuficiente para realizar la cantidad de mediciones planeadas tomar, y los tiempos de adquisición de este gel son prolongados Figura 8.24.

Durante la realización de la prueba se tomó la precaución de mantener constantemente húmedos los especímenes y evitar así variantes en las lecturas.

El grado de saturación del espécimen afecta a la velocidad de pulso, y este factor debe tenerse en cuenta al evaluar los resultados del ensayo. Además, la velocidad de pulso en el espécimen saturado es menos sensible a los cambios en su calidad relativa.



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 8.23. Equipo para medir la velocidad de pulso ultrasónico, CONTROLS.



Figura 8.24.- Prueba con el equipo CONTROLS.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 10. PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

#### *10.1. Pruebas destructivas realizadas.*

Terminadas las lecturas con los equipos de pruebas no destructivas se reservaron los especímenes programados para las pruebas destructivas.

Las pruebas destructivas se realizaron poco después de terminar con las pruebas no destructivas, siempre se tuvo la precaución de mantener las muestras húmedas, sumergidas en agua.

#### *10.2. Determinación de la resistencia a la compresión simple de cubos de mortero*

Como ya se menciona, en la prueba de resistividad se tomaron las dimensiones de cada espécimen cúbico, la prueba de compresión se realizó utilizando la máquina universal Tinius Olsen. Se colocó el espécimen entre la platina de prueba y la base de la máquina aplicando la carga a una velocidad constante en el rango de 5000kg Figura 10.1, dicho rango tiene una aproximación a 0.5kg, la velocidad se mantiene constante toda la prueba hasta la falla del espécimen cúbico, registrando la carga de falla para posteriormente calcular el esfuerzo a compresión del espécimen (ASTM C 109M, 2002).

Se prueban 3 cubos por sustitución (CBC y CCV) a compresión Figura 10.1 a las edades de 14, 28 y 45 días. Con los valores obtenidos se saca un promedio para determinar la resistencia a compresión de dicha mezcla. Cabe aclarar que de la misma forma se probaron los especímenes testigo (3 por edad).



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



Para determinar la resistencia a compresión se usó la ecuación 10.1:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{ecuación (8.1)}$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo a compresión, kg/cm<sup>2</sup>.

$P$  = Carga, kg.

$A$  = Área transversal del cilindro, cm<sup>2</sup>.



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 10.1. Colocación y prueba del espécimen cúbico para prueba de compresión.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 10.3. Determinación de la resistencia a la flexión

Esta prueba se realiza a los especímenes prismáticos de 4cm x 4cm x 16cm. Se probaron tres muestras por sustitución (CBC y CCV) y testigo en cada fecha establecida, el procedimiento seguido se describe a continuación:

1. Se marcó el prisma a 1" de sus extremos, también se marca con una línea al centro del claro del prisma, la cual deberá ser donde se aplique la carga.
2. Se montó en los soportes adecuados para esta prueba y se aplica carga sin impacto y a una velocidad constante (ASTM C 293, 2002) Figura 10.2.
3. Se registró la carga de falla y la ubicación de la misma, ya que la ecuación para el Módulo de Ruptura es diferente si la falla se da en el tercio medio marcado o fuera de él.

Los cálculos se realizaron con el empleo de la siguiente ecuación 10.2:

$$MR = \frac{3WL}{2BD^2} \quad \text{ecuación (10.2)}$$

Dónde:

MR=Módulo de ruptura, kg/cm<sup>2</sup>

W=Máxima carga aplicada indicada por la máquina de prueba, kg.

L = Longitud entre apoyos de la muestra, cm.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



$B$  = Ancho promedio de la muestra, cm.

$D$  = Espesor promedio de la muestra, cm.

Si la fractura se produce en la superficie la tensión fuera del tercio medio de la longitud de tramo y en no más que 5% de la longitud del tramo, el Módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera, ecuación 10.3:

$$R = \frac{3Wa}{BD^2} \quad \text{ecuación (10.3)}$$

Dónde:

$a$  = Distancia media entre la línea de fractura y el soporte más cercano medida en la superficie de tensión de la viga, cm.

Si la fractura se produce en la superficie la tensión fuera del tercio medio de la longitud de tramo y en más de un 5% de la longitud del tramo, se deberán desechar los resultados de la prueba.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Figura 10.2. Prueba a flexión en primas.

### 10.4. Determinación de la resistencia a la tensión.

La determinación de la resistencia a tensión realizada en briquetas, se efectuó en la máquina de prueba para tensión en morteros tipo Michaelis.

El procedimiento seguido se describe a continuación:

1. Se sacaron de la pila de curado las muestras a probar a la edad correspondiente.
2. Se tomaron las medidas de la sección media ( $S_m$ ) de la briketa.
3. Se colocó la briketa en la máquina la cual debe quedar perfectamente nivelada.
4. Se aplicó la carga lenta y constantemente por medio de las municiones hasta la falla de la muestra Figura 10.3.
5. Después de la falla de la muestra se retiraron las municiones.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



pesándolas al decimo de de gramo, el peso de las municiones ( $P_m$ ) fue considerado como la carga que soporto la sección media de la briqueta.

En los cálculos para determinar la resistencia a tensión se usó la siguiente ecuación:

$$R = P_m \frac{x50}{s_m}$$

Donde:

$R$  = resistencia a la tensión en  $\text{kg}/\text{cm}^2$

$P_m$  = peso de las municiones o carga de ruptura en  $\text{kg}$ .

$s_m$  = sección media de la briqueta en  $\text{cm}^2$ .

50 = constante de la máquina.



Figura 10.3. Tensión en briquetas, máquina Michellis.



## **11. PRUEBAS DE ADHERENCIA.**

Una vez que obtuvo la edad correspondiente para realizar las pruebas de adherencia, se comenzó por hacer una perforación en la superficie del revestimiento lo cual se observa en la Figura 11.1, esta se hizo mediante la ayuda de un esmeril angular portátil marca Black & Decker con una potencia de 750w y 11000rpm adicionada de una broca circular con punta de diamante de 50mm de espesor, la perforación se hizo a un cm por debajo del sustrato de concreto.

Una vez que se realizaron las perforaciones a las mezclas correspondientes se procedió a pegar los discos de acero inoxidable, esto se ilustra en la Figura 11.2 los cuales sirvieron para realizar dicha prueba, los discos se adhirieron al revestimiento mediante un epóxico, el epóxico utilizado es marca Sikadur-31 Hi-Mod Gel, se dejó secar el epóxico aproximadamente 3 o 4 horas.

Una vez que el epóxico estuvo seco se procedió a realizar la prueba de adherencia, esto se observa en la Figura 11.2, la cual consistió en insertar el perno con cabeza cilíndrica en el disco de metal pegado a la superficie de la muestra, después se colocó el instrumento de medición de carga en el perno con cabeza de pelota para después apretar ligeramente hasta sentir una ligera tensión, se comenzó a aplicarle carga lenta y constante en el rango que indica la norma, hasta que se obtuvo la falla de la muestra (ASTM C 1583, 2004), es decir hasta que hubo desprendimiento del revestimiento o sustrato de concreto, posteriormente se tomó la lectura de carga necesaria para desprender el revestimiento y se registró como carga de ruptura, también se observó y registró el tipo de falla, es decir si la falla ocurrió en el sustrato, en la línea de unión entre el sustrato y el revestimiento o en el revestimiento de mortero.



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



10.4.- Perforación de losas para pruebas de revestimiento.



Figura 10.5.- Realización de las pruebas de adherencia.



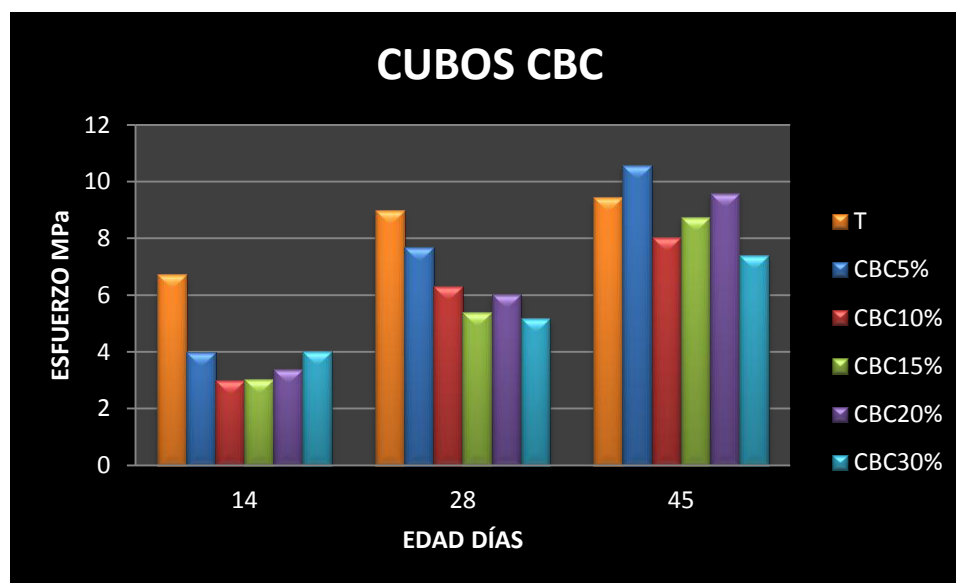
## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 12. RESULTADOS.

#### 12.1. Compresión.

La Gráfica 12.1, muestra los resultados de manera visual de todas las mezclas que contienen sustitución de Ceniza de Bagazo de Caña (CBC). Se puede apreciar que todas las mezclas tienen un comportamiento ascendente, destacando el barra de color naranja que es la mezcla testigo. A los 45 días la mezcla con sustitución de 5% de CBC ha superado al testigo.



Gráfica 12.1. Compresión en cubos CBC.

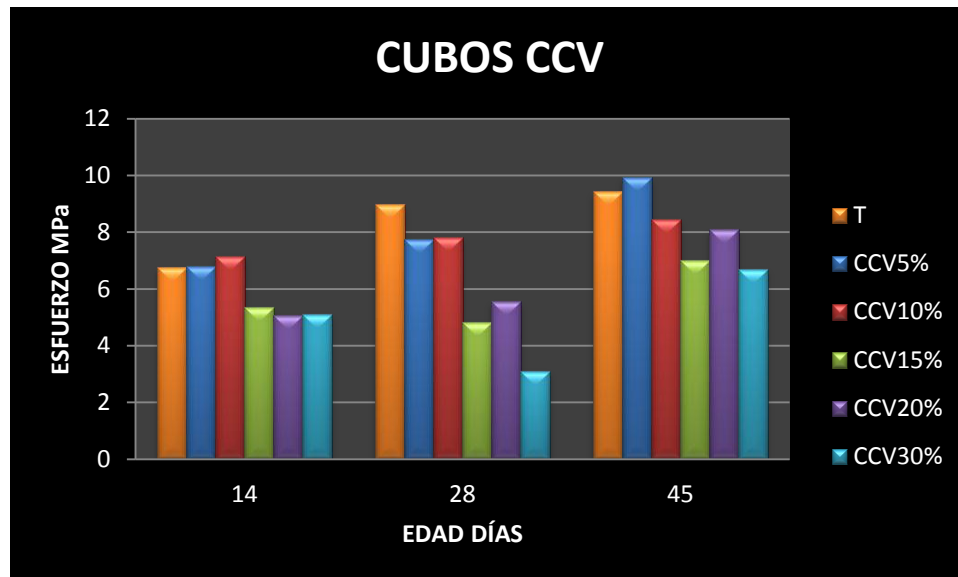
En lo que respecta a la Ceniza de Carbón Vegetal, las pruebas de compresión se representan de la misma manera que la ceniza anterior. La Gráfica 12.2 muestra los resultados de CCV. Al igual que la anterior el porcentaje 5% supero al testigo a 45 días y el porcentaje de 20% el siguiente porcentaje de



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



interés.



Gráfica 12.2. Resultados compresión CCV.

### 12.2. Flexión.

Las pruebas de flexión como se mencionó se realizaron con el uso de elementos prismáticos. La flexión no es un comportamiento al que el mortero se encuentra sometido normalmente, sin embargo es una prueba que se realiza para evaluar el comportamiento que tiene en el caso que se presente dicha circunstancia.

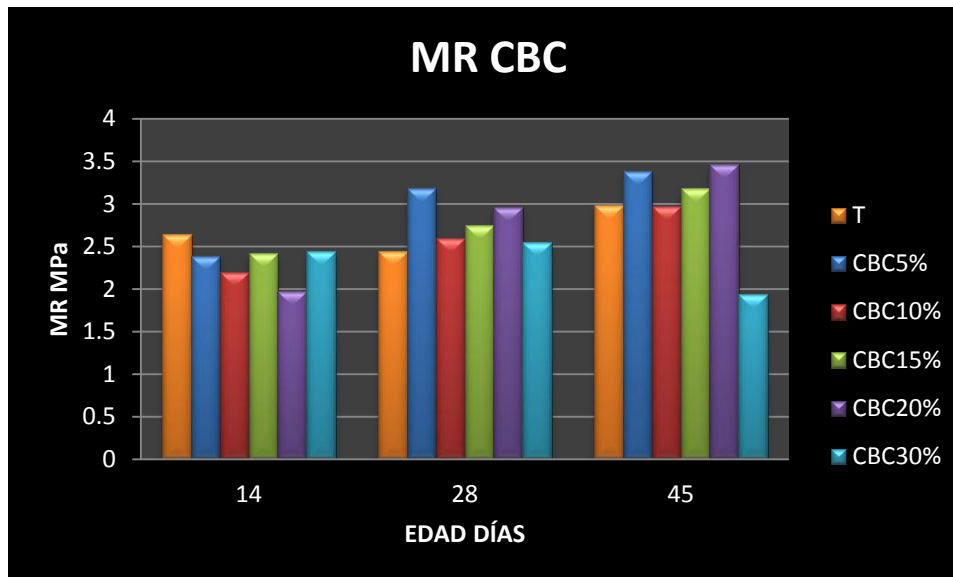
En lo referente a la mezcla que contiene CBC presenta muy buen comportamiento en el aspecto de flexión, haciendo que el material tenga un



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



comportamiento más elástico. Gráfica 12.3.

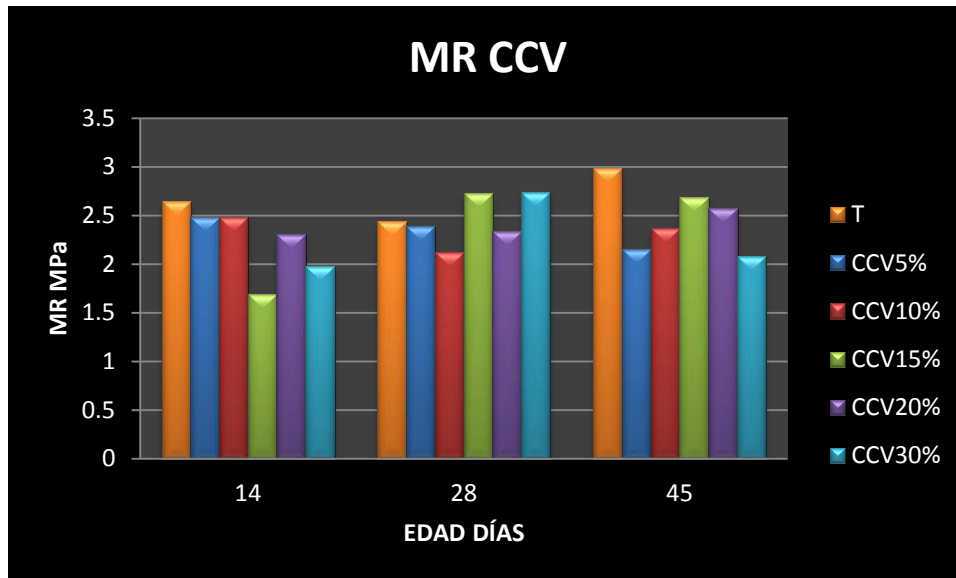


Gráfica 12.3. Resultados de la prueba a flexión.

Para la mezcla de CCV el mejoramiento en la flexión no es tan notorio, si embargo se nota que la tendencia de crecimiento en las mezclas con las diferentes sustituciones no es la misma que la tendencia del testigo, es decir las mezclas con CCV pareciera que van a seguir con un incremento en la resistencia a flexión. Gráfica 12.4.



# CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO



Gráfica 12.4. Resultados a flexión CCV. 1



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 13. CONCLUSIÓN.

Una vez analizado los resultados de las pruebas a compresión y flexión se observa que las mezclas que se hicieron con las dos distintas cenizas presentan resultados favorables a edades tardías, esto puede deberse a que la reacción puzolánica conlleva un mayor tiempo para que se lleve a cabo.

Los mejores resultados hasta la fecha, son las mezclas que contienen un porcentaje de 5%, que incluso han superado al testigo, lo cual es el objetivo que se buscó en el proyecto de la tesis. El porcentaje de 20% en sustitución presenta un comportamiento interesante, aún no se ven resultados superiores al testigo, pero se ve un comportamiento ascendente en una tendencia mayor al testigo lo que hace pensar que esta tendencia se va a seguir presentando con el paso del tiempo, además como es un aspecto a considerar, es que un 20% de sustitución representa una mayor cantidad de ceniza y por lo tanto un menor uso de cemento.

Particularizando entre las dos cenizas utilizadas la Ceniza de Bagazo de Caña presenta mejores características en las pruebas realizadas. Este comportamiento puede deberse al contenido de celulosa que puede contener, sobre todo esto se piensa por la gran resistencia que presentó en las pruebas de adherencia.





## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



### 14. BIBLIOGRAFÍA

- ARQHYS. (s.f.). Recuperado el 06 de Febrero de 2012, de <http://www.arqhys.com/construccion/mortero.html>
- ASTM C 109M, I. (2002). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*1. Estados Unidos.
- ASTM C 1583. (2004). *Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)*. Estados Unidos.
- ASTM C 293. (2002). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*. Estados Unidos.
- ASTM C 469. (2002). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. Estados Unidos.
- ASTM C 511. (2003). *Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes*. Estados Unidos.
- ASTM C 91. (1995). *Standard Specification for Masonry Cement*. Estados Unidos.
- CANACEM. (s.f.). Recuperado el 27 de ENERO de 2012, de [http://www.canacem.org.mx/tipos\\_de\\_cemento.htm](http://www.canacem.org.mx/tipos_de_cemento.htm)
- E., R. F. (s.f.). Morteros de albañilería para restauración, como aditivo miel de abeja. Facultad de Ingeniería Civil.
- Foro-Mexico.com. (s.f.). Recuperado el 16 de Febrero de 2012, de <http://www.foro-mexico.com/michoacan-de-ocampo/cuto-de-la-esperanza/mensaje-212513.html>



## CENIZAS DE ORIGEN ORGÁNICO: SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICOS DE MORTEROS DE CEMENTO



García Rivero, J. L. (2004). *Manual técnico de Construcción Holcim Apasco*.  
Fernando Porrúa.

IECA. (s.f.). Recuperado el 2012 de Febrero de 2012, de  
[http://www.ieca.es/reportaje.asp?id\\_rep=5](http://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5)

INGTEKCH. (s.f.). *El constructor civil*. Recuperado el 06 de Febrero de 2012, de  
<http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/morteros-de-cemento-portland.html>

(2004). En D. Mendoza, E. L. Brito Benitez, & J. A. Arenas Alatorre, *La ciencia de  
mateeriales y su impacto en la arqueología* (págs. 156-159).

Pacífica, R. m. (2008). Evolución reciente de la industria de cemento. *PORTES*,  
165-202.

Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 06 de Febrero de 2012, de  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>