



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**“Desarrollo de un mortero de azufre óptimo para
refrentado y utilización en anclajes rápidos en
construcción”**

AUTOR:

Palacios Ávila, Ricardo Javier

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Luis, Octavio Yépez

**Guayaquil, Ecuador
2013**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Ricardo Javier, Palacios Ávila, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Civil.

TUTOR

Ing. Luis, Octavio Yépez

REVISOR

Ing. Carlos, Chon Díaz

Lic. Ruth Zambrano Saltos

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario, Dueñas Rossi

Guayaquil, a los 15 de agosto del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Ricardo Javier Palacios Ávila

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “desarrollo de un mortero de azufre óptimo para refrentado y utilización en anclajes rápidos en construcción”, previa a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 15 de agosto del año 2013

EL AUTOR

Ricardo Javier, Palacios Ávila



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Ricardo Javier Palacios Ávila

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: desarrollo de un mortero de azufre óptimo para refrentado y utilización en anclajes rápidos en construcción, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 agosto del año 2013

EL AUTOR:

Ricardo Javier, Palacios Ávila

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**ING. LUIS, OCTAVIO YEPEZ
PROFESOR GUÍA O TUTOR**

**ING. CARLOS, CHON DIAZ
PROFESOR DELEGADO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

ING. LUIS, OCTAVIO YEPEZ

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

Capítulo I

Marco Teórico

1. El Azufre

1.1 Introducción.....	4
1.2 Definición.....	4
1.3 Ventajas del azufre.....	4
1.4 Punto de fusión y punto de ebullición.....	4
1.5 Consideraciones a la salud.....	5
1.6 Uso del azufre en la construcción.....	6

Capítulo II

2. Material de relleno

2.1 Introducción.....	8
2.2 Definición de cascarilla de arroz.....	8
2.3 Propiedades físicas de la ceniza de arroz.....	8
2.4 Composición mineral de la ceniza de arroz.....	9
2.5 Composición química de la ceniza de la cascarilla de arroz.....	9
2.6 Obtención de ceniza de arroz en el Ecuador.....	10

Capítulo III

Marco Experimental

3. Refrentado

3.1 proceso de refrentado de azufre.....	12
3.2 Definición de refrentado.....	12
3.3 Tipos de refrentado.....	12
3.4 Requisito para un buen refrentado.....	14
3.5 determinación de la resistencia a la compresión y control del mortero de azufre.....	16

Capítulo IV

4. Proceso de armado de anclaje y refrentado de azufre

4.1 Materiales del dado de hormigón.....	20
4.1.1 Armadura.....	20
4.1.2 Hormigón.....	21
4.2 Dimensiones del dado de hormigón.....	21
4.3 Colocación de tubos postensados.....	22
4.4 Colocación del hormigón en el dado.....	23
4.5 Desencofrado.....	24
4.6 Puesta a punto del dado para las pruebas.....	24
4.7 Materiales para el mortero de azufre.....	25
4.7.1 Ceniza de arroz.....	25
4.7.2 Cemento.....	25
4.8 Mezclas para los diferentes morteros.....	26
4.8.1 Mezcla ceniza de arroz con azufre.....	26
4.8.2 Mezcla cemento con azufre.....	27
4.9 Preparación del mortero de azufre.....	28

4.10	Preparación del mortero óptimo para las pruebas de anclajes.....	33
4.11	Elementos para la prueba de anclajes.....	35
4.11.1	Fabricación de mordazas para las varillas.....	35
4.11.2	Placas.....	35
4.11.3	Preparación del gato hidráulico para pruebas.....	36

Capítulo V

5. Análisis de resultados.....	44
---------------------------------------	-----------

Capítulo VI

6. Conclusiones y Recomendaciones.....	49
---	-----------

Capítulo VII

7. Referencias bibliográficas.....	52
---	-----------

ANEXO.....	54
-------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla # 01 Propiedades físicas de la ceniza de arroz.....	7
Tabla # 02 Composición mineral de la ceniza de arroz.....	8
Tabla # 03 Composición química de la ceniza de arroz.....	8
Tabla # 04 Obtención de ceniza de arroz en ecuador desde 1997 hasta 2007.....	9
Tabla # 05 Resistencia a la compresión y espesor mínimo de capeo.....	14
Tabla # 06 Resultado de las pruebas de Ceniza de arroz y Azufre.....	43
Tabla # 07 Resultado de las pruebas de Cemento y Azufre.....	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico # 01 Resistencia a compresión vs porcentaje de ceniza de arroz...**43**

Gráfico # 02 Resistencia a compresión vs porcentaje de cemento.....**44**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura # 01 Diagrama de cubierta para moldes de cubos de 50mm (2 pulg).....	13
Figura # 02 Aparato para refrentado para cilindros de concreto endurecidos.....	14
Figura # 03 Diagrama de flujo de utilización del mortero de azufre.....	18
Figura # 04 Armadura.....	21
Figura # 05 fundición de dado en el laboratorio del CEINVES.....	21
Figura # 06 Dado visto desde arriba.....	22
Figura # 07 colocación de tubos postensados.....	22
Figuras # 08-09-10 Fundición, vaciado, curado.....	23
Figura # 11 Desencofrado.....	24
Figura # 12 Cenizas de arroz pasante del matiz 40 a 200.....	25
Figura # 13 Mezcla ceniza de arroz con azufre al 10%.....	26
Figura # 14 Mezcla finalizada ceniza con azufre al 10%.....	26
Figura # 15 Mezcla finalizada con cemento al 50%.....	27
Figura # 16 Vaciado de la mezcla al horno.....	28
Figuras # 17 Calentando la mezcla a 115 °C.....	29
Figuras # 18 agitando el azufre antes de su fase líquida.....	30
Figuras # 19 proceso de preparación del molde y vaciado del azufre.....	31
Figuras # 20 cubo en forma sólida para ensayar a compresión.....	32
Figuras # 21 Preparación y fundición del mortero para el ensayo.....	33
Figuras # 22 varillas, mezclas de azufre y proceso de vertido dentro del dado.....	34
Figura # 23 Mordazas.....	35
Figura # 24 Placa.....	35

Figura # 25	Placa haciendo contacto con el dado de hormigón.....	36
Figura # 26	Colocación de madera sobre la placa para que el gato no sufra ningún daño al empezar la prueba de tracción.....	36
Figura # 27	El gato introducido en la varilla de 25mm.....	37
Figura # 28	Gato hidráulico con su segunda placa, listo para ser soldado...	38
Figura # 29	Soldando el anillo a las mordazas.....	39
Figura # 30	Cordón de soldadura a la varilla de 25mm.....	39
Figura # 31	Vista en planta del gato puesto a punto para la prueba.....	39
Figura # 32	bomba de 1000 psi.....	40
Figura # 33	Bomba de presión introduciendo aceite al gato hidráulico.....	40
Figura # 34	Manómetro del gato.....	41
Figura # 35	Elongación de la varilla.....	41
Figura # 36	desprendimiento del mortero de azufre del tubo de postensado introducido en el dado de hormigón.....	42
Figura # 37	Falla del azufre por adherencia a la varilla de 25mm.....	42

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación el punto de partida fue cumplir el objetivo de demostrar que el mortero de azufre funcione para ser utilizado en refrentado y a su vez en anclajes en la construcción de elementos segmentales como un pilote; para este desarrollo se analizó las propiedades del azufre sometido a pruebas de compresión con distintos tipos de agregados como el cemento y la ceniza de arroz para ser usados como morteros en ensayos de laboratorios y a su vez, anclajes con varillas. Este análisis permitió a realizar muestras con distintos porcentajes de los materiales de agregados ya mencionados y luego ser sometido a ensayos de compresión simple en el laboratorio, por lo tanto se trabajó con el método experimental que a su vez pretendió demostrar las bondades óptimas de esta combinación.

Según los resultados obtenidos en varias pruebas se llegó a la conclusión de que los morteros ensayados a compresión con ceniza de arroz dieron mejores resultados que los que fueron combinados con cemento y este a su vez, fue usado para los ensayos de anclajes en varillas obteniendo también excelentes resultados, pudiendo destacar que es factible el uso de este material para futuros trabajos de ingeniería.

Palabras Claves: Mortero de azufre con ceniza de arroz y cemento, para refrentado y anclajes



INTRODUCCIÓN

En los laboratorios normalmente se utilizan materiales para refrentar muestras. El mortero de azufre es uno de los más utilizados y se lo puede adquirir en empresas importadoras para equipos de laboratorios. Resulta conveniente el desarrollo local de Refrentado con la finalidad de abaratar costos.

Paralelamente el mortero de azufre puede ser utilizado como material de anclaje rápido en obra, como ejemplo, para la hincas de pilotes segmentales. El trabajo de grado tiene como principal propósito evaluar la resistencia del mortero artesanal de azufre, con materiales de relleno como el cemento y la ceniza de arroz. De tal manera que se pueda obtener conclusiones y resultados que nos faciliten de forma constructiva y económica nuestros ensayos en laboratorios y futuras construcciones civiles.

El trabajo consta de seis capítulos. *El primer capítulo* contiene información del material principal a utilizar en un laboratorio con la finalidad de conocer sus ventajas, consideraciones y usos en construcciones. *El segundo capítulo* incluye datos acerca de la ceniza de arroz y su utilidad como relleno para el ensayo de refrentado en el laboratorio. La finalidad es conocer las propiedades y la abundancia que posee este componente de relleno en a nivel local.

El tercer capítulo muestra el proceso experimental de cómo se debe llevar el ensayo del refrentado en los laboratorios, tal como lo indica la Norma ASTM C 617 Y C109/C109M, para el buen uso del ensayo, el mortero de azufre y su reciclado. *El cuarto capítulo* detalla el proceso experimental de la construcción del dado de hormigón, tubos de anclajes, perforaciones, preparación del mortero, y puesta a punto para las pruebas.



El quinto capítulo muestra los resultados a partir de los ensayos según las normas ASTM C 617 Y C109/C109M y *el sexto capítulo* se da conocer las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio del **CEINVES**.



CAPÍTULO I

EL AZUFRE



MARCO TEÓRICO

1.1- INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es dar a conocer aspectos relativos a la utilización, ventajas y desventajas que tiene el azufre como mineral y material para uso en la construcción.

1.2 DEFINICIÓN

El azufre es un elemento químico, un no metal abundante que se encuentra en su forma nativa en regiones volcánicas. En sus formas reducidas se lo puede observar formando sulfuros y sulfosales; en sus formas oxidadas, como sulfatos. Es esencial para todos los organismos y necesario para muchos aminoácidos y proteínas. Usualmente se utiliza como fertilizante, también para la fabricación de pólvoras e insecticidas. (Academia, 2009)

1.3 VENTAJAS DEL AZUFRE

El azufre es un mineral muy abundante en zonas volcánicas, además su capacidad de enfriamiento es muy rápida, lo cual se puede obtener resistencias muy altas en lapsos muy cortos de tiempo. También el azufre es un mineral que es muy resistente a la corrosión al medio ácido y salino y tiene una alta resistividad eléctrica.

1.4 PUNTO DE FUSIÓN Y PUNTO DE EBULLICIÓN

El azufre como tal tiene un punto de fusión más alto que el agua, llegando a fusionarse a una temperatura de 115°C y luego llegar al punto de ebullición a 444.60°C aproximadamente.



1.5 CONSIDERACIONES A LA SALUD

(lenntech.es, 2011) Nos dice que Las sustancias sulfurosas pueden tener los siguientes efectos en la Salud humana:

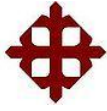
- Puede producir efectos neurológicos y cambios de comportamiento.
- Puede aturdir la circulación sanguínea.
- Puede provocar daños cardíacos.
- Puede afectar a los ojos y a la visión.
- Puede originar fallos reproductores.
- Puede causar daños en el sistema inmunitario.
- Puede provocar desórdenes estomacales y gastrointestinales.
- Puede originar daños en las funciones del hígado y los riñones.
- Puede producir defectos en la audición.
- Puede alterar el metabolismo hormonal.
- Puede causar efectos dermatológicos.
- Puede producir irritación de las vías respiratorias, bronquitis, asfixia, embolia pulmonar, asma.
- Puede provocar ronquera y presión en el pecho.
- Puede causar dolores de cabeza.
- Puede provocar irritación en la boca, la faringe y los bronquios.



1.6 USO DEL AZUFRE EN LA CONSTRUCCIÓN

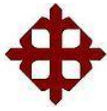
(Sytrex, 2011) *Nos dice que desde 1984, el Instituto de Concreto Americano ha sido activo en desarrollar lineamientos en el uso de Hormigón de azufre. Se han producido aplicaciones con potencial para un mercado de grandes volúmenes, por ejemplo:*

- Cubrimiento de caminos y elementos de arcilla para carreteras.
- Construcción de vías de tren.
- Construcción de tubos de Hormigón.
- Tanques resistentes a la corrosión y elementos estructurales en plantas químicas.
- Construcción para almacenamientos de ganado.
- Encapsulamiento de desperdicios nucleares y químicos peligrosos.
- Asfaltos de azufre.



CAPÍTULO II

Material de relleno



2.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es dar a conocer las propiedades físicas y químicas de la ceniza de arroz. Saber de dónde proviene, en qué lugar y la producción que se puede obtener de la misma.

2.2 DEFINICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice. Estas propiedades le otorgan su utilización como alimento, sustituto de madera, abono de cultivos, combustible y además su aplicación en el campo agrícola, de la construcción y como aislante térmico. (Allauca, 2009)

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CENIZA DE ARROZ

Para la producción de la ceniza de arroz se debe tratar la cascarilla de arroz, ya que ésta se debe ser calcinada a temperaturas adecuadas para que no se formen los cristales en forma desordenada. La temperatura de fusión de la cascarilla de arroz es de 500 a 700 grados centígrados. Los detalles a continuación: (Allauca, 2009)

Tabla # 01 Propiedades físicas de la ceniza de arroz

Propiedades	Valor
Densidad (SSS) Kg/m ³	2265
Masa Unitaria Compacta. Kg/m ³	452
Masa Unitaria Suelta. Kg/m ³	181
Superficie Especifica m ² /Kg	2000



2.4 COMPOSICIÓN MINERAL DE LA CENIZA DE ARROZ

Las propiedades minerales de la cascarilla de arroz, después de ser calcinadas, son las indicadas a continuación:

Tabla # 02 Composición mineral de la ceniza de arroz

Componente Químico	Ceniza de Cascarilla de Arroz
SiO ₂	94.1
Al ₂ O ₃	0.12
Fe ₂ O ₃	0.30
CaO	0.55
MgO	0.95
K ₂ O	2.10
Na ₂ O	0.11
P ₂ O ₅	0.41
SO ₃	0.06

2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Se detalla a continuación:

Tabla # 03 Composición química de la ceniza de arroz

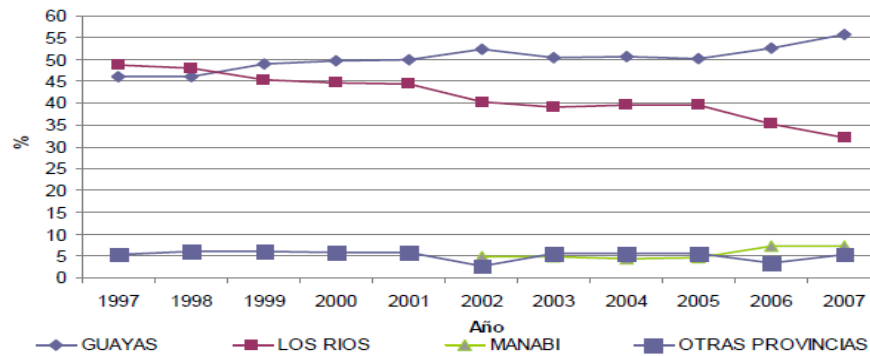
Componente Químico	Ceniza de Cascarilla de Arroz
SiO ₂	91.2
Al ₂ O ₃	0.94
Fe ₂ O ₃	0.37
CaO	2.15
MgO	0.88
K ₂ O	2.10



2.6 OBTENCIÓN DE CENIZA DE ARROZ EN EL ECUADOR.

La producción de arroz en el Ecuador en el año 2007 fue de 1'371.189 toneladas a nivel nacional el 55% corresponde a la provincia del Guayas y el 33% corresponde a la provincia de Los Ríos.

Tabla # 04 Obtención de ceniza de arroz en Ecuador desde 1997 hasta 2007.





CAPÍTULO III

Refrentado



MARCO EXPERIMENTAL

3.1 PROCESO DEL REFERNTADO DE AZUFRE

El objetivo de este capítulo es presentar el procedimiento de un refrentado utilizado en los laboratorios de materiales para los ensayos de compresión. Además, se pretende demostrar las bondades óptimas de un mortero hecho con azufre, conocer su proceso de elaboración para refrentado en probetas de hormigón.

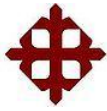
3.2 DEFINICIÓN DE REFRENTADO

Es el procedimiento de aplicación y moldeo de la capa de refrentado sobre una superficie de carga en una probeta de hormigón. Su objetivo es corregir los defectos de planeidad y/o paralelismo entre las caras. Como resultado se espera obtener la mejor coincidencia posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo, además, una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga. (Construmatica, 2011)

Esta práctica describe los procedimientos para proveer superficies planas en los extremos de los cilindros de concreto recién elaborados, endurecidos o núcleos de concretos taladrados. Todo esto se realiza cuando la superficie extrema no esté conforme con la superficie plana y la perpendicularidad requerida de los estándares aplicables.

3.3 TIPOS DE REFRENTADOS

(Dudley, 2005) explica que existen tres tipos de refrentado, como son *Pasta de cemento hidráulico puro*: Se debe realizar ensayos de calificación de la pasta de cemento hidráulico puro antes de utilizarla en el cabeceo. La

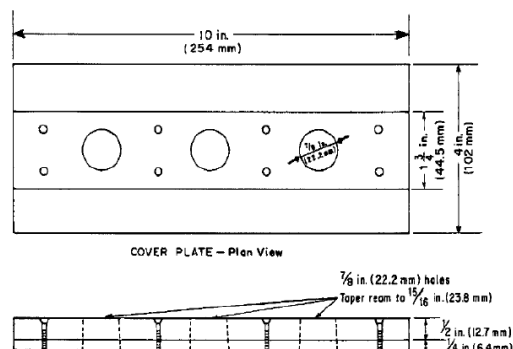


finalidad es establecer los efectos de la relación agua-cemento y la edad sobre el esfuerzo a compresión de cubos de 50 mm (2 pulg). Los cementos generalmente usados están en la especificación C150, tipo I, II, Y III; sin embargo, la especificación C595 también pueden ser usados cementos mezclados de aluminato de calcio u otros cementos hidráulicos que produzcan resistencias aceptables.

Yeso plástico de alta resistencia: se mezcla mortero de cemento yeso con la relación agua/cemento deseada y úsela rápidamente puesto que fragua enseguida. La relación agua/yeso-cemento deberá estar entre 0.26 y 0.30. El uso de relaciones agua/cemento bajas y mezclado vigoroso usualmente permite desarrollar resistencias de 5000psi (35Mpa) a edades de 1 o 2 horas. Relaciones agua/yeso-cemento mayores extienden el tiempo de trabajabilidad pero reducen la resistencia.

Morteros de azufre: los morteros de azufre preparado en laboratorios o patentados se los deja endurecer por lo menos 2 horas antes de ensayar el hormigón con esfuerzo menor a 5000 psi (35Mpa). Para esfuerzos mayores a 5000 psi se debe permitir endurecer al mortero 16horas antes del ensayo. La temperatura del mortero de sulfuro de estar entre un rango de 129°C a 149°C.

Figura # 01 Diagrama de cubierta para moldes de cubos de 50mm (2 pulg).



Fuente: Norma ASTM C617

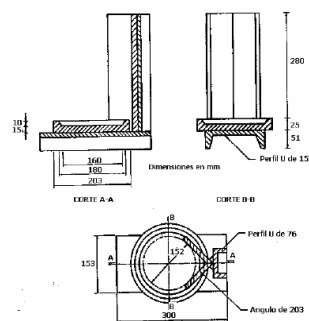


3.4 REQUISITOS PARA UN BUEN REFRENTADO

(Dudley, 2005) explica que un buen refrentado necesita tener un equipo y materiales para llevar a cabo el ensayo. Debe estar compuesto de placas de refrentado, dispositivo de alineación, crisoles o vasijas. Para fundir los especímenes frescos o endurecidos se necesitan los tipos de morteros azufre o yeso, que se van a utilizar en el refrentado. Las placas de refrentado tienen características a cumplir de acuerdo al tipo de mortero y de espécimen, podrían ser de vidrio o de metal, si es mortero de yeso o de azufre respectivamente. A su vez sus espesores varían entre 6mm a 11mm de acuerdo a la placa de vidrio o de metal respectivamente.

En cualquier caso, todas las placas deben tener un diámetro superior a 25mm al del espécimen y no se deberán separar del plano ideal en más de 0.05mm en 150mm. Las superficies de las placas deberán estar libres de rayones o hendiduras, su profundidad no puede ser superior a 0.25mm o de área superficial no mayor a 32mm² y su cavidad no puede ser mayor a 13mm. En conjunto con las placas de refrentado se deberán usar *barras-guías* o niveles de ojos para asegurar una perpendicularidad del eje del espécimen, con una tolerancia de 0.5° que equivale a 3.2mm en 32mm. Ninguna capa de refrentado puede quedar descentrada sobre un espécimen de ensayo más de 1.6mm.

Figura # 02 Aparato para refrentado para cilindros de concreto endurecidos



Fuente: Norma ASTM C109/C 109M-99



Los crisoles para fundir morteros de azufre deben tener controles de temperatura o termómetro. Tienen que estar hechos de metal o revestidos de un material que no reaccione con el mortero de azufre. A su vez estos crisoles se ubicarán dentro de una chimenea que sirva de escape de los gases producidos por el mortero de azufre, puesto que el punto de ignición del azufre es aproximadamente de 227°C , una llama puede ser muy peligrosa. Si la mezcla se inflama, la colocación de la cubierta apaga el fuego. El crisol se debe recargar con material fresco después de que la llama se haya extinguido. La resistencia del material refrentado y espesor de la capa, deberá ser igual a La tabla que se indica a continuación:

Tabla # 05 Resistencia a la compresión y espesor mínimo de capeo

F'C (CILINDRO)	RESIST. MÍN. DEL MATERIAL DE CAPEO	MÁXIMO ESPESOR PROMEDIO DE CAPEO	MÁXIMO. ESPESOR EN CUALQUIER PARTE DEL CAPEO
3.5 a 50 MPa (500 a 7000 psi) o más grande que 7000 psi (50Mpa)	35 MPa (5000 psi) o mayor	6mm. (¼ pulg)	8mm. (5/16 pulg)
	La resistencia a la compresión no menor que la resistencia de los cilindros	3 mm. (1/8 pulg)	5mm. (3 /16 pulg)

Fuente: Adoptado de la Norma ASTM C 617.

Para especímenes frescos la superficie superior puede ser refrentada con una capa delgada y firme de pasta de cemento portland. Para especímenes endurecidos (curados en húmedo) deben ser refrentados con yeso de alta resistencia o con mortero de azufre que cumplan los siguientes requisitos, para *Yeso de alta resistencia*, se debe desarrollar una resistencia a la compresión mínima de 35 Mpa (5000psi), comprobada en cubos de 50mm. Los cubos deben ser elaborados de acuerdo a la norma ASTM 109/C 109M, usando la misma cantidad de agua empleada en la preparación del refrentado. No se deben usar los yesos corrientes empleados en construcción. El porcentaje de agua en masa con respecto al yeso debe



estar entre el 26 y el 30%. Cuando la cantidad de agua sea menor, es mayor la posibilidad de lograr resistencias aceptables después de 1 a 2 horas.

Para *Azufre y Mortero de Azufre* se debe desarrollar en 2 horas una resistencia mínima a la compresión de 35Mpa(5000psi), comprobadas en cubos de 50mm(2") de lado según la norma ASTM 109/C109M.

3.5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y CONTROL DEL MORTERO DE AZUFRE.

Se prepara los especímenes de prueba empleando un molde con tres compartimentos cúbicos de 5cm por otro lado como base y una cubierta formada por una placa metálica.

Si estamos en zonas de baja temperatura, el molde se lo calienta a una temperatura de 20°C a 30°. Luego, se cubre la superficie de los moldes que están en contacto con el mortero de azufre con una capa delgada de aceite mineral y se lleva cerca del recipiente.

El mortero de azufre fundido a una temperatura de 129°C a 149°C, se agita continuamente y se procede a colar los cubos con una cuchara. Rápidamente se llena cada uno de los cubos hasta que lleguen a la parte alta del agujero de la placa. Se deja un tiempo de 15 min para que se presente la contracción por el enfriado y solidificación. Luego, se llena el agujero con el material fundido. Después que se ha completado la solidificación se retiran los cubos del molde sin romper la colada formada por el llenado del agujero en la placa de la cubierta. Se limpia el aceite, se raspan y retiran los sobrantes de las aristas y se verifican los planos de las superficies de contacto.

Después de almacenarlos a la temperatura del laboratorio (ambiente) durante 2 horas mínimo para resistencias de 35Mpa (350kgf/cm²) o de 16



horas para resistencias mayores, se prueban los cubos a la compresión aplicando las cargas en las caras laterales y se calcula su resistencia en MPa (kgf/cm^2).

Se puede disminuir la velocidad del enfriado de los especímenes colocando entre la placa de la cubierta y el molde, una placa plana de fenol formaldehído, de 3mm de espesor, provista de tres agujeros para el llenar con la placa metálica.

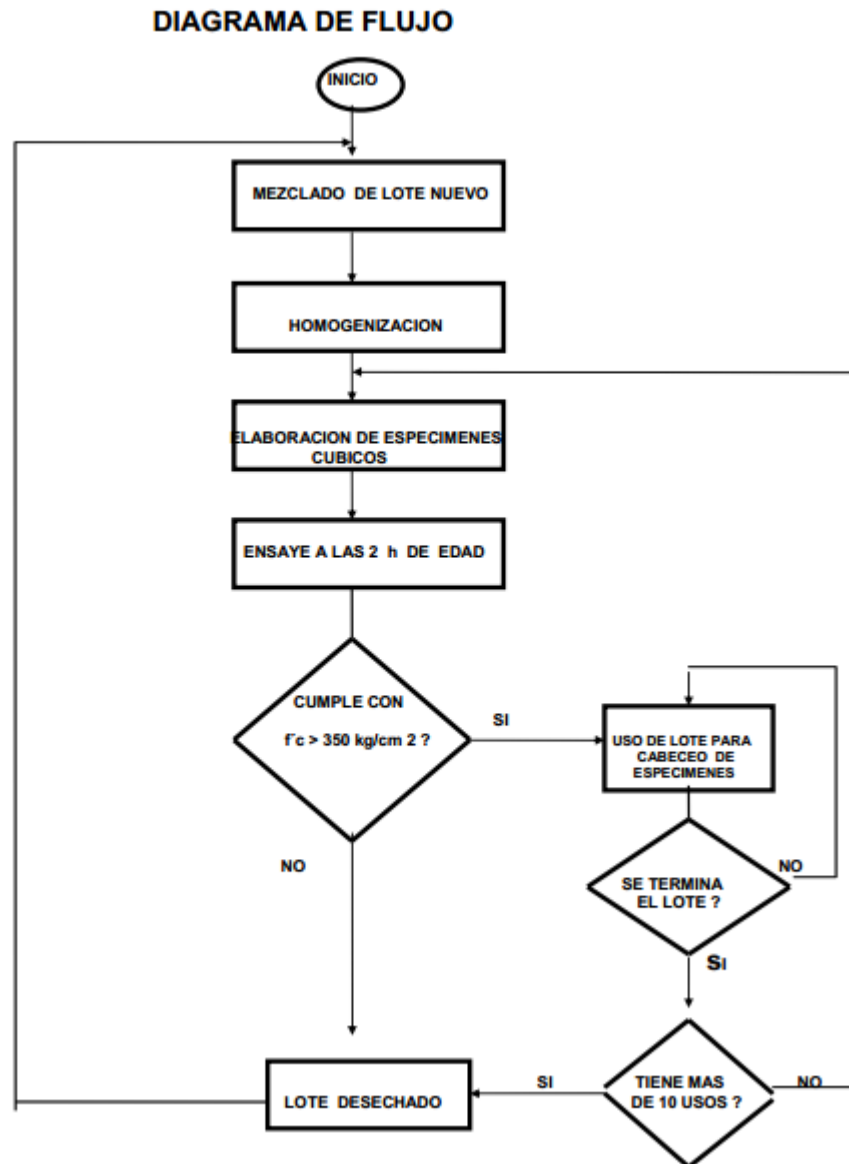
Por su parte el relleno evita la formación de huecos en los cuerpos del cubo del mortero de azufre. Es aconsejable inspeccionar el interior de los cubos después de haber hecho el ensayo a compresión, en lo que se refiere a homogeneidad, siempre que los valores de las resistencias obtenidas sean menores a las esperadas.

Para un buen control de los tres especímenes, se pueden poner a prueba. Si su resistencia es mayor a las esperadas, se vuelve a hacer tres lotes más para confirmar su resistencia y poder reutilizarlo.

Por ningún motivo se mezclan lotes distintos de azufre, ni se reciclan más de 10 veces. Así podríamos determinar un esquema o diagrama de flujo para entender el proceso del buen uso del mortero de azufre y su reciclado. (Univesidad de Sonora, 2002)



Figura # 03 Diagrama de flujo de utilización del mortero de azufre.



Fuente: UNI-FO-CO-20



CAPÍTULO

IV

FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA DE HORMIGON Y MORTERO DE AZUFRE



4. FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA DE HORMIGON Y MORTERO DE AZUFRE

En este capítulo se explica el desarrollo del trabajo de grado, realizado en el laboratorio del CEINVES¹.

El objetivo es el desarrollo de un mortero de azufre, preparado con ceniza de arroz y con cemento obtenido localmente. Debe tener las siguientes características:

- Más barato
- De uso inmediato
- Resistente y factible

Todo esto, ya que en el medio existen diversos tipos de materiales de laboratorio que se usan para refrentado, por su costo elevado resultan muy poco económicos adquirirlos. A su vez también existen morteros de uso para la construcción que por sus elevados costos resultan poco beneficiosos para la misma.

4.1 MATERIALES DEL DADO DE HORMIGÓN

4.1.1 ARMADURA

Se obtuvo colocando acero de refuerzo con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, corrugado, aceros verticales de 80cm $\varnothing 12\text{mm}$, estribado cada 15cm $\varnothing 8\text{mm}$ y 2 guías en el sentido más largo a dos distancias del piso a 40cm y luego a 75cm, en el sentido más corto se colocaron 9 guías a dos distancias del piso a 40cm y luego a 75cm.

¹ CENTRO DE INVESTIGACION EN INGENIERIA ESTRUCTURAL SISMO RESISTENTE



Figura # 04 Armadura



Fuente: Propia

4.1.2 HORMIGÓN

Para el dado se utilizó un hormigón con diseño de laboratorio realizado en concretara con resistencia de $f'c = 280\text{kg/cm}^2$.

Figura # 05 fundición de dado en el laboratorio del CEINVES



Fuente: Propia

4.2 DIMENSIONES DEL DADO DE HORMIGÓN

El dado de hormigón se construyó con las siguientes medidas:

- Largo = 200cm
- Ancho = 80 cm
- Altura = 80cm



Figura # 06 Dado visto desde arriba



Fuente: Propia

4.3 COLOCACIÓN DE TUBOS POSTENSADOS

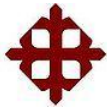
Estos tubos fueron donados por la Empresa *DITELME*, cuya particularidad es construir vigas presforzadas (postensadas o pretensadas). El ancho del tubo es de 2 pulgadas, para poder introducir varillas de 25mm y a su vez colocar el mortero ya probado.

Para su colocación se empleó alambre, atándolos bien a la armadura y colocando cinta adhesiva, para evitar filtración de hormigón en su interior.

Figura # 07 colocación de tubos postensados



Fuente: Propia



4.4 COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN EN EL DADO

Para la fundición del dado de hormigón se utilizó concretera, con un diseño brindado por el laboratorio del CEINVES. Luego se lo vibró y se lo curó por 4 días.

Figuras # 08-09-10 Fundición, vaciado, curado



Fuente: Propia



4.5 DESENCOFRADO

Después de 7 días con el hormigón ya curado se procedió a desencofrar.

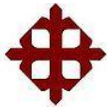
Figura # 11 Desencofrado



Fuente: Propia

4.6 PUESTA A PUNTO DEL DADO PARA LAS PRUEBAS

En esta parte, se procede a esmerilar todos los excesos de tubos que quedan sobresalidos, para tener una superficie óptima de trabajo, se lo realiza con discos de corte junto con una moladora.



4.7 MATERIALES PARA EL MORTERO DE AZUFRE

4.7.1 CENIZA DE ARROZ

Se tamizó la ceniza de arroz y se procedió a elegir los pasantes del tamiz 40 al 200 uniéndolos y mezclándolos para obtener nuestro primer agregado a nuestro mortero de azufre.

Figura # 12 Cenizas de arroz pasante del matiz 40 a 200



Fuente: Propia

4.7.2 CEMENTO

Elegimos el cemento portland IP, que se encuentra en el mercado nacional y a nivel regional de la costa para que sirva de agregado al mortero de azufre.



4.8 MEZCLAS PARA LOS DIFERENTES MORTEROS

4.8.1 MEZCLA CENIZA DE ARROZ CON AZUFRE

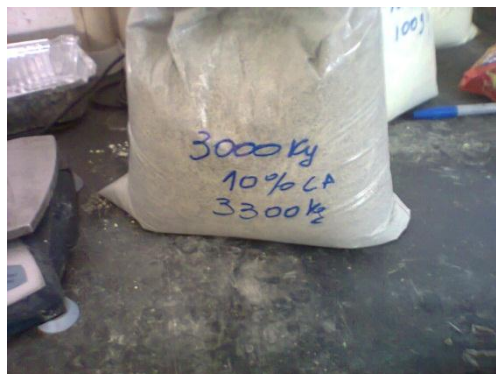
Se procede a realizar la mezcla de la ceniza de arroz con el azufre en porcentajes variables de acuerdo al peso en gramos, comenzando al 1%,2%,5%,12%,15%,17% del peso del azufre que es de 3000g. Se pesa el azufre, la ceniza y se procede a vaciar los dos elementos en una funda plástica para proceder a mezclar. Luego realiza el mismo proceso con todos los porcentajes ya mencionados.

Figura # 13 Mezcla ceniza de arroz con azufre al 10%



Fuente: Propia

Figura # 14 Mezcla finalizada ceniza con azufre al 10%



Fuente: Propia

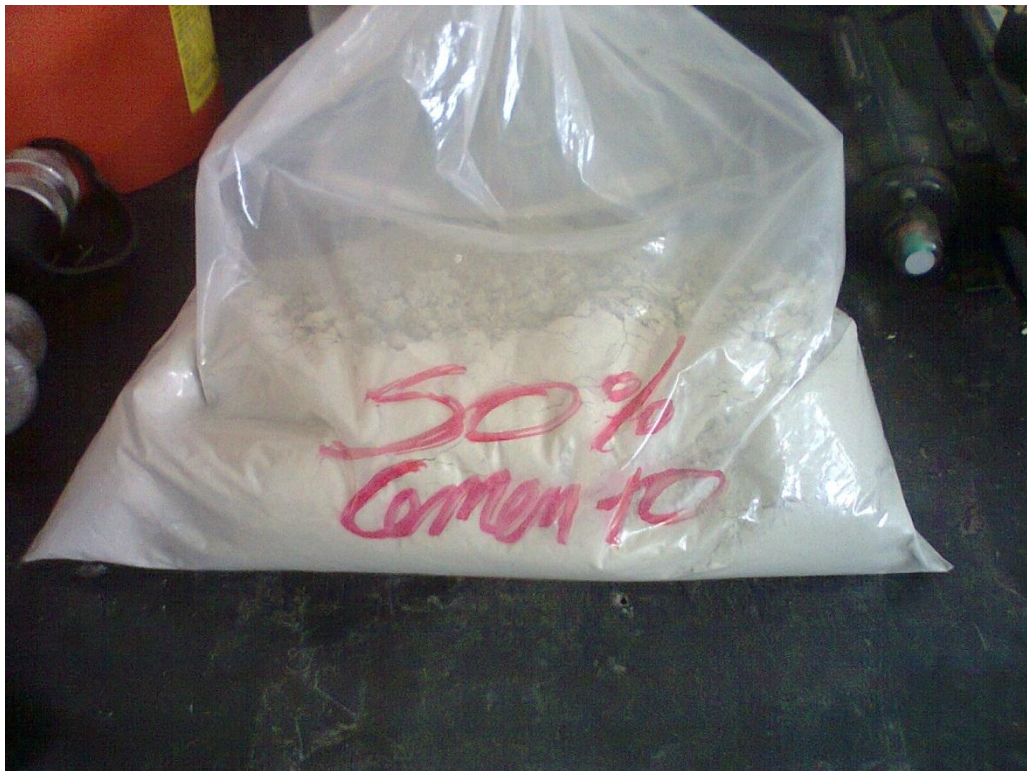


4.8.2 MEZCLA CEMENTO CON AZUFRE

Se procede a realizar la mezcla del cemento con el azufre en porcentajes variables de acuerdo al peso en gramos, comenzando al ,5%,10%,20%,30%,40%,50%,60% del peso del azufre que es de 3000g.

Primero se pesa el azufre, luego el cemento y procedemos a vaciar los dos elementos en una funda plástica para proceder a mezclar. Luego se realiza el mismo proceso con todos los porcentajes ya mencionados.

Figura # 15 Mezcla finalizada con cemento al 50%



Fuente: Propia



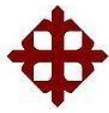
4.9 PREPARACIÓN DEL MORTERO DE AZUFRE

Se procede a realizar el mortero de azufre de acuerdo a la norma ASTM 109/C109M. Dicha norma explica cómo preparar la mezcla, la temperatura adecuada, y la manera de llevarlos al molde para luego ser ensayados a compresión confirmando la resistencia que exige la norma para que funcione como refrentado de azufre.

Figura # 16 Vaciado de la mezcla al horno



Fuente: Propia



Se calienta la mezcla a una temperatura de 115 °C para luego que llegue a su punto de fusión se transforme el líquido y luego sea manejable el azufre.

Figuras # 17 Calentando la mezcla a 115 °C



Fuente: Propia

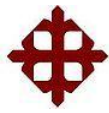


Se agita constantemente el azufre para su rápida fundición, ya que a altas temperaturas se convierte en líquido fácilmente manejable.

Figuras # 18 agitando el azufre antes de su fase líquida



Fuente: Propia

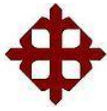


Una vez listo el molde se procede a vaciar la mezcla para obtener nuestros tres cubos para ser ensayados.

Figuras # 19 proceso de preparación del molde y vaciado del azufre

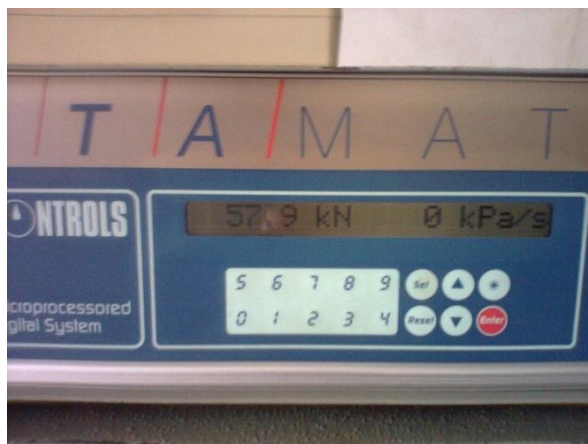


Fuente: Propia

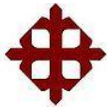


Se ensayan los tres cubos de muestra y se obtiene un promedio de los tres ensayos realizados.

Figuras # 20 cubo en forma sólida para ensayar a compresión



Fuente: Propia



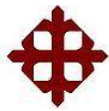
4.10 PREPARACIÓN DEL MORTERO ÓPTIMO PARA LAS PRUEBAS DE ANCLAJES

Una vez realizadas las pruebas con los distintos tipos de morteros, y cuando se obtienen los resultados a la compresión, elegimos el de mayor resistencia. Para utilizarlo en nuestro siguiente ensayo, lo cual haremos trabajar al mortero de azufre en un ensayo de tracción en varillas de diámetro de 25mm ancladas con el mismo mortero, a una profundidad de 80cm y así obtener la fuerza que pueda resistir el mortero.

Figuras # 21 Preparación y fundición del mortero para el ensayo



Fuente: Propia

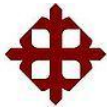


Preparación de varillas de 25mm, colocados en los tubos de postensados y vaciado del mortero de azufre con ceniza de arroz al 15%.

Figuras # 22 varillas, mezclas de azufre y proceso de vertido dentro del dado



Fuente: Propia



4.11 ELEMENTOS PARA LA PRUEBA DE ANCLAJES

4.11.1 FABRICACIÓN DE MORDAZAS PARA LAS VARILLAS

Estas mordazas sirvieron para apretar las varillas al momento de la subida del gato.

Figura # 23 Mordazas



Fuente: Propia

4.11.2 PLACAS

Sirvieron como base del gato hidráulico. Para que al momento que ejercía gran presión sobre el hormigón, el gato no sufra algún daño.

Figura # 24 Placa



Fuente: Propia



4.11.3 PREPARACIÓN DEL GATO HIDRÁULICO PARA PRUEBAS

Se tiene que proteger, por su elevado costo y por su delicada calibración, a su vez se debe seguir los siguientes pasos para su óptimo funcionamiento. Se coloca una placa de acero para mayor contacto con el dado de hormigón.

Figura # 25 Placa haciendo contacto con el dado de hormigón



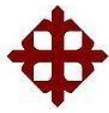
Fuente: Propia

Se coloca un pedazo de madera para que el gato no sufra ningún daño al ser apoyado sobre la placa de acero y al momento de comenzar a estirar la varilla de 25mm de diámetro para probar el mortero de azufre.

Figura # 26 Colocación de madera sobre la placa para que el gato no sufra ningún daño al empezar la prueba de tracción.



Fuente: Propia



Se introduce el gato con sumo cuidado, y luego se le coloca unos pedazos de neopreno, para que no le entre ninguna esquirla de soldadura en el embolo.

Figura # 27 El gato introducido en la varilla de 25mm



Fuente: Propia

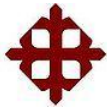


Se le sobrepone otra placa y a su vez las mordazas, luego se lo cubre con un cuero para que protegerlo aún más de la soldadura.

Figura # 28 Gato hidráulico con su segunda placa, listo para ser soldado.



Fuente: Propia



Se suelda un anillo de acero en las mordazas, con el fin de que produzca la presión necesaria sobre la varilla, luego se procede a soldar dos piezas de acero a los lados de la varilla a ensayar, con el fin de que soporte la gran fuerza que imprime el gato.

Figura # 29 Soldando el anillo a las mordazas



Fuente: Propia

Figura # 30 Cordón de soldadura a la varilla de 25mm



Fuente: Propia

Figura # 31 Vista en planta del gato puesto a punto para la prueba

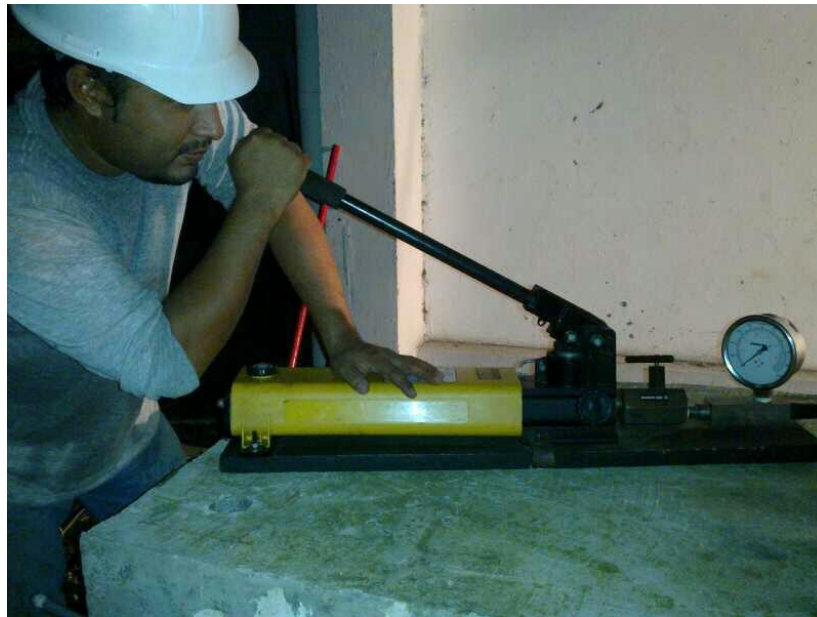


Fuente: Propia



Se introduce aceite de la bomba al gato para producir una presión lo suficiente que pueda estirar a las varillas de 25mm y observar en que limite de presión y fuerza soporta a tracción el mortero de azufre.

Figura # 32 bomba de 1000 psi

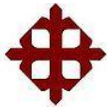


Fuente: Propia

Figura # 33 Bomba de presión introduciendo aceite al gato hidráulico.



Fuente: Propia



Se observa el manómetro en donde nos indica la máxima presión de la bomba antes que se rompiera el mortero de azufre en su parte superior y la elongación de la varilla al sobrepasar el estado de fluencia, entrando en estado plástico.

Figura # 34 Manómetro del gato



Fuente: Propia

Figura # 35 Elongación de la varilla



Fuente: Propia



Apreciamos la falla del mortero de azufre debido a un esfuerzo de 5400 psi que introdujo la bomba al gato, donde luego se procede a cortar la varilla para retirar el gato que esta sobre la misma.

Figura # 36 desprendimiento del mortero de azufre del tubo de postensado introducido en el dado de hormigón



Fuente: Propia

Figura # 37 Falla del azufre por adherencia a la varilla de 25mm.



Fuente: Propia



CAPÍTULO

V

RESULTADOS



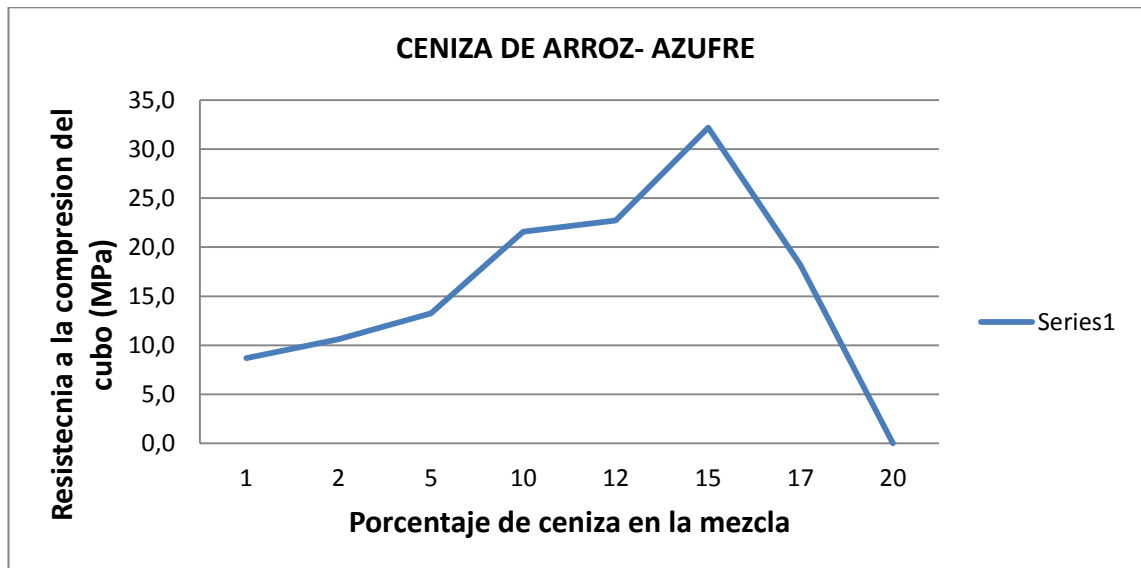
PRUEBAS POR PORCENTAJES DE REFRENTADO

Tabla # 06 Resultado de las pruebas de Ceniza de arroz y Azufre

CENIZA DE ARROZ - AZUFRE				
% Ceniza de arroz	FUERZA(N)	AREA CUBO(mm2)	ESFUERZO(MPA)	ESFUERZO(kg/cm2)
1	23000	2641	8,7	88,8
2	28000	2641	10,6	108,1
5	35000	2641	13,3	135,1
10	57000	2641	21,6	220,1
12	60000	2641	22,7	231,7
15	85000	2641	32,2	328,2
17	48000	2641	18,2	185,3
20	0	2641	0,0	0,0

Fuente: Propia

Gráfica # 01 Resistencia a compresión vs porcentaje de ceniza de arroz



Fuente: Propia

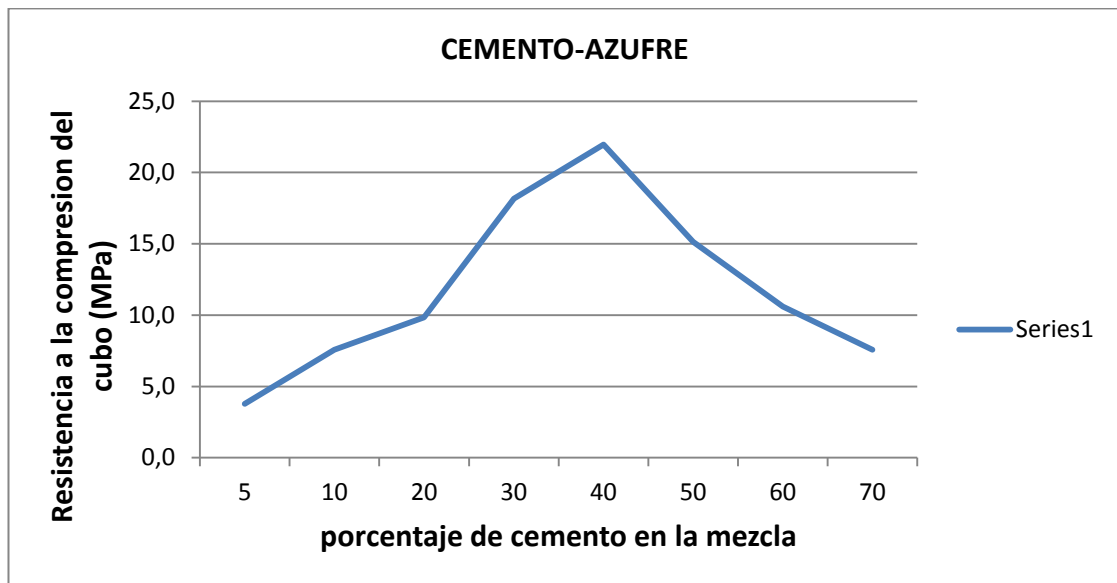


Tabla # 07 Resultado de las pruebas de Cemento y Azufre

CEMENTO - AZUFRE				
% Cemento	FUERZA(N)	AREA CUBO(mm2)	ESFUERZO(MPA)	ESFUERZO(kg/cm2)
5	10000	2641	3,8	38,6
10	20000	2641	7,6	77,2
20	26000	2641	9,8	100,4
30	48000	2641	18,2	185,3
40	58000	2641	22,0	223,9
50	40000	2641	15,1	154,4
60	28000	2641	10,6	108,1
70	20000	2641	7,6	77,2

Fuente: Propia

Gráfica # 02 Resistencia a compresión vs porcentaje de cemento



Fuente: Propia



PRUEBAS DE ANCLAJES AZUFRE-CENIZA DE ARROZ TUBOS PRECRETO Y VARILLA DE 25mm

PRUEBA #1

El resultado fue 4400 PSI (Pounds per square inch) esfuerzo arrojado por el gato, con respecto al área del émbolo, se realiza interpolación para sacar la fuerza con la tabla de calibración. El resultado es:

245.6 Kn (fuerza)

4.9 cm² (área de varilla)

25.03 Ton / área de varilla = 5109.32 Kg/cm² esfuerzo final sobre la varilla

PRUEBA #2

El resultado fue 5700 PSI (Pounds per square inch) esfuerzo arrojado por el gato, con respecto al área del émbolo, se realiza interpolación para sacar la fuerza con la tabla de calibración. El resultado es:

316.6 Kn (fuerza)

4.9 cm² (área de varilla)

32.27 Ton / área de varilla = 6586.36 Kg/cm² esfuerzo final sobre la varilla



PRUEBA #3

El resultado fue 5500 PSI (Pounds per square inch) esfuerzo arrojado por el gato, con respecto al área del émbolo, se realiza interpolación para sacar la fuerza con la tabla de calibración. El resultado es:

305.5 Kn (fuerza)

4.9 cm² (área de varilla)

31.14 Ton / área de varilla = 6355.44 Kg/cm² esfuerzo final sobre la varilla

PRUEBA #4

El resultado fue 5600 PSI (Pounds per square inch) esfuerzo arrojado por el gato, con respecto al área del émbolo, se realiza interpolación para sacar la fuerza con la tabla de calibración. El resultado es:

311.1 Kn (fuerza)

4.9 cm² (área de varilla)

31.71 Ton / área de varilla = 6471.95 Kg/cm² esfuerzo final sobre la varilla



CAPÍTULO

VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este capítulo muestran el comportamiento de los dos tipos de refrentado de azufre, con ceniza de arroz y con cemento en varios tipos de porcentajes, para obtener la resistencia óptima requerida.

En la elaboración del refrentado de azufre con ceniza de arroz se observó, que en una cantidad de azufre, con un porcentaje menor al 10% y mayor al 15%, los resultados a los ensayos de compresión son menores a 200 kg/cm² y los que están en un rango de 10% al 15% se elevaban. El punto más alto es 15% dando una resistencia de 340kg/cm². Siendo aquel el más favorable para que funcione como refrentado.

Se realizó un ensayo al 20% y 30%. Como resultado, demasiada relación azufre - ceniza de arroz, ya que al tiempo que el azufre debería hacerse líquido y realizando todos los pasos como indica la norma, se obtuvo una muestra que tenía una forma de piedra negra. Y como tal no pudimos obtener un refrentado a esos porcentajes.

En la elaboración del refrentado de azufre con cemento se observa, que los porcentajes que se usan son mayores a los de la ceniza de arroz, pero sus resultados son inferiores.

Se observa también, que los porcentajes de mejores resultados en la relación azufre-cemento son del 30% al 40%, y que los inferiores y superiores a éstos, son muy bajos.

Según la norma, el refrentado hecho de cemento, no funcionaría para pruebas donde se tuviera que obtener resistencias muy altas. Por lo tanto, este refrentado funciona para pruebas que, como resultado estuvieran alrededor de 240kg/cm². La combinación de la ceniza de arroz al 15% del



peso del azufre dio excelentes resultados, donde se puede concluir que sirve como un buen Anclajes en construcciones.

RECOMENDACIONES

Después de todas estas conclusiones obtenidas de este trabajo experimental, se recomienda usar azufre – ceniza de arroz al 15% en construcciones como: pilotes empataados, por su alta resistencia y por su rápido endurecimiento.



CAPÍTULO

VII

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**



Academia, E. R. (2009). Recuperado el martes de agosto de 2013, de Real Academia Española: <http://www.rae.es>

Allauca, a. &. (2009). Uso de sílice en hormigones de alto desempeño. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Construmatica. (2011). *Portal, Buscador y Comunidad*. Recuperado el 2 de agosto de 2013, de <http://www.construmatica.com>

Dudley, P. (2005). Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete specimens. *ASTM STANDARD*, 84-85-86-87-88-89.

lenntech.es. (2011). *tratamiento de agua* . Recuperado el 2 de agosto de 2013, de Lenntech: <http://www.lenntech.es>

Sytrenx, S. (2011). Obtenido de <http://www.sytrenx.net>

Univesidad de Sonora. (10 de julio de 2002). *documentos.dicym.uson.mx*. Recuperado el 13 de agosto de 2013, de http://www.google.com.ec/#bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&fp=dd317a16274d079&q=UNI-FO-CO-20



ANEXO



TABLA DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

CALIBRACIÓN DE SISTEMA HIDRÁULICO

FECHA: Enero 04 de 2006

SISTEMA: ENERPAC RCH-606 /
HUECO

LECTOR: Manómetro ENERPAC
G4039L / 0 - 10000 psi
Sub. Div. 100 psi

EQUIPO DE CALIBRACIÓN: Prensa CONTROLS C47L4 /
Ser. No. 99102662
Cap. 2000 kN

CARGA LEIDA	CARGA REAL PROMEDIO
psi	kN
RANGO BAJO	
100	8.0
200	14.0
300	18.8
400	24.0
500	29.8
600	35.4
700	41.0
800	46.8
900	52.5
1000	58.4
RANGO ALTO	
1050	61.1
2100	120.0
3200	180.0
4300	240.0
5400	300.0
6500	360.0