



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**COMPARACIÓN ENTRE MEZCLÓN TRADICIONAL Y MEZCLÓN
REFORZADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Mauricio Leonel Ramírez Guzmán

Asesorado por el Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN ENTRE MEZCLÓN TRADICIONAL Y MEZCLÓN
REFORZADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MAURICIO LEONEL RAMÍREZ GUZMÁN

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN ENTRE MEZCLÓN TRADICIONAL Y MEZCLÓN REFORZADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha octubre de 2011.



Mauricio Leonel Ramírez Guzmán



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
3 de octubre de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN ENTRE MEZCLÓN TRADICIONAL Y MEZCLÓN REFORZADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Mauricio Leonel Ramírez Guzmán, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero

Asesor y
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Mauricio Leonel Ramírez Guzmán, titulado **COMPARACIÓN ENTRE MEZCLÓN TRADICIONAL Y MEZCLÓN REFORZADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2012.

/bbdeb.



DTG. 569.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN ENTRE MEZCLÓN TRADICIONAL Y MEZCLÓN REFORZADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario **Mauricio Leonel Ramírez Guzmán**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones

Guatemala, 12 de noviembre de 2012

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** “Por ser fuente inagotable de amor y sabiduría, permitiéndome alcanzar este triunfo.”
Juan 3:16; Santiago 1:5.
- Mis padres** Julio Neftalí Ramírez Salazar y Marixsa de Jesús Guzmán Tejada de Ramírez. Por su amor, cariño, comprensión y sobre todo la paciencia que han tenido en el transcurso de mi vida, del mismo modo por mostrarme el camino correcto.
- Mi hermana** Marissa Rossybel Ramírez Guzmán, por su cariño y apoyo en cada etapa de mi vida.
- Mis abuelos** Jeremías de Jesús Guzmán Valdez (q.e.p.d.), Juana María Tejada de Guzmán (q.e.p.d.), Julio César Ramírez Carrera (q.e.p.d.) y Olga Argentina Salazar de Ramírez.
- Mis tíos** Por los consejos y principios que han inculcado en mí y por ser una ayuda incondicional.
- Mis primos** Por la amistad y compañía que me han brindado, esperando que este logro sirva de inspiración para lograr sus metas.

Ing. Víctor Lobos

Más que agradecimiento, admiración por los conocimientos compartidos, que representan la base de mi desarrollo profesional y sobre todo agradecer la valiosa amistad que me brinda.

Ing. Guillermo Melini
Ing. Gabriel Ordoñez

Por la asesoría brindada en el desarrollo de este trabajo de graduación.

Compañeros y amigos

Por el apoyo y dedicación durante este proceso que hoy veo culminado con la presentación de este trabajo de graduación.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos que me ayudarán en el desarrollo de mi vida profesional.

Universidad de San Carlos
De Guatemala

Por ser mi casa de estudios que me ayudó a terminar satisfactoriamente este proceso de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MORTEROS.....	1
1.1. Definición	1
1.2. Propiedades y características.....	1
1.2.1. Resistencia	2
1.2.1.1. Resistencia a flexión	2
1.2.1.2. Resistencia a compresión.....	2
1.2.2. Adherencia.....	3
1.2.3. Retracción.....	4
1.2.4. Durabilidad.....	5
1.2.5. Heladicidad	5
1.2.6. Penetración a la humedad	5
1.2.7. Choque térmico.....	6
1.3. Tipos de mortero.....	6
1.3.1. Morteros de cemento hidráulico.....	6
1.3.2. Morteros de cal	8
1.3.3. Morteros bastardos o mixtos.....	9
1.3.4. Mezclón	12
1.3.4.1. Definición	12
1.3.4.2. Usos.....	13

2.	MATERIALES CONSTITUYENTES EN EL MEZCLÓN	15
2.1.	Cemento.....	15
2.1.1.	Definición.....	15
2.1.2.	Materias primas	16
2.1.3.	Fabricación.....	18
2.1.4.	Tipos.....	22
2.2.	Cal	23
2.2.1.	Definición.....	23
2.2.2.	Procesos de manufactura.....	24
2.2.3.	Tipos.....	27
2.2.3.1.	Cal viva	27
2.2.3.2.	Cal hidratada	27
2.2.3.3.	Cal hidráulica	28
2.2.3.4.	Cales grasas.....	28
2.2.3.5.	Cal magra	29
2.3.	Agregado fino (arena).....	29
2.3.1.	Definición.....	29
2.3.2.	Origen.....	30
2.3.3.	Tipos de arena.....	31
2.3.4.	Características.....	33
2.3.4.1.	Peso específico	33
2.3.4.2.	Peso volumétrico	33
2.3.4.3.	Absorción.....	34
2.3.4.4.	Porcentaje de humedad contenida	34
2.3.4.5.	Granulometría.....	34
2.3.4.6.	Contenido de materia orgánica.....	35
2.3.4.7.	Contenido mineralógico	35
2.3.4.8.	Resistencia	35
2.4.	Aditivos.....	36

2.4.1.	Definición	36
2.4.2.	Tipos de aditivos	37
2.4.2.1.	Modificadores de fraguado.....	37
2.4.2.1.1.	Inhibidores.....	37
2.4.2.1.2.	Retardadores	38
2.4.2.1.3.	Acelerantes	38
2.4.2.2.	Impermeabilizantes	39
2.4.2.3.	Generadores de gas	39
2.4.2.4.	Generadores de espuma	39
2.4.2.5.	Colorantes.....	40
3.	POLIESTIRENO EXPANDIDO (DUROPORT)	41
3.1.	Propiedades físicas	43
3.1.1.	Aislación térmica.....	43
3.1.2.	Resistencia mecánica	44
3.1.3.	Agua y vapor de agua.....	44
3.1.4.	Absorción de agua.....	44
3.1.4.1.	Difusión de vapor de agua	45
3.1.5.	Comportamiento frente a las temperaturas.....	46
3.1.6.	Estabilidad dimensional	46
3.1.6.1.	Variaciones dimensionales por calor.....	47
3.1.6.2.	Variación dimensional por contracción...	47
3.1.7.	Influencias atmosféricas y de radiaciones	48
3.2.	Propiedades químicas	49
3.3.	Comportamiento biológico	50
3.4.	Usos en la construcción.....	51
3.4.1.	Bovedillas	51
3.4.2.	Cielos falsos.....	52
3.4.3.	Molduras	53

3.4.4.	Muros divisorio	54
3.4.5.	Hormigones y morteros livianos	56
3.5.	Aplicaciones	57
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIOS.....	59
4.1.	Obtención de datos de laboratorio	59
4.1.1.	Cantidad de materiales.....	60
4.1.2.	Equipo utilizado	61
4.1.3.	Realización de las muestras.....	64
4.1.3.1.	Mezcla tradicional	64
4.1.3.2.	Mezcla reforzada con duroport	66
4.1.4.	Realización de ensayos a compresión	68
4.2.	Comparación de resultados de ambas dosificaciones.....	71
4.2.1.	Peso de las muestras	71
4.2.2.	Carga aplicada a las muestras	72
4.2.3.	Resistencia a compresión.....	72
4.3.	Análisis e interpretación de resultados	73
4.3.1.	Informe de laboratorio	75
5.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	77
5.1.	Precios comerciales del mezclón tradicional	77
5.2.	Precios comerciales del mezclón reforzado con duroport	78
5.3.	Análisis e interpretación de la comparación de costos	79
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Extracción	18
2.	Trituración	19
3.	Prehomogeneización.....	19
4.	Molienda.....	20
5.	Homogeneización.....	20
6.	Calcinación.....	21
7.	Almacenamiento del Clínter.....	21
8.	Molienda final	22
9.	Proceso de manufactura	26
10.	Símbolo internacional del poliestireno	42
11.	Fórmula química del poliestireno expandido	50
12.	Bovedilla de poliestireno expandido	52
13.	Cielo falso.....	53
14.	Molduras.....	54
15.	Paneles divisorios	55
16.	Bloques de poliestireno expandido.....	55
17.	Perlas de poliestireno expandido	56
18.	Balanza	62
19.	Tara	62
20.	Batidora	63
21.	Moldes.....	63
22.	Máquina universal	64
23.	Materiales para mezcla tradicional	65

24.	Mezclado de materiales	65
25.	Mezcla vertida en los moldes	66
26.	Materiales para mezcla reforzada con poliestireno expandido	67
27.	Mezclado de materiales	67
28.	Mezcla vertida en los moldes	68
29.	Muestras desencofradas	69
30.	Aplicación de carga a compresión	70
31.	Resultado de laboratorio parte I	75
32.	Resultado de laboratorio parte II	76

TABLAS

I.	Proporciones de cemento y arena para un metro cúbico de mortero.. ...	7
II.	Proporciones de cal y arena para un metro cúbico de mortero.....	9
III.	Proporciones para morteros bastardos o mixtos para un metro cúbico.	10
IV.	Características físicas del poliestireno expandido	49
V.	Cantidades de materiales	61
VI.	Peso de las muestras.....	71
VII.	Carga aplicada a las muestras.....	72
VIII.	Resistencia a compresión de las muestras	73
IX.	Precios de los materiales para el mezclón tradicional.....	77
X.	Precios materiales para la mezcla con poliestireno expandido.....	79
XI.	Comparación de costo	80

GLOSARIO

Aglomerante	Capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos.
Aislación	Poner un cuerpo fuera del alcance de la propagación de energía calorífica, sonora, etc., mediante el uso de materiales
Aligerar	Hacer una cosa menos pesada.
Cohesión	Acción y efecto de reunirse o adherirse a las cosas entre sí o la materia de que están formadas.
Compresión	Presión sometida sobre un cuerpo para reducir su volumen.
Conglomerante	Material que sirve para unir fragmentos o partículas de una o más sustancias y compactarlas, formando una sola masa.
Costo	Gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

Dosificación	Fijación de la cantidad de una sustancia que debe añadirse en cada etapa de un proceso.
Embalaje	Caja o cualquier envoltura con que se protege un objeto que se va a transportar.
Ensayo	Prueba que se hace de una cosa antes de darla por buena para ser usada.
Factibilidad	Disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados.
Fraguar	Endurecimiento de algunas mezclas que se usan en construcción.
Imputrescible	Que no puede pudrirse o corromperse.
Litología	Parte de la geología que estudia las rocas, especialmente de su tamaño de las partículas y de sus características y propiedades físicas y químicas.
Norma	Regla o conjunto de reglas que hay que seguir para llevar a cabo una acción.
Poliestireno Expandido	Material plástico espumado, derivado del poliestireno.

Polímero

Macromolécula formada por medio de la polimerización de las moléculas elementales llamado monómero. Poseen elevado peso molecular, excelente elasticidad y resistencia, capacidad para formar fibras, etc.

Viabilidad

Posibilidad de llevar acabo alguna actividad o proyecto.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, comparación entre mezclón tradicional y mezclón reforzado con Poliestireno Expandido, es una comparación experimental entre la dosificación del mezclón tradicional contra una nueva dosificación en la que se buscará remplazar parcialmente el agregado fino por un nuevo material, el cual será el Poliestireno Expandido mejor conocido como duroport.

Para poder realizar las comparación será necesario tener el conocimiento teórico sobre morteros y los diferentes tipos que hay, ya que el mezclón es una especie de mortero, de la misma manera es necesario conocer las propiedades de los materiales constituyentes de la dosificación tradicional; arena, cemento, agua, cal, agregado fino y aditivos; y por medio de una investigación, poder analizar las características del Poliestireno Expandido y los usos que actualmente se le da a este material en el área de la construcción.

Los resultados que se buscan con la comparación experimental, es definir, si el Poliestireno Expandido puede ser un material utilizado en la dosificación de la mezcla, los resultados de ser positivos, se determinará si el agregado fino puede ser sustituido de una manera parcial de la dosificación por medio de comparaciones físicas de laboratorio, para determinar la cantidad de cada material que se debe de utilizar para la elaboración de la misma, así mismo se llevará a cabo una comparación económica de ambas dosificaciones.

Para determinar la resistencia a compresión de ambas mezclas se realizará por medio de la norma ASTM C-109, resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, la cual es la base teórica de los ensayos de laboratorio.

Conociendo los resultados de los ensayos de laboratorio y de los costos que representa la elaboración de ambas dosificaciones, se puede llegar a la conclusión sobre la viabilidad y factibilidad que representará la utilización de esta nueva dosificación.

OBJETIVOS

General

Crear un aporte documentado sobre la implementación de una nueva forma de dosificación del mezclón, con la finalidad de disminuir cargas muertas en la estructura y de crear un mezclón de fácil aplicación sin perder resistencia.

Específicos

1. Comparar con base a ensayos de laboratorio, sobre un mezclón tradicional y un mezclón utilizando duroport como sustituto parcial de la arena.
2. Dar a conocer una nueva forma de dosificar el mezclón utilizado para la nivelación de entrepisos.
3. Implementar un nuevo uso del duroport para fines constructivos.
4. Dosificar un nuevo tipo de mezclón a un menor costo.

INTRODUCCIÓN

El mezlón es un tipo de mortero pobre, diseñado a base de: arena, cal hidratada y/o cemento y aditivos debidamente dosificado, para que resulte como medio de nivelación de pisos. Entre los principales usos se encuentran los siguientes: nivelación de losas y techos, nivelación y relleno de entrepisos y recubrimiento de tuberías. En búsqueda de tratar de alivianar la carga muerta en las estructuras, se pretende cambiar el uso de la arena, parcialmente en el mezlón; por un material que proporcione características similares.

Las características que proporciona la arena en un mezlón son: evitar fisura, ayuda en el endurecimiento o fraguado y proporciona volumen, el material por el cual se pretende sustituir la arena es el Poliestireno Expandido (duroport), el Poliestireno Expandido contribuye a las modernas tendencias de introducir materiales livianos en la construcción, proporcionando importantes ventajas tanto de tipo técnico como económico.

El Poliestireno Expandido puede aportar características similares a las características de la arena y poseyendo un menor peso, ayudando notablemente en la aplicación en cualquiera de los usos en los que se le desee emplear.

Para determinar la utilización de esta nueva mezcla se realizaron trabajos de laboratorio que incluía la realización de dos mezclas, una tradicional y otra experimental a la cual se le añadió dentro de su dosificación el Poliestireno Expandido, con fin de determinar una comparación física sobre la resistencia a compresión de ambas mezclas.

Se realizó un estudio económico, el cual demuestra que los costos de los materiales de la nueva mezcla pueden variar según sea la procedencia del material, siendo mas específico si la obtención del material es por medio de una transacción económica el costo de la dosificaciones es demasiado elevado, ahora bien si la obtención del material se hace por medio de reciclaje, el costo de la dosificación es bastante económico, lo cual puede ser un factor que limite la utilización o no de este nuevo mezclón.

1. MORTEROS

1.1. Definición

La palabra mortero se deriva del latín *mortarius*, se le daba ese nombre al caldero que se usaba para cocer la cal. Se entiende por mortero a un material plástico apropiado para cerrar juntas de asiento y verticales, también las que quedan entre piedras desiguales o irregulares, por medio de un proceso de endurecimiento.

Se da el nombre de mortero a una mezcla de uno o dos conglomerantes y arena, amasados con agua, la mezcla da lugar a una pasta plástica o fluida que después fragua y endurece a consecuencia de procesos químicos que en ella se producen.

Su utilización básicamente como material de unión entre las piezas que componen la mampostería, se adhiere a las superficies más o menos irregulares de los ladrillos o bloques y da al conjunto cierta compacidad y resistencia a la compresión.

1.2. Propiedades y características

Las características y propiedades de los morteros, son las cualidades que determinarán su utilización, en los diversos empleos que se requieran y bajo las condiciones de usos para las que son diseñadas.

1.2.1. Resistencia

Cuando se emplea el mortero para unir piezas de una fábrica, este actúa como elemento resistente. Estas resistencias se combinan con las de otros elementos constructivos como los ladrillos, bloques de concreto, etc.

Las medidas directas de resistencia sobre el mortero no son validas para conocer la resistencia de la obra realizada con el, pero son el criterio adoptado por las normas internacionales, puesto que permiten un control estadístico del mortero en si, independientemente de los otros materiales de construcción.

1.2.1.1. Resistencia a flexión

Para determinarla, se confeccionan tres probetas con dimensiones de 4 por 4 por 16 centímetros, del mortero que se está utilizando en obra, que se conservan en un ambiente húmedo y se rompen a flexión a los 28 días. La resistencia a flexión del mortero será el valor medio de los tres valores obtenidos expresado en kilogramos sobre centímetros cuadrados.

1.2.1.2. Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión del mortero es la capacidad de soportar su propio peso, más la carga a las cuales este expuesto, la cual depende en gran manera del tipo y cantidad de material cementante utilizado al prepararlo, así mismo como la relación de agua-cemento que se use en la dosificación.

Para determinarla, cada uno de los trozos del prisma roto por flexión, se ensaya después a compresión, ejerciendo el esfuerzo sobre una sección de 4 por 4 centímetros. La resistencia compresión del mortero será el valor medio de

los seis valores obtenidos, expresado en kilogramos sobre centímetros cuadrados. Es importante que para la realización de los ensayos de compresión se empleen los mismos materiales que se utilizan en la obra.

1.2.2. Adherencia

Es la capacidad del mortero de adherirse a la superficie del material sobre el que se coloca. Cuanto más rugosas y húmedas son las bases sobre las cuales se aplican, mejor es la adherencia, la adherencia de un mortero comprende la resistencia a la tensión cuando se intenta separar el mortero de las unidades de mampostería, la resistencia contra el deslizamiento por corte y resistencia a la flexión por separación del mortero y la mampostería.

Es la principal cualidad que exige un mortero, ya que de ella depende la resistencia de los muros frente a solicitaciones de cargas excéntricas, transversales, o de pandeo, la estabilidad de los recubrimientos bajo tracciones externas o internas y la perfecta unión de azulejos o losas a sus bases respectivas. Esta propiedad se da tanto en el mortero fresco como en el endurecido, aunque por distintas causas.

- En el mortero fresco: la adherencia es debida a las propiedades geológicas de la pasta de cemento o cal. La adherencia en fresco puede comprobarse aplicando el mortero entre dos elementos a unir y separándolos luego al cabo de algunos minutos. Si el mortero permanece adherido a las dos superficies, existe buena adherencia. En cambio, si se desprende con facilidad y no deja apenas señales en las bases, la adherencia es mala. En obra, esto es de gran interés, pues permite juzgar la calidad de un mortero, simplemente levantando un ladrillo colocado recientemente sobre él.

- En el mortero endurecido: la adherencia depende, fundamentalmente, de la naturaleza de la superficie sobre la que se haya aplicado, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de la arena. Cuando se coloca el mortero fresco una base absorbente, parte del agua de amasado, que contiene en disolución o en estado coloidal los componentes del conglomerante, penetra por los poros de la base produciéndose, en el interior de ésta, fenómenos de precipitación y transcurrido un cierto tiempo se produce el fraguado, con lo que estos precipitados ejercen una acción de anclaje del mortero a la base, lográndose así la adherencia.

1.2.3. Retracción

Las pastas si poseen alta relación agua/conglomerante, se retraen al perder el agua en exceso de que están compuestos. Parte de esa retracción es consecuencia de las reacciones químicas de hidratación de la pasta, pero el efecto principalmente se debe al secado. En los morteros la arena actúa como un esqueleto sólido que evita en parte los cambios volumétricos por secado y el peligro de agrietamiento subsiguiente.

Si el secado es lento, el mortero tiene tiempo de alcanzar suficiente resistencia a tensión para soportar los esfuerzos internos; cuando el tiempo es caluroso o ventoso, que favorece la evaporación la pérdida de agua origina agrietamiento de retracción, fácilmente apreciables en los recubrimientos porciones más o menos poligonales.

1.2.4. Durabilidad

Desde el momento en el que se utiliza un mortero, existe una serie de factores con la finalidad de destruir o deteriorar el mortero, no permitiendo el uso para el cual fue producido o limitando el tiempo de servicio para el cual había sido elaborado, el humo y las emisiones industriales con presencia de sulfuros son los principales agentes que atentan contra la durabilidad, formando cristales de sulfato cálcico en las juntas de los morteros.

1.2.5. Heladicidad

Cuando el mortero aun se encuentra fresco y sometido a temperaturas entre 5 y 15 grados centígrados, las reacciones de hidratación del cemento son tan lentas que el mortero no fragua lo que impide la realización de algún trabajo con el. Si el mortero se encuentra en un estado de fraguado que permanece a temperatura inferior a 0 grados centígrados, el agua contenida en los poros se congela, con lo que aumenta notablemente de volumen, ejerciendo una presión sobre el conglomerante que puede ocasionar disgregación.

1.2.6. Penetración a la humedad

Con la finalidad de incrementar la impermeabilidad de la obra, se debe incrementar la densidad del recubrimiento, con la utilización de morteros bastardos, en la que la cal juega un factor importante taponando los canales y poros del mortero impidiendo el paso de la humedad.

1.2.7. Choque térmico

Un mortero sometido a las altas temperaturas desarrolladas en un incendio, sufre una serie de cambios que afectan a su resistencia mecánica. A temperaturas superiores a 250 grados centígrados, las propiedades resistentes del mortero sufren una caída irreversible.

1.3. Tipos de mortero

El tipo de mortero dependerá de la de dosificación que se use en la realización de la mezcla, la cual está en función de la necesidad o el uso para el que se le requiera.

1.3.1. Morteros de cemento hidráulico

El mortero de cemento es más resistente que el de cal y endurece en menor tiempo, la desventaja de este tipo es que su plasticidad es menor, dificultando su trabajabilidad.

Este tipo es muy adecuado para aquellas partes o elementos de las construcciones sometidas a fuertes situaciones estáticas y en las que puede influir la humedad, se emplean principalmente para levantado de muro de carga e impermeabilización de elementos o secciones que estén sometidos a fuertes infiltraciones de humedad, es decir que se utiliza en lugar expuestos a la intemperie, la clase cemento utilizado para este tipo de mortero, no debe ser superior a 32,5 Néwtones sobre milímetros cuadrados, siendo este el tipo de cemento más adecuado según el fin.

Si dentro de las proporciones del mortero, se cuenta con escasez de cemento, esto da como resultado un mortero áspero. Si por lo contrario, la cantidad de cemento que contiene es excesiva, producirá retracciones, apareciendo fisuras.

Tabla I. **Proporciones de cemento y arena para un metro cúbico de mortero**

Tipo de mortero	Proporción en volumen		Kg cemento por m ³ de mortero	Resistencia Kg/cm ²	Usos
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	160	Impermeables
	1	2	600	160	Levantado de Muros
	1	3	450	160	Nivelación de losas
Ordinarios	1	4	380	130	Nivelación de escaleras
	1	5	300	98	Levantado de muros
Pobres	1	6	250	75	Revestimientos
	1	8	200	50	Nivelación
	1	10	170	30	Rellenos

Fuente: cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real, Toledo, España. p. 2.

En la tabla I, se muestra las proporciones básicas que debe de llevar un mortero de cemento y arena, según sea la necesidad de uso o el tipo de aplicación para el que sea necesario.

1.3.2. Morteros de cal

Los morteros de cal, son de fraguado lento, generalmente de menor resistencia que los elaborados con cemento, pero con mayor trabajabilidad y menor costo económico. Si bien no resisten grandes esfuerzos puede alcanzar los 20 kilogramos sobre centímetros cuadrados con una proporción de 1:3 en volumen.

Los usos más comunes de estos morteros se encuentra el levantado de muros, repellos, cernidos, revestimientos y las uniones de superficies donde se requiera cierta flexibilidad y poca resistencia, como por ejemplo para la colocación de tejas y para realización de acabados.

La cal que se utiliza en este tipo de morteros puede ser aérea o hidráulica, de diferentes tipos. En todos los casos, las resistencias mecánicas de este tipo de mortero son bajas y sobre todo los realizados con cal aérea, si bien en un mortero, muchas veces, no se pretende tener resistencias mecánicas altas y son más importantes otras propiedades como pueden ser la plasticidad, trabajabilidad, el color, etc. En la tabla II se muestra las proporciones básicas que debe de llevar un mortero de cal, según sea la necesidad de uso o el tipo de aplicación para el que sea necesario.

Tabla II. **Proporciones de cal y arena para un metro cúbico de mortero**

Proporción en volumen		Uso
Cal	Arena	
1	1	Cernidos
1	2	Revestimientos
1	3	Levantado de muros de ladrillo
1	4	Levantado de muros de mampostería

Fuente: cátedra de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real, Toledo, España. p. 3.

1.3.3. Morteros bastardos o mixtos

Este tipo de mortero está compuesto por 2 clases de conglomerantes compatibles, cal y cemento. Son caracterizados por poseer una alta trabajabilidad, comunicada por la cal, presenta colores claros por lo que se utilizan como mortero de agarre en la fabricación de elementos de mampostería.

En la actualidad, la cal ha sido remplazada como plastificante por otros aditivos que realizan la misma función. En la tabla III se muestra las proporciones básicas que debe de llevar un mortero bastardo, según sea la necesidad de uso o el tipo de aplicación para el que sea necesario.

Tabla III. **Proporciones para morteros bastardos o mixtos para un metro cúbico**

Tipo	Dosificación			Materiales			
	Cemento	Cal	Arena	Cemento (kg)	Cal (kg)	Arena (kg)	Agua (kg)
Morteros de cal	-	1	2	-	400	800	120
	-	1	3	-	315	945	125
	-	1	4	-	260	1050	100
Morteros mixtos	1	1	4	290	215	860	168
	1	1	6	220	165	980	170
	1	1	8	185	135	1060	170
	1	2	6	180	275	830	160
	1	2	8	155	230	920	165
Morteros de cemento	1	-	1	920	-	680	270
	1	-	2	600	-	880	265
	1	-	3	440	-	975	260
	1	-	4	350	-	1030	260
	1	-	5	290	-	1070	255
	1	-	6	250	-	1100	255

Fuente: nueva enciclopedia del encargado de obras, materiales de construcción, grupo editorial CEAC.2011 p. 315.

En las tablas I y III se menciona el cemento como material constituyente dentro de la mezcla, debe de utilizarse cemento portland de tipo I como se especifica en la norma ASTM C-150-07, Especificación Normalizada para Cemento Portland, que a su vez es la norma recomendada por el Instituto Americano del Concreto en su reglamento ACI-318S-08, titulado Requisitos del

Reglamento para Concreto Estructural, en el subcapítulo 3.2 Materiales cementantes.

En las tablas I, II y III, se menciona la arena como material constituyente, utilizando la arena de río para la mayoría de usos descritos, debido a que este posee una amplia gama de características físicas, para la utilización del agregado dentro de los usos mencionados en las tablas, debe de cumplir con las siguientes características.

- Debe de cumplir con una granulometría, de una muestra de 100 gramos, debiendo pasar menos del 95 por ciento el tamiz No.8 y de una muestra de 500 gramos, debe pasar menos del 85 por ciento el tamiz No.4 y más del 5 por ciento debe quedar retenido en el tamiz No.8.
- Debe de cumplir con un módulo de finura, el cual debe de estar en el rango de 2,2 y 3,2, con preferencia en la arena media que tiene un módulo de finura entre 2,2 y 2,9.
- Para asegurar su resistencia y durabilidad las mejores arena son las de río, que normalmente tienen su origen en las rocas areniscas, que son de origen sedimentario.

En las tablas II y III, se hace mención del uso de la cal como parte de la dosificación, utilizando la cal hidratada para la realización de las mezclas, debe de cumplir con las siguientes características y propiedades para garantizar la calidad y resistencia del mortero.

- Estado físico: sólido
- Color: blanco
- Olor: inodoro
- Apariencia: polvo blanco fino
- Potencial de hidrogeno (pH): solución saturada
- Punto de ebullición: 2 850°C (descomposición)
- Punto de fusión: 550°C (descomposición)
- Presión de vapor (20°C): 0 mm Hg
- Punto de ignición: no combustible
- Punto de destello: no inflamable
- Límites de explosión: no aplica
- Densidad (20°C) 0,85-1,00 g/cm³
- Solubilidad:
 - Agua (20°C): 1,7g/l
 - Agua (100°C): 0,77g/l
 - Etanol: insoluble
- Descomposición térmica: 550-600°C

1.3.4. Mezclón

Es una especie de mortero, la utilización de esta mezcla en la construcción está limitada a la nivelación y relleno de entrepisos, no cumple ninguna función estructural dentro de las edificaciones.

1.3.4.1. Definición

Son mezclas esencialmente diseñadas para la el relleno de entrepisos. Este es un producto en base a arena, cal hidratada y aditivos debidamente dosificados para que resulten como una medio de nivelación de entre pisos.

1.3.4.2. Usos

Para un uso eficiente de un mezclón, la superficie del material donde se agregara debe estar limpia, libre de polvo, partículas sueltas, grasas o cualquier sustancia que no permita la adherencia. Una vez aplicado el mezclón éste debe estar protegido del ambiente, principalmente del sol y el viento para que no pierda sus características.

Los empleos más comunes de los mezclones son la nivelación de y entrepisos, debido que por los materiales constituyentes, su maleabilidad es muy buena, permitiendo la fácil realización de pañuelos, y un aplicación menos común es la utilización de los mezclones en el recubrimiento de tuberías eléctricas, de agua, etc.

2. MATERIALES CONSTITUYENTES EN EL MEZCLÓN

2.1. Cemento

Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua.

2.1.1. Definición

La palabra cemento se define como un material que tiene propiedades de adherencia y cohesión, lo que le permite unir fragmentos de minerales entre si, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuada. Esta definición no solo abarca los cementos, sino una gran variedad de materiales como las cales, asfaltos y alquitranes.

El cemento es un material aglutinante con finura similar al talco que tiene a la caliza como materia prima base, formado por diversos cristales y vidrios que al mezclarse con el agua producen una jalea de hidrosilicatos de calcio, excelente pegadura capaz de unir fragmentos pétreos para formar un conglomerado moldeable, durable, resistente e impermeable a voluntad, adaptable a diversos usos.

2.1.2. Materias primas

Para la elaboración del cemento se utilizan las siguientes materias primas: caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso, se extrae de canteras o minas, 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 para poder proceder a la fabricación del cemento.

- Caliza aplicable a cualquier roca sedimentaria constituida esencialmente, de carbonatos. Los dos constituyentes más importantes son la calcita y la dolomita, pero pueden aparecer cantidades pequeñas de carbonatos de hierro. Las calizas pueden clasificarse en tres grupos principales: orgánico, químico detrítico. Las calizas orgánicas y químicas son conocidas como calizas autóctonas, mientras las calizas clásticas se conocen como alóctonas. Las calizas pueden ser de agua dulce o marina, y suelen indicar una sedimentación en un medio cálido de agua clara.
- Arcilla producto de la degradación físico-química de las rocas, que la naturaleza rompe por medio de la erosión. Las partículas con el paso del tiempo pierden de tamaño gradualmente hasta que las alteraciones físicas y químicas que dan lugar a este suelo empiezan a afectarlas.
- Arena conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina como material compuesto de partículas de tamaño variable entre 0,063 milímetros y 2 milímetros. Cada partícula dentro de este

rango es denominado como grano de arena. El componente más común de la arena, en tierra continental y en las costas no tropicales, es el sílice, generalmente en forma de cuarzo, sin embargo la composición varía según los recursos y condiciones de la cuenca de donde se extraiga. Cuando las partículas acaban de formarse suelen ser angulosas y puntiagudas, haciéndose mas pequeñas y redondas por la fricción provocada por el viento y el agua.

- Mineral de hierro: metal abundante en la corteza terrestre, se encuentra en la hematites, la magnetita y la limonita, y su composición es de gran importancia en los seres vivos, como las hemoglobinas. De color negro lustroso o gris azulado, dúctil, maleable y muy tenaz, se oxida al contacto con el aire y tiene propiedades ferromagnéticas. Es el metal más empleado en la industria; aleado con el carbono forma aceros y fundiciones.
- Yeso: en lo referente a su origen y a su posición en la naturaleza, esta estrechamente enlazado con la anhidrita, mineral compuesto de sulfato de calcio anhídrido, al exponerse a la acción del agua, la anhidrita la absorbe y se transforma en yeso. Las mayores masas son de origen sedimentario; el yeso es uno de los primeros minerales en la precipitación evaporítica. Puede formarse también por la acción de ácido sulfúrico sobre minerales con contenido de calcio, dando como resultado yeso de origen volcánico.

2.1.3. Fabricación

Para la fabricación del cemento, se debe de cumplir con una serie de pasos, los cuales deben de ser supervisados minuciosamente para garantizar la calidad y uniformidad de cada partícula de cemento.

- **Extracción:** se prepara el área a trabajar y se realiza el descapote, luego se barrena según el plan de minado diseñado, se prepara la carga de explosivos y se procede a la voladura, tumbe y rezagado, carga y transporte a planta de trituración. Las materias primas para fabricar el Clínger, son esencialmente la caliza y las arcillas, además se emplean minerales de fierro y sílice en cantidades pequeñas para obtener la composición deseada.

Figura 1. **Extracción**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 26.

- **Trituración:** el material de la cantera es triturado y clasificado para alimentar los molinos. En esta etapa se realiza la trituración primaria y secundaria, de donde se transporta el material a los respectivos patios de almacenamiento.

Figura 2. **Trituración**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 26.

- Prehomogeneización: se lleva a cabo mediante un sistema especial de almacenamiento y recuperación del material triturado, de tal forma que el material resultante se uniforma en distribución de tamaño y composición química.

Figura 3. **Prehomogeneización**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 26.

- Molienda: su finalidad consiste en preparar el tamaño y la mezcla de materias primas para alimentar el horno y que éstas puedan procesarse en forma efectiva y económica. En los molinos se hace un muestreo, se verifica la composición química mediante rayos X y con tamices se comprueba la finura del polvo.

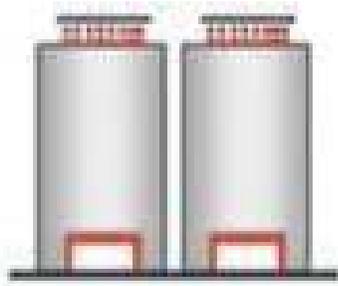
Figura 4. **Molienda**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 27.

- Homogeneización: el resultado de la molienda se transporta hacia un silo homogeneizador, donde se mezcla el material para mejorar su uniformidad y después es depositado en silos de almacenamiento.

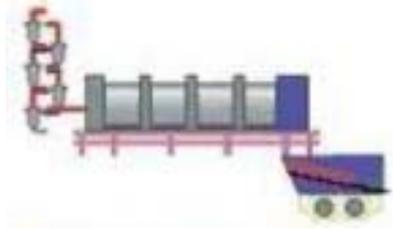
Figura 5. **Homogeneización**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 27.

- Calcinación: el horneado a temperaturas superiores a 1 350 grados centígrados causa que las materias primas preparadas y constituidas anteriormente reaccionen y se combinen para producir el Clínger, el cual pasará por un enfriador antes de ser almacenado.

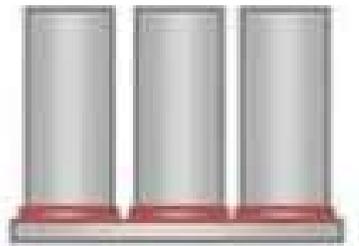
Figura 6. **Calcinación**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 27.

- Almacenamiento de Clínker: después de su enfriamiento, el Clínker se transporta con grúas o bandas a los almacenes donde es separado, probado, mezclado con yeso y otros ingredientes y transportado para alimentar a los molinos de Clínker.

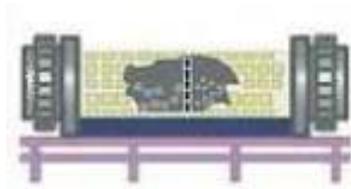
Figura 7. **Almacenamiento del Clínker**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 27.

- Molienda final: los molinos se alimentan con Clínker, yeso y cantidades pequeñas de otros ingredientes que deben ser cuidadosamente medidos. La molienda final son circuitos cerrados en los que los separadores de aire clasifican por tamaños a los productos, enviando los más finos a los almacenes y las fracciones más gruesas son regresadas a la molienda.

Figura 8. **Molienda final**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 28.

2.1.4. Tipos

El Instituto Americano del Concreto en su reglamento ACI-318S-08, titulado Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, en su capítulo tres clasifica el cemento de la siguiente manera.

- Cemento portland
- Cemento hidráulico expansivo
- Cemento hidráulico

El tipo de cemento más utilizado en la construcción tradicional es el cemento portland, al cual la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales mediante su norma ASTM C150-07, Especificación Normalizada para Cemento Portland, lo clasifica de la siguiente manera.

- Tipo I: destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo ni se requiera tener un cuidado especial para el empleo que se le requiera. Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento. Este tipo de cemento es el más utilizado y al mismo tiempo es el más barato en el mercado ya que en su realización no conlleva un proceso especial de fabricación.

- Tipo II: de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado.
- Tipo III: alta resistencia inicial, cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado. Este tipo de cemento por lo regular es utilizado de emergente, es decir, cuando por necesidades en obra se es necesario la utilización del espacio en el que fue vertido el concreto.
- Tipo IV: se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.
- Tipo V: usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos.

2.2. Cal

Es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio CaO y el óxido de calcio y magnesio CaMgO_2 .

2.2.1. Definición

Es un elemento cáustico, muy blanco en estado puro, que proviene de la calcinación de la piedra caliza y otras formas de carbonatos por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900 grados centígrados producen el óxido de calcio. Químicamente se genera mediante la ecuación $\text{CaCO}_3 + \text{calor}$ (entre 900 a 1 000 grados centígrados) que da como resultado $\text{CaO} + \text{CO}_2$,

siendo el CaO lo que se conoce como cal viva y la parte de CO₂ se va al medio ambiente, es por eso que la cal es un material bastante contaminante.

El óxido de calcio en contacto con el agua se hidrata con desprendimiento de calor, obteniéndose una pasta blanda que amasada con agua y arena se confecciona el mortero de cal, muy utilizado en construcción y en otras actividades humanas.

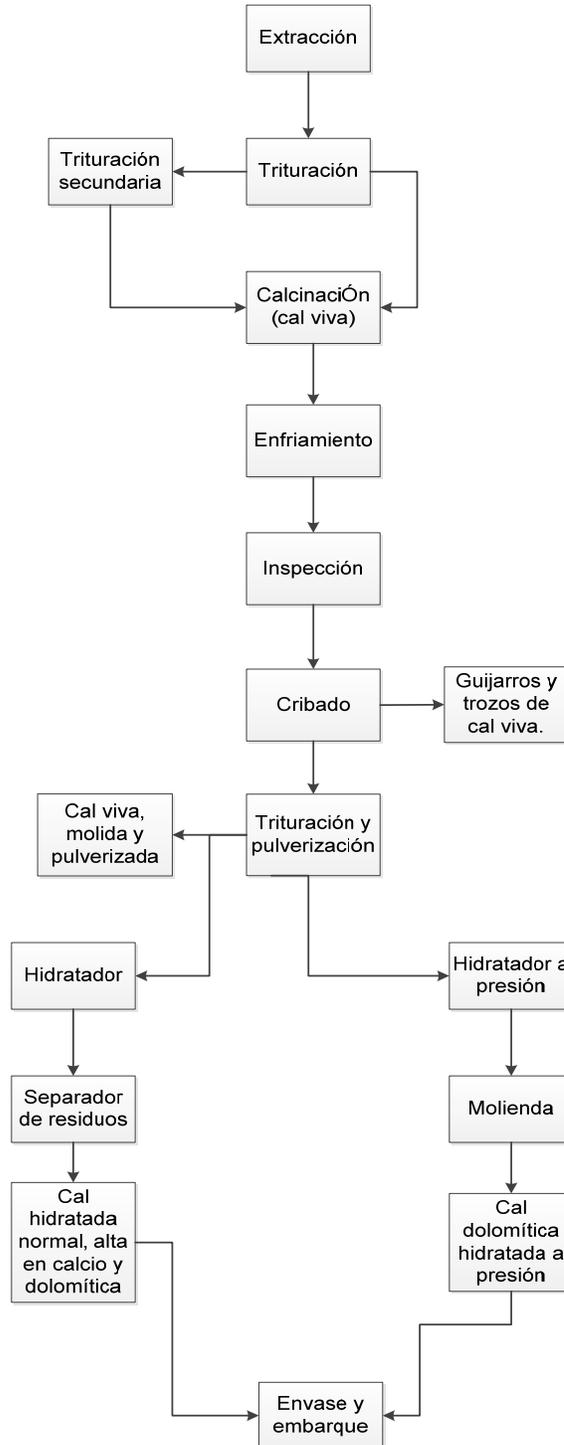
La cal puede ser utilizada en diversas actividades de la vida cotidiana como en la agricultura para neutralizar los suelos ácidos, también se emplea para las fabricaciones de elementos de uso cotidiano como el papel y el vidrio, para lavar la ropa blanca, curtir las pieles o el cuero, en el refinado de azúcar y para ablandar el agua.

2.2.2. Procesos de manufactura

- Extracción: se inicia preparando el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, moneo, tumbado y rezagado, carga y acarreo a planta de trituración.
- Trituración: es sometida a un proceso de trituración que dará como resultado un producto de trozos de menor tamaño que serán calcinados en hornos verticales. La trituración secundaria se realiza cuando se requieren fragmentos de menor tamaño y se tienen hornos rotatorios para calcinar.

- **Calcinación:** la cal es producida por calcinación de la caliza y/o dolomía triturada por exposición directa al fuego en los hornos. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden bióxido de carbono y se produce el óxido de calcio mejor conocida como cal viva. Es importante que el tamaño de la roca sea homogéneo para que la calcinación se realice en forma efectiva y en todos los fragmentos.
- **Enfriamiento:** el producto de la calcinación es sometido a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresan al horno como aire secundario.
- **Inspección:** se inspección cuidadosa y minuciosa de las muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar. Cuando alguna partícula no pasa el proceso de la inspección se regresa a un punto del proceso más conveniente según sea la necesidad, por ejemplo, si se encuentra una muestra de tamaño grande, se regresa hacia el proceso de trituración y debe de pasar nuevamente por todo el proceso.
- **Cribado:** se realiza separando la cal viva en trozo y en guijarros de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización. Este proceso sirve para definir a que tipo de horno ira la cal viva, ya que si esta en trozos pasa por un horno vertical, por su parte si esta en guijarros pasara por un horno rotativo.
- **Hidratación:** consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva dolomítica pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.

Figura 9. **Proceso de manufactura**



Fuente: RAMONES, Jhoanna. Diplomado uso del cemento en la construcción. Facultad de Ingeniería, USAC 2011. p 9.

2.2.3. Tipos

Por medio de reacciones químicas se pueden tener diversos tipos de cal, las cuales serán usadas para diversas actividades dentro y fuera de la construcción según la necesidad del ser humano.

2.2.3.1. Cal viva

La cal viva es uno de los productos mas conocidos desde la antigüedad y con más aplicaciones, de manera que cubre prácticamente todos los campos de la actividad humana. Material obtenido de la calcinación de la roca caliza $\text{CaCO}_3 + 900^\circ\text{C}$ que al desprender un anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio CaO . Se obtiene por la calcinación a 1 000 grados centígrados.

La cal viva debe poseer la capacidad de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez hidratada, se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.

2.2.3.2. Cal hidratada

Comúnmente conocida con el nombre de cal apagada, elaborada de calizas de alto contenido de carbonato de calcio, calcinadas e hidratadas, es una especie química de hidróxido de calcio. El apagado es exotérmico, desprendiendo gran cantidad de calor que evapora parte del agua utilizada, obtenida a partir de la cal viva, por medio de una reacción estequiométrica con agua, esta reacción es exotérmica y se da por medio de la fórmula química $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$.

2.2.3.3. Cal hidráulica

Es una especie química de hidróxido de calcio, la cual proviene de la calcinación de calizas, y contienen más de 10 por ciento de arcilla. La cal que se obtiene posee propiedades hidráulicas, por consiguiente este tipo de cal puede fraguar y endurece en el aire e incluso sumergida debajo del agua.

El proceso de reacción está compuesto por CO_3Ca (carbonato de calcio) + SiO_2 (óxido de silicio) + Al_2O_3 (óxido de aluminio) + Fe_2O_3 (óxido férrico) + H_2O (agua) + calor = C + S + A + F = C + SC_2 + AC_3 . El último componente se apaga con agua en autoclave, con condiciones concretas de presión y temperatura, el agua solo reacciona con la cal viva. Los otros componentes no reaccionan con el agua. Dando como resultado $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + SC_2 + AC_3 , este componente necesita ser molturado.

2.2.3.4. Cales grasas

Cales de color más blanco, fabricadas con piedras calizas de gran pureza, la cual en presencia de agua produce una reacción química con fuerte desprendimiento de calor. Este tipo de cal contiene más del 95 por ciento de óxido de calcio.

Si la caliza primitiva contiene hasta un 5 por ciento de arcilla, la cal que se produce en el proceso de calcinación se le denomina cal grasa y al apagarse, da una pasta fina trabada y untuosa, blanca, que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos y fuera del contacto del aire y en sumergida agua termina por disolverse.

La cal grasa es mas fina, flexible y fácil de trabajar, a comparación que la cal hidráulica, teniendo la desventaja que es menos resistente, característica que limita su utilización dentro de la construcción solo para acabados.

2.2.3.5. Cal magra

Cal procedente de caliza con carbonato de magnesio, pueden contener hasta un 50 por ciento de óxido de magnesio, pero solo un 10 por ciento de óxido de calcio, según su origen, pueden contener arcilla en un porcentaje menor al 5 por ciento. Al añadirles agua, forman una pasta gris poco tratada, que se entumece y desprende mas calor que las cales grasas, al secarse con el aire se reduce a polvo y en el agua se disuelve, debido a estas malas cualidades no es usada en la construcción.

2.3. Agregado fino (arena)

En geología se denomina así al material compuesto de partículas de tamaño variable entre 0,063 milímetros y 2 milímetros. Cada partícula dentro de este rango lleva el nombre de grano de arena.

2.3.1. Definición

Las arenas, son cuerpos complejos que se encuentran en numerosas canteras resultado de la disgregación de las rocas naturales, por procesos mecánicos o químicos, arrastradas por el afluyente de aguas o aire y depositadas por orden de densidad en capas ligeramente paralelas. Las arenas artificiales se obtienen mediante la trituración y molienda de rocas duras determinadas.

Para determinar la calidad de la arena se hace necesaria la realización de algunas pruebas periódicas para determinar la variabilidad de sus características. Los factores que influyen en la variabilidad están influenciados por contaminación con materiales extraños, su origen, por el cambio gradual y la distribución de los tamaños de grano y por la continua exposición de esta a altas temperaturas, las pruebas pueden ser tanto químicas como mecánicas.

La norma guatemalteca obligatoria COGUANOR NGO 41 006, define el agregado fino de dos maneras, siendo las circunstancias las que definirán cual de los dos significados utilizar según sea el caso.

- Agregado que pasa el tamiz No. 9,5 milímetros, que pasa casi completamente el tamiz No. 4 (4,75 milímetros.) y es retenido casi en su totalidad por el tamiz No. 200(75 micrómetros.).
- Aquella porción de agregado que pasa por el tamiz No. 4 y que es retenida sobre el tamiz No. 200.

2.3.2. Origen

De acuerdo con su origen las arenas pueden llamarse, sílicas o cuarzonas, calizas y graníticas y arcillosas.

Las arenas silicas o cuarzonas, procedente de las rocas sedimentarias, formadas por agregados naturales de fragmentos minerales, principalmente de cuarzo, o algunas de sus variedades mineralógicas, partículas de rocas silíceas y cantidades menores de feldespatos, micas, óxido de hierro y minerales pesados. Son arenas de estructura compacta, poseen un elevado punto de fusión y químicamente inértes.

Las arenas calizas, como su nombre lo indica proceden de partículas de roca caliza, de tamaño uniforme y forma cúbica, las cuales se obtienen de un proceso de trituración, lavado y cernido de piedra, aportan un buen desempeño dentro de las mezclas de concreto.

Las arenas graníticas y arcillosas, constituidas por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural.

Con respecto a su dureza y estabilidad química, las arenas sílicas son las mejores; las arenas calizas provienen de rocas calizas muy duras, no aceptando las de tipo blando. Las arenas de origen granítico, por su alterabilidad y por su poca homogeneidad, no deben usarse salvo en el caso de que contengan bastante cuarzo.

2.3.3. Tipos de arena

Las arenas de acuerdo a su procedencia o a su localización se denominan de la siguiente manera:

- Arenas de río: sus yacimientos se encuentran en los cauces actuales de los ríos, generalmente de partículas redondas por el acarreo que han sufrido, pueden contener arcillas y otras impurezas como la materia orgánica, o bien ser demasiado finas, según su localización.

- Arenas de minas: son aquellas arenas procedentes de depósitos sedimentarios de valles y cuencas antiguas. Su composición mineralógica y geológica será según la que tenga la roca madre de la que proceda. Se encuentran en estratos depositadas por sedimentación. Sus granos suelen ser angulosos o redondeados, según la sedimentación en el antiguo cauce y poseen una pequeña parte de arcilla, no sobrepasando el 5 por ciento. Se pueden utilizar en revestimientos de interiores. Sus morteros tienen buena trabajabilidad, debido a la plasticidad que les confiere la arcilla.
- Arenas de playa o duna: estas arenas, según las zonas costeras, serán de un tipo de roca distinto; todas tienen granulometría un modular y, salvo excepciones, son finas. Debido a las sales del agua de mar, se hace necesario su lavado, previo a la utilización.
- Arenas artificiales: son de granos angulosos y superficies rugosas; no contienen polvo suelto por el proceso de tamizado y selección a que son sometidas luego de ser trituradas y molidas. Son aptas para los morteros y concretos siempre y cuando provengan de rocas duras y o tengas aristas vivas y ángulos muy agudos, pues esto hace que disminuya la resistencia del concreto.
- Arena puzolánica: según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM, las puzolanas son materiales sílicos o sílico-aluminicos que por si solos poseen poco o nulo valor cementante, pero finamente divididos, en presencia de la humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ordinaria. Las arenas puzolánicas se pueden emplear como aditivos con el objetivo de reducir o eliminar la expansión potencial de los agregados con afinidad alcalina.

2.3.4. Características

Los agregados para concretos y morteros, deben de estar formados de partículas duras y compactas de textura y forma adecuada y limpias, para garantizar que el agregado sea de calidad es conveniente someterlos a pruebas de calidad que están avaladas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales mediante su norma ASTM C-33, Especificación Normalizada para agregados.

2.3.4.1. Peso específico

Nos indica la consistencia de un agregado, es una relación del peso dado de un agregado fino con respecto al mismo volumen pero de agua destilada a una temperatura determinada, es los agregados, se toma el peso específico de partículas saturadas de superficie seca.

2.3.4.2. Peso volumétrico

Es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo material. El peso volumétrico de un agregado fino usado en el concreto, varia aproximadamente entre 1 200 y 1 760 kilogramos sobre centímetro cúbico. Hay dos valores para esta relación, el peso volumétrico suelto, que sirve para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto y el peso volumétrico apisonado, que se usa para conocer el volumen de materiales apilados.

2.3.4.3. Absorción

Es la cantidad de agua capaz de ser tomada por un material después de veinticuatro horas de inmersión y se expresa como el porcentaje del peso seco del material.

2.3.4.4. Porcentaje de humedad contenida

La humedad de un agregado, esta compuesta por humedad de saturación y humedad libre o superficial. Para corregir pesos de los materiales al hacer mezclas es necesario el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado.

2.3.4.5. Granulometría

El análisis granulométrico es el porcentaje de partículas de tamaños determinados, que forman el material original. La óptima composición granulométrica es aquella donde se combinan granos finos, medianos y gruesos para dar máxima compacidad al conjunto. Todos los espacios que dejan los granos grandes, los llenan los medianos.

Todos los espacios que llenan los espacios medianos, los llenan los finos. Los agregados inertes mas apropiados, son los cantos rodados, pues se ahorra cemento; pero los más usuales son los de cantos angulares.

2.3.4.6. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica es una de las sustancias perjudiciales en la arena y debe conocerse su contenido ya que afecta la hidratación del cemento y si esta presente en alto grado puede disminuir la resistencia del concreto.

Para determinar el contenido de materia orgánica se realizan pruebas colorimétricas, el resultado ideal esperado es que el color del líquido de ensayo sea claro, de no serlo la arena deberá ser estudiado más detenidamente.

2.3.4.7. Contenido mineralógico

La composición mineralógica, es una característica física fundamental, ya que a partir de ésta se puede determinar la clasificación específica de la muestra estudiada. De manera general, la composición mineralógica de las arenas depende de la litología, la resistencia de los minerales y la resistencia del mineral sometido a la abrasión.

2.3.4.8. Resistencia

La arena debe ser cohesiva hasta el grado de que tenga suficiente unión, tanto el contenido de agua como el de arcilla, afecta la propiedad de la cohesión. La hidratación y deshidratación del espacio inter laminar son propiedades características de las arenas de moldeo, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía

de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

2.4. Aditivos

Los antecedentes más remotos de los aditivos químicos para el concreto, se encuentran en los concretos romanos, a los cuales se incorporaba sangre y clara de huevo y el primer aditivo químico moderno se encuentran en el empleo ocasional del sulfatón, en 1930 para actuar como dispersante en concretos.

2.4.1. Definición

A diferencia del cemento, los agregados y el agua, los aditivos no son componentes esenciales dentro mezcla, son importantes cuyo uso se extiende cada vez más, siendo capaces de impartir benéficos físicos y económicos dentro de la mezcla, al mismo tiempo no presentan gasto adicional pues su utilización en la mayoría de los casos da por resultado ahorros monetarios, por ejemplo: en el costo de mano de obra, en el contenido de cemento o en la durabilidad.

Los aditivos son modificadores y mejoradores de las mezclas de concreto. Son productos solubles en agua, que se adicionan durante el mezclado, en porcentajes no mayores al 1 por ciento de la masa de cemento o según especificaciones del fabricante y del tipo de aditivo que se proporcione dentro de la mezcla.

El propósito de producir una modificación en el comportamiento del concreto en estado fresco o en condiciones de trabajo es el de modificar sus resultados normales en la obtención de mejores resistencias mecánicas o en la aceleración de endurecimiento de la mezcla.

2.4.2. Tipos de aditivos

Son productos capaces de disolverse en agua, que se adicionan durante el mezclado en porcentajes no mayores del 5 por ciento de la masa de cemento, con el propósito de producir una modificación en el comportamiento de las mezclas en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo.

2.4.2.1. Modificadores de fraguado

Son productos que al incluirlos en las pastas, morteros u hormigones, en el momento de amasado, impiden, retardan o aceleran el fraguado de los mismos o actúan sobre su endurecimiento. A estos productos se les denomina inhibidores de fraguado, retardadores y acelerantes, respectivamente.

2.4.2.2. Inhibidores

Es un líquido que se añade al hormigón durante el mezclado. Inhibe químicamente la acción corrosiva que tienen los cloruros sobre el acero de refuerzo y cables pretensados en el hormigón. Pueden ser convenientes en los casos que interese impedir el proceso de fraguado del cemento.

2.4.2.3. Retardadores

Frena la hidratación del cemento con respecto a su velocidad normal, puede ser conveniente en determinados casos, como por ejemplo, el transporte de hormigones a grandes distancias, complicación de la puesta en obra.

El empleo de retardadores necesita demasiado cuidado debido a que, si se usan en dosis incorrectas, pueden inhibir el fraguado y endurecimiento del hormigón. Uno de los efectos de los retardadores reduce la resistencia del hormigón en sus primeros estados.

2.4.2.3.1. Acelerantes

La utilización de un acelerante puede tener ventajas de tipo económico y/o técnico. La primera ventaja de tipo económica hace referencia a su uso frecuente en prefabricación, donde inmovilizar los moldes durante un tiempo reducido supone un gran ahorro económico. Las ventajas de tipo técnico se presentan en el concreto en tiempo frío, donde el empleo de un acelerador permite que el hormigón adquiera unas resistencias suficientes antes de que las bajas temperaturas puedan afectarle.

- Cloruro cálcico: Incrementa la velocidad de hidratación alcanzando resistencias iniciales altas. El tiempo de iniciación del fraguado puede limitarse a la mitad del tiempo en un fraguado normal. Libera una gran cantidad de calor en las primeras horas, lo que posibilita su uso en tiempo frío. Mejora la docilidad de los hormigones y aumenta su compacidad.

2.4.2.4. Impermeabilizantes

En determinadas partes de las construcciones como en las tuberías, depósitos, canales; es necesario que el concreto sea impermeable, en construcciones que están en contacto con el agua es necesario impedir que ésta ascienda por capilaridad para evitar corrosiones. Se pueden considerar dos tipos de impermeabilizantes: los reductores de penetración de agua y los hidrófugos.

- Los reductores de penetración de agua aumenta la resistencia al paso del agua a presión sobre un hormigón endurecido.
- Los hidrófugos disminuyen la absorción capilar o el paso del agua a través de un hormigón saturado.

2.4.2.5. Generadores de gas

En vez de introducir aire, incluyen un gas, formado al reaccionar dichos productos entre sí o con el mortero. Su utilización es mas frecuente en morteros, en los que se desee el aumento de volumen, que dentro de cualquier tipo que en mezclas de concreto.

2.4.2.6. Generadores de espuma

Los generadores de espuma, al igual que los de gas, encuentran amplia aplicación en la fabricación de morteros ligeros empleados fundamentalmente como aislantes térmicos.

2.4.2.7. Colorantes

Lo primordial dentro de este tipo de aditivos es que su estabilidad debe de ser bastante constante, no alterables a la intemperie, compatibles con el cemento y no descomponerse en presencia de la cal liberada en la hidratación y endurecimiento de éste.

3. POLIESTIRENO EXPANDIDO (DUROPORT)

El Poliestireno Expandido se define técnicamente como un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

En 1831 un líquido incoloro, el estireno, fue aislado por primera vez de una corteza de árbol, hoy en día se obtiene mayormente del petróleo. El Poliestireno Expandido fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF por iniciativa del doctor F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto.

Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se realizó el descubrimiento. Al cabo de 45 años frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se levanto parte de ese material, y se les sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas.

El Poliestireno Expandido es un polímero en forma de perlas esféricas, obtenido a partir del estireno y un agente de expansión llamado pentano. Este polímero, después de pasar por los procesos de expansión, maduración y moldeo, se convierte en los productos que se aplican en la construcción.

Figura 10. Símbolo internacional del poliestireno



Fuente: elaboración propia.

Este material es constituido por células cerradas y llenas de aire, este hecho lo convierte en un óptimo aislante térmico. A partir del Poliestireno Expandido se da solución de aislamiento a ruido de impacto en suelos y aislamiento a ruido aéreo en muros. Construido de una doble micro estructura en el interior de un entramado de tipo de nido de abeja. Está compuesto de un 98 por ciento de aire, propiedad que lo convierte en un material sumamente ligero.

Es un material perenne e imputrescible, no enmohece y no se descompone, por lo que se puede decir que conserva sus propiedades con el tiempo. No tienen ningún tipo de influencia medioambiental, ni representa amenaza para las aguas.

Mantiene las dimensiones estables hasta los 85 grados centígrados. No produce descomposición ni formación de gases nocivos. Todas las materias primas del Poliestireno Expandido son materiales combustibles. El agente de expansión se volatiliza progresivamente en el proceso de transformación.

Es importante mencionar, que el comportamiento al fuego de los materiales de Poliestireno Expandido se modifica de forma importante una vez se ha aplicado recubrimientos y revestimientos.

3.1. Propiedades físicas

Son las que hacen diferentes a los demás materiales, siendo los encargados de la versatilidad de este material, lo que ha hecho que el Poliestireno Expandido sea utilizado en una gran cantidad de actividades y ocupaciones que realiza el ser humano.

3.1.1. Aislación térmica

La propiedad física más importante del Poliestireno Expandido es su extraordinaria capacidad de aislación térmica contra el frío y el calor. Las celdillas que lo conforman poseen la forma de poliedros totalmente cerrados, de diámetros entre 0,2 y 0,5 milímetros y un espesor de pared de 0,001 milímetros. El material expandido está constituido por un 98 por ciento de aire y un 2 por ciento de poliestireno.

El aire aprisionado es factor fundamental para mantener la capacidad de aislación, cuyo extraordinario efecto aislante es ampliamente conocido. El aire permanece encerrado en las celdillas, ayudando que la capacidad aislante permanezca invariable en función del tiempo.

La capacidad de aislación térmica de un material se realiza mediante el coeficiente de conductividad térmica, cantidad de calor que pasa en una hora a través de una capa de material de 1 metros cuadrados de superficie y 1 metro de espesor en un régimen de flujo térmico constante.

De hecho, muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad: por ejemplo cuando se utiliza como material aislante de los diferentes cerramientos de los edificios o en el campo del envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos como por ejemplo las familiares cajas de pescado.

3.1.2. Resistencia mecánica

Una propiedad importante para el Poliestireno Expandido es su resistencia mecánica bajo esfuerzos de corta y larga duración, mediante la resistencia a compresión.

Dado que el Poliestireno Expandido pertenece a los materiales rígido-tenaces, se indica la tensión por compresión, a una determinada deformación en lugar de la resistencia a la compresión.

3.1.3. Agua y vapor de agua

El Poliestireno Expandido tiene formas de actuar diferentes para estos 2 estados de la material, si bien la diferencia entre ambos es la separación de las partículas que componen el agua, ocasiona diversas reacciones en el material.

3.1.4. Absorción de agua

Al contrario de muchos otros materiales de construcción, el Poliestireno Expandido no es higroscópico. Este material absorbe solamente una pequeña cantidad de humedad. Los valores medidos corresponden a probetas sin piel de moldeo que permanecen sumergidos en agua.

Los cubos de Poliestireno Expandido con una densidad de 30 kilogramos sobre centímetro cúbico pueden absorber de 0,3 a 0,7 por ciento en volumen al cabo de 7 días; y del 2 al 3 por ciento en volumen al cabo de un año de estar sumergidos en agua. Para evitar un posible humedecimiento por difusión de vapor de agua y condensación por sobre los valores anteriormente indicados, es recomendable que las planchas no permanezcan en contacto directo con el agua durante períodos prolongados, si a la vez se produce un gradiente de temperatura.

3.1.5. Difusión de vapor de agua

En contraposición al agua, el vapor de agua que se encuentra en el aire en forma de humedad atmosférica, puede difundir lentamente a través del material aislante, siempre que exista el correspondiente gradiente de temperatura y en caso de enfriamiento, puede depositarse en forma de agua o comúnmente conocido como condensación. Los materiales de construcción oponen una mayor o menor resistencia a esta difusión del vapor de agua. El coeficiente de resistencia a la difusión es un valor sin dimensiones que indica la diferencia que existe entre la resistencia que ofrece un material de construcción comparado con la de una capa de aire de idéntico espesor.

Las planchas de Poliestireno Expandido poseen un factor de resistencia a la difusión del vapor que varía según la densidad y oscila entre 30 y 60 por ciento, a modo de comparación el fieltro asfáltico tiene un coeficiente entre un 10 y 50 por ciento.

3.1.6. Comportamiento frente a las temperaturas

Para la aplicación del Poliestireno Expandido en la construcción, no existe ninguna limitación con respecto a la temperatura mínima. En los casos donde existe la posibilidad de que se produzcan contracciones volumétricas de origen térmico éstas deben tenerse presente en la etapa de diseño. Cuando permanece expuesto a la acción de temperaturas más elevadas, entonces la temperatura máxima admisible dependerá de la duración de esta acción y de la sollicitación mecánica a la que sea sometido el material.

En el caso de una acción térmica de corta duración, hasta un máximo de treinta minutos, el material puede ser sometido a temperaturas no superiores a 100 grados centígrados sin sufrir alteración alguna.

3.1.7. Estabilidad dimensional

Todos los materiales están sometidos a determinadas variaciones dimensionales, ya sea materias primas, elementos prefabricados, o bien, elementos de construcción.

La estabilidad dimensional al calor se determina a temperaturas de hasta 70 grados centígrados para garantizar una mayor estabilidad dimensional al calor a una temperatura de 80 grados centígrados, se consideran ensayos especiales. El uso de tales planchas queda reservado para campos de aplicación especiales, como por ejemplo, aislación de losas de estacionamiento. Los ensayos correspondientes han confirmado que las planchas de Poliestireno Expandido con una densidad adecuada cumplen también con estas elevadas exigencias.

En el Poliestireno Expandido la estabilidad dimensional se diferencia entre variaciones dimensionales originadas por la acción del calor o por contracción posterior del material. El fuego es el máximo enemigo del Poliestireno Expandido, ya que este material soporta una temperatura máxima de 85 grados centígrados sin cambiar su volumen, mientras que la temperatura mas baja del fuego, se encuentra en las llamas rojas alcanzando los 500 grados centígrados, la llama que posee la temperatura mas alta es la de oxihidrógeno, cuando hay fuego y hay hidrógeno en el aire, que alcanza una temperatura media de 2000 grados centígrados.

3.1.7.1. Variaciones dimensionales por calor

El coeficiente de dilatación lineal del Poliestireno Expandido se encuentra entre 0,05 y 0,07 milímetros por metro de longitud y grado Celsius, es decir, un cambio de temperatura de aproximadamente 17 grados centígrados, provoca una variación dimensional reversible de 0,1 por ciento que es aproximadamente 1 milímetros sobre metro.

En muchos campos de aplicación, donde no son de esperar cambios sustanciales entre la temperatura de instalación del producto y la posterior temperatura de uso, la variación dimensional del material se puede despreciar.

3.1.7.2. Variación dimensional por contracción

La contracción posterior, se produce un tiempo después de la fabricación del material. Esta contracción consta de un desarrollo inicial relativamente rápido, disminuyendo a continuación paulatinamente hasta llegar a un valor límite, de manera que a partir de ese valor, la contracción posterior no requiere de medidas constructivas adicionales.

La contracción posterior que puede ocurrir en el Poliestireno Expandido depende del tiempo de reposo y principalmente de la densidad del material. Con la intención de evitar daños por contracción posterior en las capas gruesas de aislación térmica, se recomienda prever además de las juntas de dilatación planchas con ensambles laterales en todo su contorno.

3.1.8. Influencias atmosféricas y de radiaciones

La acción prolongada de las radiaciones, como por ejemplo los rayos ultravioletas UV, de onda corta o los rayos X y rayos gamma, vuelven quebradiza la estructura del material debido a que provocan que el material se cristalice. Este proceso está determinado por el tipo de radiación, de la dosis y del período de tiempo durante el cual actúa sobre el material.

La radiación ultravioleta es prácticamente la única que merece ser considerada en la construcción. Bajo la interacción constante de la luz ultravioleta, la superficie del Poliestireno Expandido se torna amarillenta y se vuelve quebradiza, de manera que el viento y la lluvia logran erosionarla, estos efectos pueden evitarse con medidas sencillas y de uso común en la construcción, con la aplicación de pinturas, recubrimientos y revestimientos, etc.

En lugares cerrados, la proporción de rayos ultravioletas en la luz es tan escasa que no llega a ocasionar daños en el Poliestireno Expandido, esto limita que la consideración de la radiación ultravioleta en la construcción se puede despreciar en la mayoría de casos.

Tabla IV. **Características físicas del poliestireno expandido**

Resistencia	Unidad	Densidad (kg/m ³)	
		20	32
Densidad mínima	kg/m ³	18	32
Densidad nominal	kg/m ³	20	35
Espesor mínimo	mm	20	20
Resistencia a la compresión	kg/m ²	1,02	2,55
Resistencia a la flexión	kg/m ²	1,02	3,82
Resistencia a la tracción	kg/m ²	1,73 – 3,57	4,28 – 5,91
Resistencia al esfuerzo cortante	kg/m ²	0,76	1,88
Módulo de elasticidad	kg/m ²	0,035 – 0,071	0,092 – 0,11
Absorción de agua a 7 días	% vol.	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5
Absorción de agua a 28 días	% vol.	1 – 3	1 – 3
Resistencia a la difusión del vapor de agua	1	30 - 50	60 - 120

Fuente: boletín técnico numero 4, NOVIDESA, Santiago, Chile, enero 2008.

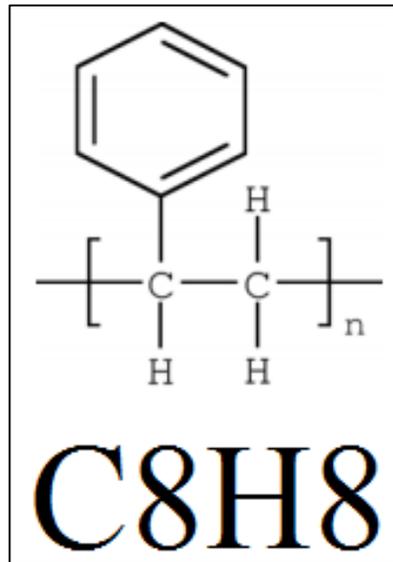
3.2. **Propiedades químicas**

El Poliestireno Expandido demuestra una buena resistencia a la mayoría de los materiales de uso común en la construcción, como el cemento, la cal, el yeso, las mezclas y elementos constructivos obtenidos a base de estos aglomerantes.

Hay que resaltar, que el material es atacado por los solventes aromáticos, cuando se trata de la aplicación de adhesivos, pinturas, solventes y desmoldantes a base de aceites, de productos derivados del alquitrán, de

agentes fluidificantes así como de vapores concentrados de estas sustancias tan usuales en la construcción.

Figura 11. **Fórmula química del poliestireno expandido**



Fuente: boletín técnico numero 4, NOVIDESA, Santiago, Chile, enero 2008.

3.3. Comportamiento biológico

El Poliestireno Expandido no constituye sustrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible y no enmohece. No obstante un fuerte ensuciamiento, en presencia de condiciones especiales puede dar lugar a la formación de microorganismos. En este caso, solamente sirve de portador, sin participar en el proceso biológico. Las bacterias del suelo tampoco atacan al material. El Poliestireno Expandido desprovisto de protecciones es susceptible a daños ocasionales por la acción de animales roedores.

3.4. Usos en la construcción

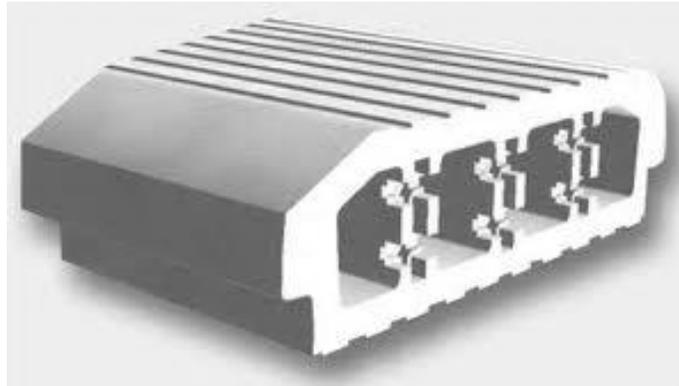
La popularidad del Poliestireno Expandido, para usos constructivos, se encuentra en un constante crecimiento, ampliando cada vez su utilización dentro de las obras de la ingeniería civil de manera significativa, gracias a las propiedades de maleabilidad y aislación térmica, de la misma manera se aprovecha el poco peso que este agrega en las construcciones.

3.4.1. Bovedillas

Son insumos modernos y versátiles para conformar elementos estructurales livianos en el campo de la construcción, aliviando las estructuras, algo que es demasiado necesario en regiones con actividades sísmicas frecuentes como en el caso de Guatemala, que tiene una zona sísmica cuatro, que es la mas latente a sismo de gran magnitud

Las ventajas que aportan y la facilidad de colocación sin riesgo alguno para los operarios y que es una eficiente alternativa para alivianar las losas dentro de las edificaciones y que por su forma cumplen la función de cubiertas aportando a la losa sus relevante condiciones de aislación termo-acústica han hecho de ellas un producto cuya aceptación es cada vez mayor.

Figura 12. **Bovedilla de poliestireno expandido**



Fuente: [en línea] <http://www.basf.cl/aislapol/productos/bovedillas/index.html>. Consulta: agosto de 2012.

3.4.2. Cielos falsos

Son placas de Poliestireno Expandido moldeada recubierta por una de sus caras con una dispersión acrílica con agregado de cuarzo, de color blanco, se caracteriza por su seguridad en cuanto a liviandad por su fácil instalación y mantenimiento, por sus atractivos diseños y siendo su principal características su grado de absorción acústica proporcionado por su diseño.

Su característica principal es su grado de absorción acústica proporcionado por su diseño con perforaciones de 5 milímetros de diámetro, repartidas en el total de la placa. Esta propiedad la hace adecuada para revestir recintos que requieran de un bajo nivel de ruido ambiental, tales como oficinas; bibliotecas; salas de clase en colegios y universidades; etc.

Figura 13. **Cielo falso**



Fuente: [en línea] http://www.basf.cl/aislapol/productos/cielovit/cont_ac.html. Consulta: agosto de 2012.

3.4.3. Molduras

Las molduras representan un uso decorativo del Poliestireno Expandido dentro de la construcción, debido a su comprobado diseño estético y seguridad, es la aplicación de molduras decorativas, gracias a que la humedad y el agua líquida no representan ningún problema para el material.

Las molduras pueden ser protegidas y decoradas con revestimientos cementicos, yeso o pinturas, para aprovechar al máximo su función decorativa, pueden ser instaladas en interiores y en exteriores de las edificaciones.

Las ventajas que ofrece la utilización de este producto a base de Poliestireno Expandido son: bajo costo de adquisición, facilidad en la instalación y aporta un buen aspecto visual.

Figura 14. **Molduras**



Fuente: [en línea] http://www.basf.cl/aislapol/productos/molduras/cont_mod.html. Consulta: agosto de 2012.

3.4.4. Muros divisorio

El Poliestireno Expandido puede utilizarse en la construcción de muros divisorios en interiores y exteriores, aprovechando las ventajas de aislamiento térmico y acústico, uno de los grandes beneficios que aporta este sistema de muros, es la facilidad de instalación debido que es bastante sencillo y es una construcción limpia.

El gran problema de este tipo de muro es que solo pueden ser utilizados en edificaciones de dos pisos cuando son muros estructurales, cuando son muros exclusivamente divisorios su utilización no tiene limitantes.

Otra forma de elaboración de muros utilizando el Poliestireno Expandido, es con la implementación de bloques de este material, que es un sistema de encofrado perdido de alta densidad que permite la construcción de muros de concreto armado fácil y rápido, gracias a la propiedad del Poliestireno Expandido de su casi nula absorción de agua, se logra que el concreto obtenga una resistencia de casi 50 por ciento más de lo esperado.

Figura 15. **Paneles divisorios**



Fuente: [en línea] <http://www.monoplac.cl/imagenes/obras/vivienda/09.html>. Consulta: agosto de 2012.

Figura 16. **Bloques de poliestireno expandido**



Fuente: [en línea] <http://www.exacta.cl/obras.php?cat=1>. Consulta: agosto de 2012.

3.4.5. Hormigones y morteros livianos

El Poliestireno Expandido, puede emplearse dentro de las dosificaciones de concretos y morteros, en forma de perlas, dentro de las mezclas realiza una función de aligerante, lo cual es conveniente en países como Guatemala debido a las amenazas sísmicas que se encuentra latente el país, recordando que la reducción de peso en una estructura que contribuye en gran proporción a inhibir las solicitaciones inducidas por un sismo.

Figura 17. **Perlas de poliestireno expandido**



Fuente: [en línea] <http://www.basf.cl/aislapol/productos/perlas/index.html>. Consulta: agosto de 2012.

3.5. Aplicaciones

A parte de los usos en la construcción para los que se puede emplear el Poliestireno Expandido, este material es de gran utilización dentro de otras áreas, siendo de mucha utilidad en agricultura, para la realización de almácigos para invernaderos y por las propiedades que posee se convierte en la materia prima ideal para la fabricación de empaques y embalajes para la protección de frutos y plantas cuando es necesario transportarlos grandes distancias.

Otro empleo del Poliestireno Expandido dentro de la agricultura también se emplea para la realización de paneles de cubiertas, que es un sistema de techado, para aprovechar las propiedades térmicas que proporciona este material.

De igual manera es muy utilizable en la industria ya que por su bajo peso y gran resistencia, es ideal para la fabricación de empaques y embalajes para los diversos productos de la industria electrónica, farmacéutica, manufacturera, química, artesanal, etc., ya que el material posee una buena maleabilidad puede adaptarse perfectamente a la forma del producto, protegiendo desde una delicada porcelana hasta una pesada caja fuerte.

Una de las propiedades más importantes del Poliestireno Expandido es su excelente poder aislante, ya que debido a sus múltiples celdillas que actúan como cámaras de aire independiente que van reduciendo el paso del calor, permiten conservar los productos fríos o calientes por largo tiempo, ventaja que es muy utilizada para la fabricación de hieleras, tortilleros, vasos térmicos, cajas para carne y productos marinos.

El Poliestireno Expandido es empleado por los seres humanos como artículos de uso común, por ejemplo en hieleras debido a las características térmicas que posee este material, el cual mantiene las temperaturas y protegen los alimentos.

El ser humano también emplea el Poliestireno Expandido para la realización de manualidades, debido a la buena maleabilidad que posee el material, utilizando las planchas y las pelotas.

Dentro del rubro alimenticio, es utilizado el Poliestireno Expandido, debido a sus propiedades térmicas, para el almacenaje de alimentos que deben de permanecer dentro de ciertas temperaturas, o bien se puede utilizar este material para servir los alimentos como sustituto de los platos de porcelana o plástico.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIOS

4.1. Obtención de datos de laboratorio

Para la realización de las pruebas de laboratorio, que definirán la resistencia a compresión de los dos tipos de mezclones, se utilizaron como base teórica normas de American Standard for Testing and Materials, ASTM, las normas utilizadas son: ASTM C-109, Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y la norma ASTM C-270, Especificación estándar para los morteros de albañilería, la utilización de dos normas se debe a que la primera rige los ensayos de laboratorios para someter muestras de ambas dosificaciones a esfuerzos a compresión, mientras la segunda rige la dosificación para el mezclon tradicional.

Debido a la credibilidad internacional que American Standard for Testing and Materials ha forjado desde 1898, con una amplia gama de normas para innumerables materiales, productos, sistemas y servicios. Dentro de esa variedad de normas se encuentran las ya mencionadas, las cuales satisfacen los requisitos necesarios para la elaboración de las pruebas de laboratorio que brinden resultados confiables y poder determinar la utilización de la mezcla experimental.

Para la realización de los ensayos de laboratorio bajo la norma antes mencionada, primero se definió la cantidad de muestras de cada tipo de dosificaciones que se fueran someter a compresión según los estipulado en la norma ASTM C-109, Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, para poder tener resultados con mayor exactitud, se decidió ensayar

tres muestras por día, por lo que fue necesario la realización de doce muestras de cada tipo de dosificación.

La dosificación del mortero tradicional se realizó según lo estipulado en la norma ASTM C-270, Especificación Estándar para los Morteros de Albañilería, por su parte la dosificación del mortero reforzado con Poliestireno Expandido se realizó según la norma UNE-EN 12350-2:2009, Ensayos para hormigones livianos frescos, creada por los Comités Técnicos de Normalización, con vigencia en España y en la mayoría de países sur américa.

Los ensayos se llevaron a cabo en el centro de investigaciones de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de forma gratuita como un apoyo de la facultad de ingeniería para la realización de trabajos de investigación, dicho centro de investigaciones posee el equipo necesario y adecuado para la realización de lo estipulado en la norma ASTM C-109, Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, así como las instalaciones necesarias para el cumplimiento de los ensayos.

4.1.1. Cantidad de materiales

De acuerdo a las normas utilizadas, se determinó la cantidad de muestras que se debían de realizar por cada edad de los mezclones, se ejecutó la cuantificación necesaria de los materiales, para cubrir el volumen de ocho pulgadas cúbicas por muestra que es lo que estipula la norma ASTM C-109, resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, la cantidad de materiales utilizados se detalla en la tabla siguiente.

Tabla V. **Cantidades de materiales**

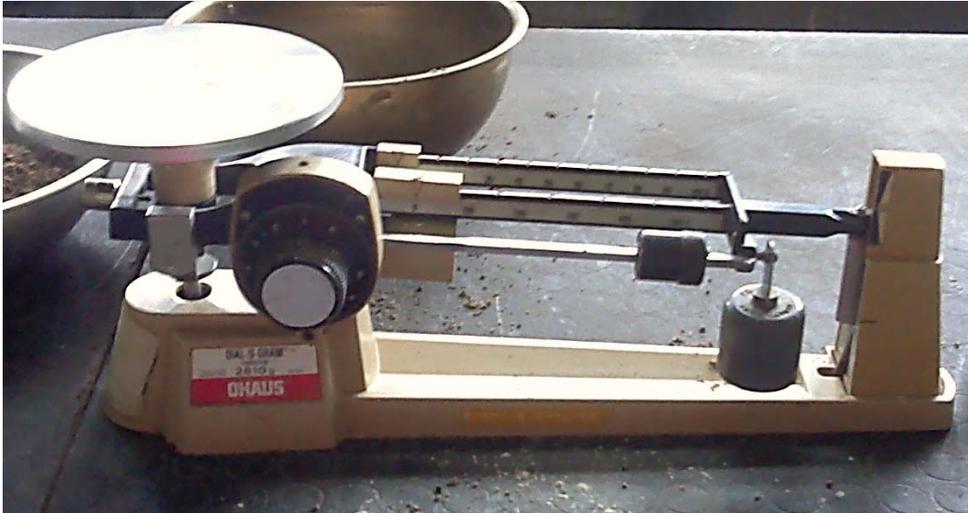
Tipo de dosificación	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (Its)	Poliestireno Expandido (kg)	Proporciones
Tradicional	1	2,7	0,48	-----	1:2.7:0.48
Reforzada con Poliéstireno Expandido	0,51	1,09	0,27	0,014	1:2.14:0.27:0.53

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Equipo utilizado

Para la realización de las muestras y de los ensayos a compresión, se utilizo el equipo recomendado en la norma ASTM C-109, Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, dicho equipo fue brindado por el centro de investigaciones de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala se ilustra a continuación, dicho laboratorio cuenta con la certificación de American Standard for Testing and Materials para la realización de ensayos para materiales.

Figura 18. **Balanza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

Figura 19. **Tara**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

Figura 20. **Batidora**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

Figura 21. **Moldes**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

Figura 22. **Maquina universal**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

4.1.3. Realización de las muestras

La realización de las muestras de los 2 tipos de mortero, se llevo a cabo en las instalaciones del Centro de Investigaciones Ingeniera de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con ayuda del personal que en ella labora.

4.1.3.1 Mezcla tradicional

La realización de la mezcla tradicional se trabajo según lo definido por la norma ASTM C-270, Especificación estándar para los morteros de albañilería, para la cual se siguió el siguiente proceso.

- Se peso la cantidad necesaria de cada material, la cual al mezclarse nos dará el volumen necesario para los doce cubos.

Figura 23. **Materiales para mezcla tradicional**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

- Luego se procedió a realizar la mezcla de la siguiente manera: se vertió la arena y el cemento en la batidora para mezclarse por un tiempo de treinta segundos y luego se agregó el agua para realizar la última mezcla con un tiempo de dos minutos.

Figura 24. **Mezclado de materiales**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

- Ya teniendo la mezcla hecha, se procedió a verterla en los moldes para que obtuvieran la forma cúbica requerida con la cual se puedan realizar los ensayos de compresión.

Figura 25. **Mezcla vertida en los moldes**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

4.1.3.2 Mezcla reforzada con duroport

La realización de la mezcla reforzada con duroport se trabajó según la información brindada por la norma UNE-EN 12350-2:2009, Ensayos para hormigones livianos frescos, creada por los Comités Técnicos de Normalización.

- Se peso la cantidad necesaria de cada material, la cual al mezclarse nos dará el volumen necesario para los doce cubos.

Figura 26. **Materiales para mezcla reforzada con poliestireno expandido**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

- Luego se procedió a realizar la mezcla de la siguiente manera: se vertió la arena y el Poliestireno Expandido en la batidora para mezclarse por un tiempo de treinta segundos, luego se agregó el cemento y se mezcló por treinta segundos más, por último se agregó el agua y se mezcló por dos minutos.

Figura 27. **Mezclado de materiales**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

- Ya teniendo la mezcla hecha, se procedió a verterla en los moldes para que obtuvieran la forma cúbica requerida con la cual se puedan realizar los ensayos de compresión.

Figura 28. **Mezcla vertida en los moldes**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

4.1.4. Realización de ensayos a compresión

Los ensayos a compresión serán erguidos por la norma ASTM C-109, Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, la cual regula que los ensayos se deben de realizar a uno, tres, siete y veintiocho días después de haber realizado la mezcla, a continuación se explica la forma de realización de los ensayos.

- Al haberse cumplido veinticuatro horas de realizada la mezcla, se debe de proceder a desencofrar los moldes y poner cada uno de los cubos en un balde con agua.

Figura 29. **Muestras desencofradas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

- Luego se colocan tres muestras de cada dosificación en un paño húmedo que son las que se ensayaron a las veinticuatro horas de haber realizado la mezcla.
- Después de haber escogido las tres muestras se debe de medir cada cubo al menos tres veces para poder sacar un promedio de medidas y luego determinar el área.
- Seguidamente se procede a pesar los cubos, para poder sacar un promedio de peso, aquí se observa la necesidad de realizar varias muestras por día de ensayo para poder obtener resultados mas exactos.

- Antes de someter los cubos a cargas de compresión, se debe de verificar que cada cubo esta limpio y asegurarse que no tenga granos flojos o incrustaciones de arena de las caras que estarán en contacto con los soportes de la máquina universal.
- Por último se procede a la aplicación de la carga a compresión, la cual se debe de aplicar en la cara mas plana del cubo, la aplicación de la carga se realiza en la maquina universal. La carga se debe de aplicar de una forma gradual y sin interrupción hasta llegar a la ruptura de cada uno de los cubos, dicha aplicación de carga no debe de estar por debajo de veinte segundos ni por encima de ochenta segundos, al finalizar con el ensayo a las tres muestras se debe de realizar un promedio de resistencia a compresión.

Figura 30. **Aplicación de carga a compresión**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

- Este proceso es repetitivo a las edades de tres, siete y veintiocho días de realizadas las muestras, con la aclaración que los promedios de medida, peso y resistencia se hacen independiente por cada edad.

Luego de tener los ensayos realizados y con los datos registrados, se pueden realizar los cálculos necesarios para la obtención de la resistencia a compresión de cada tipo de muestra.

4.2. Comparación de resultados de ambas dosificaciones

El proceso para la obtención de los cálculos se realizó según lo estipulado en la norma ASTM C-109, resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.

4.2.1. Peso de las muestras

Se podría pensar que los pesos de las muestras no sufrirían ningún cambio, debido que fueron realizadas con los mismos materiales, se uso la misma dosificaciones y se hicieron el mismo día, pero la tabla V muestra un pequeño incremento del peso de las muestras con respecto al tiempo, este cambio en el peso es debido a que las muestras que fueron ensayadas de último estuvieron sumergidas mas tiempo, período en el cual absorbieron agua y de allí si incremento en el peso.

Tabla VI. **Peso de las muestras**

Edad	Peso promedio. Muestra tradicional (gramos)	Peso promedio. Muestra reforzada con Poliestireno Expandido (gramos)
Un día	252,80	138,30
Tres días	257,10	140,60
Siete días	259,00	141,80
Veintiocho días	259,20	142,40

Fuente: elaboración propia.

Como era de esperarse el peso de las muestras que contienen poliestireno reforzado es menor en casi un cincuenta y cinco por ciento que las muestras con la dosificación tradicional. Otro dato por resaltar es que el incremento de peso con respecto al tiempo es mayor en la muestra tradicional esto es debido a que su contenido de arena es mayor, por lo tanto tiene mayor absorción.

4.2.2. Carga aplicada a las muestras

Como era de esperarse la carga a compresión que soportarían las muestras fue aumentando en ambas dosificaciones, al igual que el peso de los especímenes la dosificación tradicional soporta una mayor carga, ya que la carga que soporto las muestras realizadas con Poliestireno Expandido únicamente soporto un quince por ciento con respecto a lo soportado por la muestra de mezcla tradicional.

Tabla VII. Carga aplicada a las muestras

Edad	Carga promedio. Muestra tradicional (kg)	Carga promedio. Muestra reforzada con Poliestireno Expandido (kg)
Un día	1 131,40	188,30
Tres días	2 260,00	520,00
Siete días	3 786,70	688,40
Veintiocho días	5 926,70	876,70

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión de la mezcla tradicional es mayor debido a que fue realizada y ensayada bajo normas diseñada específicamente para este

tipo de mezclas, por su parte la mezcla que contiene Poliestireno Expandido dentro de su dosificación es una mezcla experimental, que se trabajo regido por la misma norma para poder comparar la resistencia a compresión de cada una.

Tabla VIII. **Resistencia a compresión de las muestras**

Edad	Resistencia promedio. Muestra tradicional (kg/cm²)	Resistencia promedio. Muestra reforzada con poliestireno expandido (kg/cm²)
Un día	43,40	7,20
Tres días	85,90	19,50
Siete días	143,70	26,00
Veintiocho días	228.00	33,20

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis e interpretación de resultados

El comportamiento de las muestras durante los veintiocho días, que es el período de duración de la prueba de laboratorio, fue según lo esperado, ya que ambas dosificaciones mantuvieron un crecimiento constante en su resistencia a compresión, eso demuestra que el fraguado de las muestra se realizo debidamente mediante hundimiento desde el día de realizada la mezcla hasta instantes antes de ser ensayadas en la maquina universal.

La diferencia de resistencia a compresión entre ambas dosificaciones es bastante amplia, eso es derivado de la cantidad de material constituyente en cada mezclón, ya que el mezclón tradicional esta constituido primordialmente por arena, que es el material que le da resistencia a la mezcla. Por otro lado el Poliestireno Expandido no proporciona resistencia dentro de la muestra, limitando su función únicamente a ser un aligerante y el volumen que esta proporciona disminuye la capacidad de resistencia que aporta la arena.

Si bien la diferencia de la resistencia a la compresión entre ambas dosificación es bastante significativa, esto no impide que la mezclón que contiene Poliestireno Expandido como material constituyente en su dosificación no se pueda emplear dentro de la construcción, ya que puede ser utilizado para la nivelación de pisos, la realización de pañuelos, etc., dejando para usos estructurales al mezclón tradiciones empleándose como mortero de albañilería para el pegado de elementos de mampostería.

A pesar de que la dosificación que contiene Poliestireno Expandido tiene una baja resistencia a la compresión, no todo es malo, ya que presenta grandes ventajas en lo referente a la trabajabilidad y la maleabilidad, ya que el Poliestireno Expandido es un material muy liviano, aporta facilidad a la hora de realizar la mezcla, de igual manera el Poliestireno Expandido tiene propiedades elásticas que luego de estar bajo fuerzas de compresión le permite retomar su estado anterior.

4.3.1. Informe de laboratorio

Los resultados de los ensayos de laboratorio, fueron calculados por el personal del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 31. Resultado de laboratorio parte I



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



DISEÑO DE MEZCLAS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 INFORME No. S.C. - 468 O.T. No. 30026
HOJA 1/1

INTERESADO: Mauricio Leonel Ramirez Guzmán Carne No. 2008-43475
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Comparación entre mezlón tradicional y mezlón reforzado con poliestireno expandido."
DIRECCIÓN: 14 calle "B" 14-60 zona 11 de Mixco.
FECHA: 6 de agosto de 2012

Generalidades: el interesado proporcionó materiales para la mezcla.
Procedimiento: se trabajo de acuerdo a las instrucciones del interesado en lo que se refiere a la proporción y conforme a la norma ASTM C-270 para realización de la mezcla, la norma ASTM C-109 para el ensayo a compresión.

Resultados:
Resistencia a la Compresión:

No. CUBO	FECHA DE FUNDICIÓN	EDAD en días	PESO en gramos	AREA en cm ²	CARGA en kg	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	02/07/2012	1	254.3	26.08	1,105	42.37	602.68
2	02/07/2012	1	251.3	25.91	1,130	43.62	620.35
3	02/07/2012	1	252.7	26.25	1,160	44.19	628.56
4	02/07/2012	3	258.8	26.25	2,025	77.15	1097.28
5	02/07/2012	3	255.3	26.39	2,475	93.80	1334.17
6	02/07/2012	3	257.3	26.25	2,280	86.86	1235.46
7	02/07/2012	7	258	26.28	3,680	140.02	1991.48
8	02/07/2012	7	258.1	26.21	4,180	159.45	2267.95
9	02/07/2012	7	261.1	26.59	3,500	131.62	1872.09
10	02/07/2012	28	258	26.04	6,020	231.15	3287.65
11	02/07/2012	28	258.7	26.01	5,900	226.84	3226.33
12	02/07/2012	28	257.85	25.94	5,860	225.89	3212.85

Observaciones:
 a) Dosificación proporcionada por el interesado.
 b) Dosificación: 1 : 2.7 : 0.48
 c) Mezcla identificada como: Mezclón Tradicional.

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

FACULTAD DE INGENIERÍA—USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-6000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-6121
 Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 32. Resultado de laboratorio parte II



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



DISEÑO DE MEZCLAS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

INFORME No. S.C. - 469

O.T. No. 30026

HOJA 1/1

INTERESADO: Mauricio Leonel Ramirez Guzmán Carne No. 2008-43475
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Comparación entre mezclón tradicional y mezclón reforzado con poliestireno expandido."
DIRECCIÓN: 14 calle "B" 14-60 zona 11 de Mixco.
FECHA: 6 de agosto de 2012

Generalidades: el interesado proporcionó materiales para la mezcla.

Procedimiento: se trabajo de acuerdo a las instrucciones del interesado en lo que se refiere a la proporción y conforme a la norma ASTM C-270 para realización de la mezcla, la norma ASTM C-109 para el ensayo a compresión.

Resultados:

Resistencia a la Compresión:

No. CUBO	FECHA DE FUNDICIÓN	EDAD en días	PESO en gramos	ÁREA en cm ²	CARGA en kg	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	02/07/2012	1	0	26.21	175	6.68	94.95
2	02/07/2012	1	0	26.35	180	6.83	97.16
3	02/07/2012	1	0	26.15	210	8.03	114.24
4	02/07/2012	3	0	26.63	540	20.28	288.46
5	02/07/2012	3	0	27.18	490	18.03	256.43
6	02/07/2012	3	0	26.42	530	20.06	285.33
7	02/07/2012	7	0	26.49	590	22.27	316.81
8	02/07/2012	7	0	26.49	825	31.15	443.00
9	02/07/2012	7	0	26.56	650	24.48	348.12
10	02/07/2012	28	0	26.73	890	33.30	473.59
11	02/07/2012	28	0	26.21	900	34.33	488.31
12	02/07/2012	28	0	26.39	840	31.84	452.81

Observaciones:

- Dosificación proporcionada por el interesado.
- Dosificación: 1 : 2.14 : 0.27 : 0.53
- Mezcla identificada como: Mezclón reforzado con poliestireno expandido.

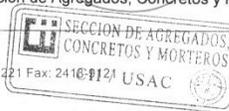
Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jo
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Precios comerciales del mezclón tradicional

Para la realización del mezclón tradicional es necesaria la utilización de cemento, arena y agua; el cemento que se debe de utilizar es de tipo I uso, general en la construcción. La arena utilizada es extraída de río, que debe de pasar por una serie de pruebas de laboratorio que garantiza la utilización en la construcción.

La utilización de algún tipo de aditivo queda a discreción del usuario y va a depender de las necesidades que presenten en determinadas circunstancias, por lo regular se utilizan aditivos que eleven la resistencia inicial o aditivos que aumenten la velocidad de fraguado.

En la tabla siguiente se detallan los precios comerciales de los materiales constituyentes para la realización del mezclón tradicional sin incluir el agua, que por lo regular se obtiene en la obra, los precios que se detallan corresponden al mes de julio del 2012.

Tabla IX. **Precios de los materiales para el mezclón tradicional**

Dosificación de materiales para un metro cubico				
Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Cemento	15	Sacos	Q. 71,00	Q. 1 065,00
Arena	1,10	M ³	Q. 98,00	Q. 107.80

Fuente: elaboración propia.

5.2. Precios comerciales del mezclón reforzado con duroport

Para la realización del mezclón reforzado con Poliestireno Expandido es necesaria la utilización de cemento, arena, agua y perlas de Poliestireno Expandido; el cemento que se debe de utilizar es de tipo I uso, general en la construcción. La arena utilizada es extraída de río, que debe de ser pasar por una serie de pruebas de laboratorio que garantiza la utilización en la construcción.

Las perlas de Poliestireno Expandido pueden ser adquiridas en tiendas nacionales, que es lo más recomendable debido que son esferas con poca variabilidad en sus dimensiones y no ha sufrido alteraciones en sus propiedades, o bien se puede usar Poliestireno Expandido reciclado y molido manualmente, con la salvedad que los resultados puedan presentar alteraciones debido a la variabilidad en sus dimensiones y alteraciones en sus propiedades.

La utilización de algún tipo de aditivo queda a discreción del usuario y va a depender de las necesidades que presenten en determinadas circunstancias, por lo regular se utilizan aditivos que eleven la resistencia inicial o aditivos que aumenten la velocidad de fraguado.

En la tabla siguiente se detallan los precios comerciales de los materiales constituyentes para la realización del mezclón reforzado con Poliestireno Expandido, sin incluir el agua, que por lo regular se obtiene en la obra, los precios que se detallan corresponden al mes de julio del 2012.

Tabla X. **Precios materiales para la mezcla con poliestireno expandido**

Dosificación de materiales para un metro cubico				
Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Cemento	8	Sacos	Q. 71,00	Q. 568,00
Arena	0,60	M ³	Q. 98,00	Q. 58.80
Poliestireno Expandido	45	Bolsa	Q. 20,00	Q. 900,00

Fuente: elaboración propia.

Las bolsas con perlas de Poliestireno Expandido tienen un peso bruto de veinte kilogramos, en Guatemala, se puede adquirir este material, en las tiendas comerciales que se dedican a la venta de duroport en sus diversas presentaciones.

5.3. Análisis e interpretación de la comparación de costos

La dosificación que contiene Poliestireno Expandido como material constituyente posee un costo mayor en un veinticuatro por ciento, si bien hay una reducción de materiales en el cemento y la arena, a pesar de que el Poliestireno Expandido es un material barato, al ser necesario una gran cantidad de bolsas de perlas de este material, sobre pasa la reducción que se había generado con el cemento y la arena.

El Poliestireno Expandido es un material muy utilizado en diversas industrias, lo cual facilita la obtención de este material, ya que por ejemplo lo encontramos como parte del embalaje de una gran cantidad de equipos y accesorios, ese Poliestireno Expandido que fue utilizado como parte del empaque de resguardo, por lo regular termina en un cesto de basura, pudiendo ser reciclado, para ser utilizado como material constituyente dentro de la dosificación experimental de este mezclón, generando un ahorro económico a

los constructores y a si disminuyendo la contaminación ambiental que genera este material.

Tabla XI. **Comparación de costo**

Comparación de costos entre ambas dosificaciones		
Material	Dosificación tradicional	Dosificación reforzada con Poliestireno Expandido
Cemento	Q. 1 065,00	Q. 568,00
Arena	Q. 107,80	Q. 58.80
Poliestireno Expandido	-----	Q. 900,00
TOTAL	Q. 1 172,80	Q. 1 526,80

Fuente: elaboración propia.

Si las partículas de Poliestireno Expandido que se utiliza dentro de la dosificación experimental son recicladas, esto representaría un decremento significativo en los costos, teniendo un costo de producción de Q. 626,80, lo cual representa un 45,55 por ciento del costo de producción de la mezcla tradicional.

CONCLUSIONES

1. Debido a la baja resistencia a la compresión que presentó el mezclón que contiene Poliestireno Expandido como material constituyente, limitar su utilización a nivelaciones de entepiso y recubrimiento de tuberías.
2. El Poliestireno Expandido por ser un material liviano y que sustituye parcialmente a la arena dentro de la dosificación, genera un aumento en la trabajabilidad del mezclón, facilitando su mezclado, transporte y aplicación.
3. La función del Poliestireno Expandido, dentro de las mezclas, es la de aligerante. Al utilizarse mezclones con Poliestireno Expandido como material constituyente genera un gran aporte en la disminución de cargas dentro de las edificaciones.
4. La compra de Poliestireno Expandido, en forma de perlas, como material constituyente del mezclón, genera un incremento de costo con respecto a la dosificación tradicional de un 23,19 por ciento.
5. El reciclaje de Poliestireno Expandido genera una disminución de costos en un 45,55 por ciento con respecto a la mezcla tradicional.
6. A pesar de la baja resistencia, pero al decremento significativo en los costos constructivos, la mezcla experimental puede ser bastante empleada dentro de la construcción.

RECOMENDACIONES

1. No utilizar la dosificación experimental en elementos estructurales, ya que la mezcla utilizada es exclusivamente para mezclones, los cuales son utilizados para la nivelación de entre pisos.
2. Realizar ensayos utilizando diferente aditivos, para poder establecer los efectos que tienen estos sobre el Poliestireno Expandido.
3. Efectuar ensayos con mezclas diseñadas para alcanzar mayor resistencia, disminuyendo la cantidad de Poliestireno Expandido y aumentando la cantidad de arena.
4. Realizar pruebas para establece los efectos que pueda ocasionar el Poliestireno Expandido dentro del mezclón.
5. Llevar a cabo ensayos de laboratorio, utilizando Poliestireno Expandido reciclado y con dimensiones variables de las partículas.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Standard for Testing and Materials. *Especificación estándar para los morteros de albañilería. C-270*. Pennsylvania: ASTM, 2003. 14 p.
2. _____. *Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. C-109*. Pennsylvania: ASTM, 2003. 10 p.
3. ANDERSON, Gustavo; GARCÍA, Orlando. *Materiales de construcción*. 1965. Buenos Aires, Argentina EDB, 127 p. ISBN 978- 987-05-9213-6.
4. Comités Técnicos de Normalización. *Ensayos para hormigones livianos frescos*. España: CTN, 2009. 55 p.
5. DURÁN, María Gabriela. *Equipamiento EMA: características físicas de los materiales de construcción*. Buenos Aires, Argentina: Grupo editorial LUMEN, 2005. 30 p. ISBN 950-00-0504-2.
6. *Información técnica de Poliestireno Expandido*. [en línea]. [ref. 15 de marzo de 2012]. Disponible en Web: [http:// www.scribd.com/doc /82454641/1101propiedades-de-iiiaislapol-1225760698 74511](http://www.scribd.com/doc/82454641/1101propiedades-de-iiiaislapol-122576069874511).
7. *Qué es el poliestireno*. [en línea]. [ref. 15 de marzo de 2012]. Disponible en web: [http://www.novidesa.com.mx/uploads/boletin_tecnico _4.pdf](http://www.novidesa.com.mx/uploads/boletin_tecnico_4.pdf)

