

## Portada Externa de Tesis

Ing. José Delgado Hernández

2013 Desarrollo y Caracterización de un Mortero Reparador



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Desarrollo y Caracterización de un Mortero Reparador

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias,

(Construcción)

Presenta

Ing. José Delgado Hernández

Dirigida por

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Santiago de Querétaro, Qro., Diciembre de 2013

- Escudo y letras doradas
- Pastas duras color negro, tamaño carta



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Desarrollo y Caracterización de un Mortero Reparador

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias,  
(Construcción)

Presenta

Ing. José Delgado Hernández

Dirigida por

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Santiago de Querétaro, Qro., Diciembre de 2013



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Maestría en Ciencias (CONSTRUCCIÓN)**

**TESIS**

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN MORTERO REPARADOR**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:  
Maestro en Ciencias (CONSTRUCCIÓN)

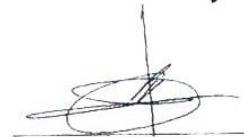
**Presenta:**

Ing. José Delgado Hernández

**Dirigido por:**

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
SINODALES

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Presidente



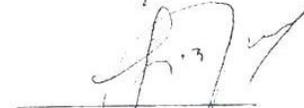
Firma

Dr. Jaime Horta Rangel  
Secretario



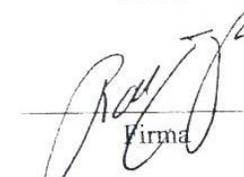
Firma

Dra. Teresa López Lara  
Vocal



Firma

M. en I Rubén Ramírez Jiménez  
Suplente



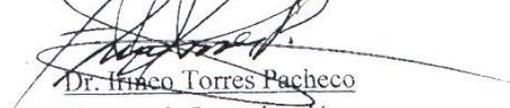
Firma

M. en C. Aleyda Coronado Márquez  
Suplente



Firma

Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad



Dr. Franco Torres Pacheco  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro  
Diciembre 2013  
México

## RESUMEN

Se desarrolla un Mortero-Reparador, el cual es una alternativa de remediación a uno de los problemas más recurrentes en el ámbito de la construcción; las grietas. Uno de los propósitos que se buscó es que fuese sustentable (económico y fácil de usar). El material que más se utilizó fue la Resina de Polyester, este polímero se usó constantemente en las diferentes combinaciones en las que se aplicó adicionándolo con: Cal, Cemento Portland, Calcita, Yeso y Arcilla. De aquí se seleccionó solo uno de estos insumos, con la cual se obtuvieron las mejores propiedades en combinación con la Resina, después se realizaron las diferentes dosificaciones con la finalidad de eficientar el costo del polímero, se procedió a realizar las pruebas de compresión de las cuales se obtuvieron resultados satisfactorios en corto tiempo, donde se comprobó que este mortero-reparador posee grandes propiedades, como el fraguado en un tiempo de 30 minutos, manejabilidad y una resistencia buena a la compresión, así mismo se realizó una prueba de Difracción de Rayos X (DRX). para conocer su mineralogía.

Palabras clave:

*Mortero-Reparador   Resina   Calcita   Resistencia a la Compresión*

## **SUMMARY**

It develops a Mortar- Repairman, which is an alternative remedial to one of the most common problems in the construction field; cracks. It was look for is that it would be sustainable (economic and easy to use). The most commonly material used was the Polyester resin, this polymer was consistently used in different combinations where it was applied, adding it with: Lime, Portland Cement, Calcite, Gypsum and Clay. It was only only input select from here, in which the best properties were obtained in combination whit resin, then different doses were performed in order to streamline the cost of the polymer, after that, compression tests were performed and successful results were obtain in a short time. Now it can be proved that this repairman-morter has great properties, such as setting a 30 minutes time, handling and good resistance to compression, also there was a ray diffraction test (XRD ) . for their mineralogy .

Keywords: Mortar-Repairman Resin Calcite Compressive Strength

## DEDICATORIAS

*A mi Mamita sin tu cariño, fortaleza  
enseñanza, consejos, regaños, sin ti  
no tendría lo que tengo.*

*A mí Esposa Jessica por su apoyo incondicional  
por su comprensión y su constante  
motivación. Gracias por ser mi motor  
diario que alimentas con tu amor.*

## AGRADECIMIENTOS

Primero que nada agradezco a Dios por haberme dado el conocimiento suficiente, la fortaleza necesaria, y a las personas indicadas para poder llevar a cabo, este sueño más la conclusión de mi tesis y la obtención de grado.

A mi Mamá por todo su cariño, su afecto, el cuál a pesar de no ser un hijo perfecto me ayuda día a día indicándome siempre el mejor camino. Por poner en mí los valores que ahora poseo. Y sobre todo por seguir al día de hoy conmigo. Insuficientes serían los agradecimientos las palabras. Sabes que te quiero y te adoro mamita. Gracias por todo!

A Salvador y Roberto por estar siempre conmigo, por ser lo que son y por la unidad que aún tenemos y la cual seguiremos cultivando día a día. Gracias por todo Hermanos.

A mi Jessi, por haber encontrado en tí más que una amiga, una compañera de vida. Por soportar mis pocos y contados cambios de humor. Gracias. Por estar ahí en las buenas y en las malas siempre. Juntos siempre.

A Xavi, Sandy, Lili, Peggi, Facu, Ruma, Cokena, Vic y Ale mis amigos por estar siempre conmigo, dando consejos de fortaleza y ánimo, así mismo por dar un equilibrio a mi vida sonsacándome para un “desestres”. Por verme crecer, por estar creciendo conmigo. Un escalón más y ustedes siguen ahí.

A mis maestros pero muy en especial a mi Director de Tesis al Dr. Juan Bosco por el ánimo que día a día me daba, por su apoyo moral que me brindaba diciéndome “*animos no se desanime usted puede*”, gracias. A mis Sinodales, Dra. Teresa, Dr. Jaime Horta, M. en I. Rubén Ramírez, M. en C. Aleyda. Coronado gracias por engrandecer con sus aportaciones esta investigación.

Al CONACYT por permitir estar aquí con su apoyo económico y a la Facultad de Ingeniería de la UAQ, por seguir dándome la oportunidad de crecer como persona, estudiante, como ser humano. .

**INDICE**

Página

RESUMEN.....	i
SUMMARY .....	ii
DEDICATORIAS .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
INDICE .....	v
INDICE DE TABLAS .....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
1.- INTRODUCCIÓN .....	10
<u>1.1</u> OBJETIVOS .....	13
<u>1.2</u> HIPOTESIS .....	13
2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA .....	14
<u>2.1</u> ANTECEDENTES HISTORICOS .....	14
<u>2.2</u> TIPOLOGIA DEL AGRIETAMIENTO .....	17
<u>2.2.1</u> <i>Grietas de Fraguado</i> .....	20
<u>2.2.2</u> <i>Grietas por Asentamiento Plástico</i> .....	20
<u>2.2.3</u> <i>Grietas por Contracción Plástica</i> .....	20
<u>2.2.4</u> <i>Grietas por Movimiento de la cimbra</i> .....	21
<u>2.2.5</u> <i>Grietas después del endurecimiento</i> .....	21
<u>2.2.6</u> <i>Grietas por contracción por secado</i> .....	23
<u>2.2.7</u> <i>Grietas por movimiento térmico</i> .....	24
<u>2.3</u> CÓMO PREVENIR O MINIMIZAR EL AGRIETAMIENTO .....	25
<u>2.4</u> GRIETAS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA.....	27
<u>2.4.1</u> <i>Deficiencia de ejecución y/o materiales</i> .....	28
<u>2.4.2</u> <i>Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno)</i> .....	29
<u>2.4.2.1</u> <i>Asentamientos diferenciales de los cimientos</i> .....	29
<u>2.4.3</u> <i>Acciones Higrotérmicas</i> .....	31

## Diseño y Caracterización de un Mortero-Reparador

---

2.4.4 Evaluación de Grietas en edificaciones de Mampostería .....	32
2.5 MORTEROS AUTO-RECUPERABLES.....	36
2.6 MORTEROS POLIMERICOS .....	38
2.6.1 Clasificación y caracterización de los polímeros.....	40
2.6.1.1 Termoplásticos .....	41
2.6.1.2 Termoestables .....	43
2.6.1.3 Elastómeros.....	45
3 MATERIALES Y METODO PARA LA ELABORACIÓN .....	47
3.1 MATERIALES .....	47
3.1.1 Resina. ....	47
3.1.2 Cal .....	50
3.1.3 Calcita .....	51
3.1.4 Cemento Portland.....	52
3.1.4.1 Tipos de cementos Portland.....	52
3.1.4.2 Cualidades del cemento .....	53
3.1.5 Yeso. ....	54
3.1.5.1 Tipos de yeso en construcción .....	54
3.1.6 Arcilla. ....	55
3.1.6.1 Características de las Arcillas en la Construcción.....	57
3.2 MÉTODO DE ELABORACIÓN. ....	58
3.2.1 Combinación y Dosificación del Mortero-Reparador.....	58
3.2.2 Caracterización .....	60
3.2.3 Prueba de Compresión.....	67
3.2.4 Difracción de Rayos X.....	68
3.2.5 Prueba de Adherencia.....	70
4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	71
4.1 RESULTADO DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	74
4.2 ANALISIS COSTO - BENEFICIO .....	76
4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA.....	77

5 CONCLUSIONES .....	78
REFERENCIAS .....	79
ANEXOS.....	82

**INDICE DE TABLAS**

	Página
TABLA 1 Aditivos para Morteros (BLACHERE, 2002).....	16
TABLA 2 Clasificación de grietas según el nivel de exposición de la estructura.....	33
TABLA 3 Criterios para determinar el grado de daños de muros de mamposterías después de un sismo .....	34
TABLA 4 Propiedades de la Resina Liquida (Mexicana de Resinas S. A de C.V., 2012) ..	49
TABLA 5 Propiedades de Curado de la Resina de Poliéster (Mexicana de Resinas S. A de C.V., 2012) .....	50
TABLA 6 Combinación y Dosificación de Agua con Calcita .....	59
TABLA 7 Dosificaciones de Resina de Poliéster con Cal .....	59
TABLA 8 Características de la combinación 30% Resina con 70 % Cal .....	61
TABLA 9 Características de la combinación 30% Resina con 70 % Calcita .....	62
TABLA 10 Características de la combinación 30% Resina con 70 % Cemento Portland... 64	64
TABLA 11 Características de la combinación 30% Resina con 70 % Yeso .....	65
TABLA 12 Características de la combinación 30% Resina con 70 % Arcilla (húmeda) ....	66
TABLA 13 Características de la combinación 30% Resina con 70 % Arcilla (Seca) .....	67
TABLA 14 Resultados de las Probetas - Resistencia a la compresión .....	71
TABLA 15 Resistencia a la compresión (Promedio) .....	71
TABLA 16 Costos de cada insumo para la elaboración de nuestro Mortero-Reparador .....	76
TABLA 17 Costo por kilogramo de Mortero-Reparador .....	76

**INDICE DE FIGURAS**

	Página
FIGURA 1 Grieta encontrada en Pasillo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.....	18
FIGURA 2 Grietas tipo estructurales (IMCYC, 2005).....	19
FIGURA 3 Resina Utilizada para la elaboración del Mortero-Reparador- .....	48
FIGURA 4 Estructura química general de las arcillas. ....	57
FIGURA 5 Mortero Realizado con Resina y Cal .....	61
FIGURA 6 Mortero Realizado con Resina y Calcita .....	62
FIGURA 7 Realizado con Resina y Cemento .....	63
FIGURA 8 Realizado con Resina y Yeso .....	64
FIGURA 9 Mortero Realizado con Resina y Arcilla Húmeda.....	65
FIGURA 10 Dosificación de Arcilla seca con Resina de Poliester.....	66
FIGURA 11 Maquina Universal, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. ....	68
FIGURA 12 Difractómetro de Rayos X Bruker D8 Advance, ubicado en .....	69
FIGURA 13 Muestra disgregada para prueba de Difracción de Rayos X.....	69
FIGURA 14 Moldes Cortados de 5 cm por lado (Imagen Izquierda), .....	70
FIGURA 15 Resultados del ensaye de Probetas a 1, 3, 7, 14, 28 días .....	72
FIGURA 16 Deformación de 6 mm la probeta después de ser ensayada a compresión, esta originalmente tenía 50.00 mm .....	73
FIGURA 17 Agrietamiento interno formado a los días 28. ....	74
FIGURA 18 Resultado de la prueba de Difracción de Rayos X al Mortero-Reparador .....	75
FIGURA 19 Espécimen fallado en la prueba de Adherencia. ....	77

## 1.- INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción ha tenido un notorio crecimiento en la región, pero la mayoría de los materiales de construcción empleados son tradicionales y por lo general no ayudan en auto sustentar las edificaciones, los materiales usados para el ahorro de energía son de alto costo por lo que no todos los estratos sociales cuentan con los recursos para obtenerlos, además de que se elaboran con tecnologías desarrolladas en otros lugares principalmente en el extranjero. (Hernández, 2012)

La industria de la construcción ha tenido un notorio crecimiento en todo el mundo, pero los fenómenos naturales (sismos, movimiento de suelos, etc.) que se presentan a diario y son cada vez mayores los daños que ocasionan, motivo por el cual es sumamente caro su mantenimiento y sus remediaciones.

Es por esto que se debe dar solución al problema de agrietamientos que se presenta día a día en la construcción como son:

Dar una solución a la aparición de grietas, que por su baja eficiencia generan costos muy altos de mantenimiento.

Dar una opción más, a lugares sísmicos como la Cd. de México a resistir sismos, y si llegara a dañarse alguna estructura, no sería necesario una restructuración solo verificar la aparición de estas, para poder reparar a bajo costo estas grieta evitando así un remplazo.

Hoy en día existen ya métodos y materiales que se encargan de realizar reparaciones, pero no son del todo económicos ni fáciles de usar, por ende surge la necesidad de crear un material que pueda ayudar a ser autosustentable las edificaciones dañadas.

Actualmente el cemento Portland es el material de construcción por excelencia. El costo beneficio, la resistencia mecánica y durabilidad lo hacen indispensable en la industria

de la construcción. Sin embargo la producción del cemento Portland es muy costosa, y requiere un alto consumo de energía. Además durante la elaboración del clinker se genera CO<sub>2</sub>, el cual es expedido a la atmosfera (I. García-Lodeiro, 2006). La producción de cada tonelada de cemento Portland genera aproximadamente una tonelada de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Alrededor de la mitad de emisiones de CO<sub>2</sub> es debido a la calcinación de la piedra caliza y la otra mitad a los combustibles utilizados. (V.M. Malhotra, 1998).

Por lo señalado, la comunidad científica está buscando nuevos procesos, tecnologías y materiales que proporcionen a la industria de la construcción alternativas para reducir el consumo del cemento Portland (I. García-Lodeiro, 2006).

El concreto auto-reparable es un gran campo de investigación hoy en día". Pero muchos de los proyectos realizados por otros investigadores no han terminado siendo viables económicamente para su producción comercial. (Pelletier, 2010)

Este proyecto de investigación presenta el diseño de un mortero-reparador para lograr el mejoramiento y la recuperación de concretos sin poner en riesgo las propiedades mecánicas y su resistencia. Al mismo tiempo se harán pruebas con diferentes proporciones con la finalidad de obtener las características ya descritas con anterioridad y tratando de que sea un producto costeable para todo tipo de edificación.

Existen hoy en día diferentes metodologías para la reparación de estructuras dañadas, pero requieren de distintos factores que influyen en costo como es la mano de obra, materiales, herramienta, equipo, etc. Debido a esto este producto lo que busca es hacer eficiente la estructura y abaratar el uso de estas tecnologías.

La aplicación de este mortero-reparador en las edificaciones, permite reducir el gasto de rehacer el elemento estructural al reparar las grietas. Esto es especialmente para empresas constructoras que se dedica a la edificación de viviendas, así como lugares donde se presente movimientos sísmicos. Con la tecnología que se tiene ya se ha llegado a usar diferentes métodos de recuperación, aunque estas no son del todo económicas.

Primera etapa: Se llevó a cabo una selección de materiales comunes de la región con como son la Cal, la Calcita, el Cemento, el Yeso, y cualquier tipo de Arcilla, la finalidad de crear un mortero-reparador, para ello se tendrán que probar las formulaciones a través de un diseño de experimentos para identificar con éxito la dosificación más óptima.

Para poder decidir que fuera la Resina de Polyester, se realizó a un proceso completo en la que uno de los principales factores para su selección fue que es fácil de obtener y anexado a esto es un material que mantiene sus propiedades constantes.

Segunda etapa: aquí se hacen mezclas de Agua con Calcita, para ver la reacción de estas mezclas.

Para poder realizar las dosificaciones con los diferentes materiales fue necesario realizar mezclas diferentes (proporciones) de Cal con Resina de Polyester esto con la finalidad de saber cuál es la menor cantidad posible a utilizar de la resina. La cual nos resulta que es el 30% de Resina.

De aquí tienden a realizarse diferentes mezclas con Cal, Cemento, Calcita y Arcilla(Parcialmente saturada y seca)

Conociendo las propiedades de cada mezcla por separado se concluye que la mejor dosificación fue de Calcita(70%) con Resina de Polyester(30%).

Tercera etapa: De la mezcla seleccionada se ensayaron cubos de mortero con una dimensión de 2 pulgadas bajo la norma ASTM correspondiente. Estos ensayos se harán con el propósito de obtener sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando su resistencia a compresión. Para obtener la resistencia compresión se ensayaron cubos de mortero de 5cm por lado,. Las edades de ensayo se establecieron en 1, 3, 7, 14 y 28 días. Una vez que se controló el diseño de la mezcla de acuerdo a norma se elaboraron 6 cubos para cada edad y

cada proporción. Tales edades se establecieron debido a que son las más comunes que se manejan en la industria de la construcción.

Cuarta etapa: Se someterá a una prueba de difracción de rayos X con la finalidad de analizar el cambio que pueda sufrir la calcita al ser combinada con

En general, la fisura o agrietamiento puede evitarse o disminuirse si se toman medidas preventivas en el diseño y producción del concreto, así como en los procesos constructivos de los elementos en la obra. Pero si esta ya apareció es necesaria su reparación y mediante el aditivo a usar hacer de esto un mortero-recuperador sustentable y fácil de utilizar.

### **1.1 OBJETIVOS**

Elaborar un Mortero-Reparar que sea capaz de remediar estructuras dañadas. A través de una dosificación óptima.

### **1.2 HIPOTESIS**

Los agrietamientos de una estructura dañada, se puede remediar de manera satisfactoriamente con un mortero reparador que sella y reparada la estructura.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

La historia del mortero constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas.

Los primeros morteros utilizados en la historia fueron los morteros de barro, el cual permitió no solo apilar, sino acomodar con mayor facilidad las piedras irregulares (ICA, A.C., 1999).

A través del tiempo en México y en el mundo, se ha tenido que lidiar con fenómenos naturales que afectan principalmente a nuestras edificaciones, haciendo que estas sufran diferentes tipos de daños, el más recurrente es la aparición de grietas. Motivo, por lo cual nace la necesidad de la creación de nuevas tecnologías que sean capaces de soportar o reparar dichos problemas ya que después de haber sufrido esto pueda recuperar su resistencia inicial, para lograr evitar el remplazo de elementos estructurales, dando un mantenimiento más económico y sustentable al edificio.

La industria de la construcción ha tenido un notorio crecimiento en todo el mundo, pero los fenómenos naturales (sismos, movimiento de suelos, etc.) que se presentan a diario son cada vez mayores y los daños que ocasionan son cada vez más grandes, motivo por el cual es sumamente caro su mantenimiento y sus remediaciones.

Gracias a los conocimientos empíricos, científicos y técnicos a lo largo del tiempo, la producción y fabricación de estos materiales ha experimentado importantes cambios, desde una fabricación artesanal a una industrial en la cual se utilizan nuevos productos así como nuevos procedimientos y tecnología para garantizar una producción de mortero de calidad. (Salamanca, 2001).

Si se sigue la línea de la evolución de los estucos nos podemos dar cuenta que no han quedado relegados o estancados, gracias al impulso de las nuevas tecnologías e investigaciones lo llevan al margen de las necesidades. Los diseños de nuevas mezclas de acuerdo con su aplicaciones, los procesos de elaboración, sistemas de puesta en obra y nuevos aditivos; hacen que las propiedades de los morteros como de los concretos se puedan ver modificadas ampliamente y responder a nuevas limitantes para satisfacer las necesidades en cualquier edificación. Esto refleja que los morteros son tan útiles como necesarios y hoy en día tenemos en este campo una industria moderna. (Hernández, 2012)

Con el desarrollo de la tecnología y al igual que muchos materiales usados en la construcción han ido evolucionando para obtener la mezcla que hoy conocemos; el mortero está constituido por cemento y/o cal, agregado fino (arenas) y agua. En algunos casos es necesaria la colocación de algunos aditivos, para darle con esto ciertas características que por sí solo no contiene. (Villalvilla, et al, 2003). Generalmente utilizada en obras como material de agarre, losas, muros, puentes, así como para hacer algo infinitamente rígido, que sea más fluido, etcétera.

Los aditivos que se agregan para conferir determinadas propiedades de los morteros. Pueden ser: hidrófugos, plastificantes, colorantes, anticongelantes, aceleradores o retardadores de fraguado, endurecedores de superficie. (Véase TABLA 1)

**TABLA 1** Aditivos para Morteros (BLACHERE, 2002)

<b>ADITIVOS</b>	Regulación de fraguado	Aceleradores o Retardadores
	Densidad	Aligerantes
	Modificación de la impermeabilidad	Hidrófugos
	Adecuación de la trabajabilidad	Plastificante o aeireadores
	Protección de agentes climáticos	Contra la desecación, heladicidad
	Aumentar su capacidad mecánica	Endurecedores de superficie
	Proporcionar color	Pigmentos

La tecnología de los morteros no solo incluye la fabricación, transporte y los diversos aditivos que han surgido con una calidad ya reconocida, también la industria química que fabrica productos de síntesis, sobre todo, una gama amplia de que han permitido mejorar algunas de sus características, como son: la trabajabilidad, la resistencia, el poder hacerlo más fluido sin perder resistencia, la impermeabilidad, las resistencias mecánicas, la durabilidad, el bombeo, etc. o modificar los tiempos de fraguado. (Salamanca R, 2001)

Los plastificantes mejoran la plasticidad y maleabilidad permitiendo una reducción del contenido de agua de la pasta. Lo que produce disminuciones de la retracción de secado, mejorando el monolitismo del aparejo, también reducen un número considerable de microscópicas burbujas de aire aisladas que actúan como un árido sin rozamiento. Otro

efecto es sobre el trabajo en tiempo frío al congelarse el agua el aire ocluido absorbe el movimiento evitando la desintegración del mortero. El hecho que las burbujas no estén interconectadas aumenta la resistencia a la penetración del agua de lluvia al no haber o reducirse los canales capilares. (Blachere, 2002)

Hernández (2012), expreso que la mayoría de los materiales de construcción empleados son tradicionales y por lo general no ayudan a auto sustentar las edificaciones, y para las empresas constructoras resulta sumamente caro . En varias ocasiones resulta sumamente caro dar el mantenimiento cuando existen muchas grietas. En varias ocasiones es necesario hasta su demolición y restructuración de los elementos estructurales.

El desarrollo de tecnologías sustentables debe ser una prioridad, y se debe emplear recursos humanos y vanguardistas para la elaboración de materiales de construcción, siendo una prioridad los insumos que tiendan a reparar elementos estructurales, siendo uno de estos el mortero-reparador ya que este debe ser ecológico y de bajo costo donde se orienta para que sus logros beneficien al mayor número de habitantes posibles.

Uno de los problemas que se pretende atacar es la reparación de elementos dañados principalmente por agrietamientos, siendo este el fenómeno natural más recurrentes en la industria de la construcción mismo que no se puede evitar, solo se trata de mitigar su efecto.

### **2.2 TIPOLOGIA DEL AGRIETAMIENTO**

Siempre que se construye o se trabaja con concreto o mortero se está propenso a que aparezca uno de los problemas más antiguos de los que se tiene conocimiento en la construcción, el agrietamiento o como comúnmente las llamamos “grietas”.

Una grieta es una abertura larga y estrecha producida por la separación de dos materiales (Véase FIGURA 1).



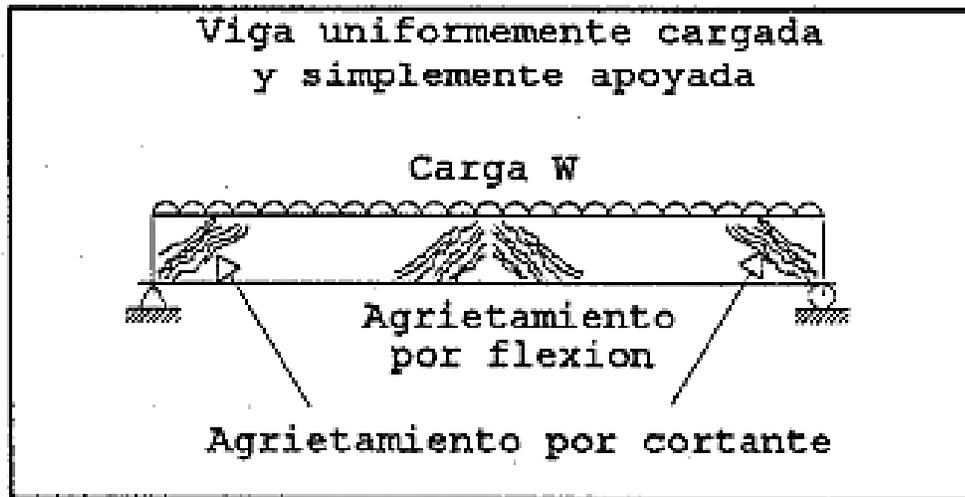
**FIGURA 1** Grieta encontrada en Pasillo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro

El agrietamiento de casas y edificios tienen diferentes causas, las cuales pueden agruparse de la forma siguiente (Ramírez, 2008):

- Grietas estructurales
- Grietas por asentamiento
- Grietas térmicas
- Grietas por fraguado

Las grietas estructurales surgen por análisis y diseños defectuosos y se manifiestan en las zonas de cortante, momento o torsión máximos (Véase, FIGURA 2); si la estructura

no cuenta con restricciones suficientes para aliviar la concentración de esfuerzos en esas zonas, la grieta se puede convertir en una falla catastrófica de no tomarse medidas adecuadas .



**FIGURA 2** Grietas tipo estructurales (IMCYC, 2005)

No es deseable el agrietamiento al azar en el concreto, pues puede hacer que parezca feo y generar debilidad estructural del concreto. Para mitigar el agrietamiento se usan refuerzos y juntas. El agrietamiento muy malo deja el refuerzo expuesto al aire y a la humedad, lo que puede causar oxidación y debilitamiento del concreto. (IMCYC, 2005)

Es necesario conocer los tipos de grietas que existen para así poder determinar los problemas que éstas pueden generar. Como son las siguientes:

- Grietas por Prefragado. Estas grietas ocurren antes de que el concreto se endurezca, mientras todavía es trabajable.
- Agrietamiento por endurecimiento. Estas grietas aparecen después del endurecimiento del concreto.

### ***2.2.1 Grietas de Fraguado***

Las grietas de prefraguado se forman durante el colado, la compactación y el acabado causadas por el movimiento del concreto antes de que este seco.

Hay tres tipos de grietas de prefraguado que son (Ramírez, 2008):

- Grietas por Movimiento de la cimbra.
- Grietas por Contracción Plástica
- Grietas por Asentamiento Plástico

### ***2.2.2 Grietas por Asentamiento Plástico***

Estas tienden a tener un patrón regular y ocurren sobre el refuerzo, particularmente en elementos peraltados. También, pueden ocurrir en las uniones de las cimbras como por ejemplo en un piso nervado. Las grietas se forman después del colado y la compactación del concreto, pero antes de que haya comenzado su fraguado inicial.

### ***2.2.3 Grietas por Contracción Plástica***

Estas aparecen en la superficie del concreto a las pocas horas del colado a veces muy pronto después del enrase y frecuentemente antes del allanado. A menudo no se notan hasta el siguiente día, pues se desarrollan luego de que los trabajadores han dejado la obra. Raramente perjudican la resistencia del concreto, pero de modo común forma un patrón, como las ramas de un árbol, una red de grietas, o a veces, tienden a ser más derechas, en un patrón en toda la superficie y pueden tener una tendencia a seguir el refuerzo. Las grietas que siguen el patrón del refuerzo usualmente son causadas por asentamiento plástico, en tanto las grietas por contracción plástica pueden ser muy cortas es decir de unos 50 mm, pero pueden llegar a tener hasta un metro o más de longitud, con una tendencia de ir por

completo a través de una losa provocando así preocupaciones de impermeabilidad por todo lo que este debajo de estas.

### ***2.2.4 Grietas por Movimiento de la cimbra***

Este tipo de agrietamiento puede evitarse tratando de localizarlas en la medida que ocurre, mientras que el concreto todavía esta fraguado. Si estas se detectan a tiempo fácilmente pueden corregirse compactando, allanando o aplanado de nuevo la superficie de concreto.

### ***2.2.5 Grietas después del endurecimiento***

Las grietas después del endurecimiento pueden ser causadas por la contracción del secado, el movimiento o el asentamiento del suelo, o por colocar en el concreto cargas más pesadas que aquellas diseñadas para ser soportadas (IMC).

Poco puede hacerse con las grietas después del endurecimiento. El colado cuidadoso y correcto ayuda a prevenir el agrietamiento serio después del endurecimiento.

Las grietas no controladas son un posible problema. Las grietas en las juntas de control o controladas por el acero de refuerzo pueden ser algo esperado y aceptable.

Estas grietas ocurren en el concreto endurecido por varias razones principales:

- Cambios de Volumen en el concreto; y

- Reacciones químicas dentro del cuerpo del concreto que causan expansión y el agrietamiento subsecuente del concreto

El movimiento volumétrico en el concreto no puede ser evitado ya que ocurre siempre que el concreto gana o pierde humedad (contracción por secado) o siempre que cambia la temperatura (movimiento térmico). Si tales movimientos son excesivos, o si no se han tomado las medidas adecuadas para controlar sus efectos, el concreto se agrietara.

Las reacciones químicas dentro del cuerpo del concreto que pueden hacer que se expanda y se agriete, incluyen la corrosión del refuerzo y el ataque de sulfatos, y la reacción álcali-agregado. A menos que se tenga el cuidado adecuado en la selección de los materiales y que se coloque, se compacte y se cure apropiadamente un concreto de buena calidad, estas reacciones no deben de ocurrir, excepto en condiciones de un medio ambiente extremos.

El ‘agrietamiento menudo’ describe las grietas muy finas que aparecen en la superficie del concreto después de que ha sido expuesto a la atmósfera por algún tiempo. Puede ocurrir tanto en superficies allanadas como en las moldeadas, pero es más notorio en estas últimas, particularmente cuando están húmedas. Ocurre cuando la superficie de concreto se expande y se contrae durante ciclos alternos de mojado y secado, o cuando sufre carbonatación y se contrae durante la larga exposición al aire.

El uso de mezclas ricas en cemento sobre la superficie de concreto, ‘secadoras,’ exagera el problema, como lo hace también el trabajo excesivo (trayendo el exceso de mortero a la superficie) o cuando se trata de llevar el agua de sangrado a la superficie por medio del allanado. En superficies moldeadas, el agrietamiento menudo tiende a ocurrir sobre lascaras lisas coladas contra materiales de cimbras de baja permeabilidad.

Generalmente se acepta que el agrietamiento menudo es un problema cosmético. Hay mucha evidencia anecdótica de losas de pisos industriales que exhiben agrietamiento superficial, que han estado en servicio por muchos años sin deterioro. Puede ocurrir el remedio autógeno de las grietas finas, y aunque se hayan ‘curado’ las grietas todavía son visibles.

### ***2.2.6 Grietas por contracción por secado***

El concreto endurecido se contrae, es decir se reducen en volumen a medida que pierde humedad debido a:

- La hidratación del cemento
- La evaporación

La contracción causada por la pérdida de humedad no es un problema si el concreto está completamente libre para moverse. Sin embargo, si está restringido de alguna manera, entonces se desarrollará un esfuerzo de tensión. Si ese esfuerzo excede la capacidad del concreto para soportarlo, el concreto se agrietará.

Los factores que influyen en la contracción del concreto, en particular el contenido total de agua. Otros que incluyen:

- El contenido, tamaño, y las propiedades físicas del agregado.
- La humedad relativa.
- Los aditivos, especialmente aquellos que contienen cloruro de calcio.
- Las condiciones de curado.

El contenido de cemento del concreto influye en la contracción por secado casi únicamente en la medida en que influye en la cantidad de agua usada en la mezcla.

### *2.2.7 Grietas por movimiento térmico.*

El agrietamiento térmico se atribuye al calor generado durante el proceso de hidratación del cemento. El tema es complejo, y por lo tanto, veremos únicamente:

- El desarrollo de alguna compresión inicial de los problemas.
- La determinación sobre cuando los diseñadores y los constructores deben de pensar cuidadosamente acerca de este tema.
- Los tipos de grietas que pueden formarse.
- Las estrategias de diseño y construcción para remover o reducir la incidencia de este tipo de agrietamiento.

#### Calor de hidratación

El mezclado del cemento con agua es el comienzo de una reacción química que desprende calor. La cantidad del calor generado es influenciado por varios factores, incluyendo:

- La Cantidad de cemento usado
- Si se usan o no materiales cementantes suplementarios.
- El tipo de cemento, por ejemplo, cemento de alta resistencia, resistencia temprana, o para propósitos generales.
- Las propiedades de los agregados.
- La temperatura ambiente.
- El tipo de cimbras y cuando ha de ser desmoldado

En una revisión bibliográfica se han encontrado diversos tipos de morteros, mismos que cada uno de estos tiene una finalidad específica. De estos morteros tenemos 2 que son los que hoy en día tienen gran relevancia, los cuales son los Morteros Auto-recuperables y los Morteros-Reparadores donde no son del todo económicos ni fáciles de usar. Esto

buscando en la actualidad mezclas con fines sustentables, tratando de alargar la vida útil de las estructuras de concreto.

Existen ya varios métodos y materiales para resolver estos problemas pero no todos son del todo económicos o fáciles de usar, al desarrollar este mortero-reparador, será capaz de sanar algún elemento estructural dañado, a partir de una fácil aplicación

### **2.3 CÓMO PREVENIR O MINIMIZAR EL AGRIETAMIENTO**

Todo concreto o mortero tiene tendencia a agrietarse y no es posible producir un concreto o mortero completamente libre de grietas, sin embargo, el agrietamiento puede ser reducido y controlado si se siguen las prácticas básicas de construcción:

Sub-base y encofrado. Toda la capa vegetal y las zonas blandas deben ser removidas. El suelo debajo de la losa deberá ser un suelo compacto o un relleno granular, bien compactado con rodillo, vibración o apisonado. La losa y por supuesto la sub-base deben tener pendientes para el drenaje. Las sub-base lisas y a nivel ayudan a prevenir el agrietamiento. Todo encofrado debe ser construido y reforzado de manera que resista la presión del concreto para evitar movimiento. Las barreras de vapor que están directamente debajo de una losa de hormigón incrementa la exudación (sangrado) y elevan el agrietamiento potencial, especialmente con un concreto elevado de asentamiento (revenimiento). Cuando se utiliza una barrera de vapor, cúbrala con 3 a 4 pulgadas de un relleno granular compactable, como por ejemplo de un material de trituración, para reducir la exudación. Justo antes de la colocación del concreto, humedezca ligeramente la sub-base, el encofrado y el refuerzo si existen condiciones severas de secado.

El concreto. En general, utilice concreto con moderado asentamiento (no mayor de 5 pulgadas, o sea 125 mm). Evite efectuar el reemplado o acomodo de la mezcla de

concreto para incrementar su asentamiento antes del vaciado. Un elevado asentamiento (de hasta 6 o 7 pulgadas, o sea de 150 a 175 mm) puede ser utilizado si la mezcla esta diseñada para aportar la resistencia requerida sin exudación y/o segregación excesiva. Esto se logra generalmente mediante la utilización de un aditivo reductor de agua. Especifique un concreto con aire incorporado para losas exteriores sometidas a la congelación.

**Terminación.** El enrase inicial deberá ser seguido inmediatamente por el allanado, nunca ejecute los trabajos de nivelación y alistado con la presencia de agua en la superficie. Para una mejor fricción sobre las superficies exteriores utilice un acabado con cepillado (terminación con escoba). Cuando las condiciones ambientales conducen a una elevada tasa de evaporación, utilice medios para evitar un rápido secado y con ello el agrietamiento por retracción plástica, mediante barreras de viento, atomizador con agua (nebulizador), y cubriendo el concreto con mantas húmedas o con láminas de polietileno entre las operaciones de acabado.

**Curado.** El curado es un paso importante para asegurar un concreto resistente al agrietamiento. Comience a curar tan pronto como sea posible. Selle la superficie con un compuesto curador de membrana o cúbralo con mantas húmedas y manténgalo mojado como mínimo por 3 días. Una segunda aplicación del compuesto de curado al día siguiente es un buen paso de aseguramiento de la calidad.

**Juntas.** Los cambios volumétricos anticipados, debidos a la temperatura y/o a la humedad deben ser resueltos mediante juntas de construcción o de contracción aserrando, encofrando o ejecutando con herramientas que hagan ranuras de alrededor de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{3}$  del espesor de la losa, espaciados entre 24 a 36 veces dicho espesor. Las juntas hechas con herramientas o cortadas con sierra deben ser ejecutadas en el momento apropiado. Se recomienda un espaciamiento de 4.57m (15 pies) para las juntas de contracción. Las losas o paneles deben ser cuadrados y su longitud no debe exceder de 1.5 veces su ancho. Deben

preverse juntas de aislamiento siempre que se anticipen restricciones a la libertad del movimiento vertical u horizontal, como en los casos de pisos que se encuentren con muros, columnas o cimientos. Estas son juntas de la misma profundidad del elemento y se construyen insertando una barrera de algún tipo para evitar la adherencia entre la losa y los otros elementos.

Recubrimiento sobre el acero de refuerzo. Asegurando suficiente recubrimiento de concreto (como mínimo de 2 pulgadas o 50 mm), para mantener la sal y la humedad fuera del contacto con el acero, se evitaran las grietas en el concreto armado debidas a la expansión del óxido sobre el acero de refuerzo.

Siga estas reglas para evitar el agrietamiento

1. Diseñe los miembros para soportar todas las cargas previstas.
2. Prevea las juntas apropiadas de contracción y aislamiento.
3. En los trabajos de losas sobre el suelo, prepare una sub-base estable.
4. Coloque y dé acabado al concreto de acuerdo a las prácticas recomendadas y establecidas.
5. Proteja y cure el concreto de forma apropiada.

### **2.4 GRIETAS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA**

Al observar un muro agrietado no solo debemos concentrarnos en el efecto de la grieta sino que además debemos investigar la mayor cantidad de datos que nos den una pista sobre la verdadera causa del defecto.

Una grieta puede tener múltiples orígenes, en algunos casos una rápida mirada será suficiente para determinar el origen de la misma, pero en la mayoría de los casos no es así.

Una grieta se define como una abertura incontrolada que afecta la superficie y el espesor del muro.

Existen diferentes factores que dan origen a las grietas entre ellos tenemos.

- Deficiencia de ejecución y/o materiales
- Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno)
- Acciones Hidrotérmicas
- Deficiencias del proyecto

### ***2.4.1 Deficiencia de ejecución y/o materiales***

Las deficiencias en los procedimientos constructivos y en la calidad de los materiales son un factor importante para que la mampostería no presente problemas durante su vida útil de servicio (Ramírez, 2008).

Entre algunos problemas podemos encontrar los siguientes:

1. Desplante deficiente de castillos por no prever su anclaje. En estos casos es necesario escarificar la losa o emplear barrenos con adhesivo de inyección y no la colocación de dados de concreto simplemente apoyados.
2. Falta de confinamiento o deficiente confinamiento en las ventanas.
3. Deterioro en las juntas del tabique, aún frescas, por falta de colocación de la cimbre de castillos.
4. Falta de cuidado en la preparación de mezclas.
5. Colado deficiente de los castillos interiores.
6. Esviajamiento (bayoneteo) del refuerzo vertical de los castillos por error en la posición.
7. Deficiencia en el colado de los castillos.

8. Aberturas excesivas para la colocación de instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, sin tomar en cuenta el grave deterioro estructural.

### ***2.4.2 Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno)***

Es la causa más común y la que produce más grietas y abundantes. Estas acciones se transforman en esfuerzos que pueden ser de tracción, corte o rasantes. Las acciones de compresión raramente producen grietas.

Las acciones mecánicas pueden ser muy variadas, por lo que conviene juntarlas en una serie de tipos, de acuerdo a si el movimiento es de estructura soporte o del movimiento propio del elemento.

#### ***2.4.2.1 Asentamientos diferenciales de los cimientos***

Los suelos arcillosos varían su resistencia a la compresión según su contenido de agua. Con la humedad natural (aprox18%) tienen muy buena resistencia pero a medida que aumenta el contenido de humedad también aumenta su volumen al tiempo que disminuye la resistencia llegando al valor limite del 26% (limite plástico), luego va disminuyendo su volumen y se licua a partir de 35%(Ramírez, 2008).

Al aumentar su volumen, el suelo ejerce una presión que ronda en los 4 kg/cm<sup>2</sup>.

Como las cargas que los muros portantes transmiten al suelo están en el orden de los 2 kg/cm<sup>2</sup> puede ocurrir que la acción del suelo supere a las cargas empujando la estructura hacia arriba.

Si la humedad continua aumentando el suelo pierde volumen y resistencia produciéndose el fenómeno contrario.

En la medida que los asentamientos sean parejos el problema no es demasiado grande, los inconvenientes se magnifican cuando existen asentamientos diferenciales o humedad del suelo no pareja.

El exceso de humedad puede provenir de: agua de lluvia que cae por los desagües del techo, falta de vereda perimetral, cañerías rotas, etc.

También se producen grietas en donde existen elementos constructivos de distinto peso.

En los cimientos que ceden en forma puntual, como ocurre al romperse un caño, o desagües que aflojan el terreno, las grietas pueden ser verticales o en forma de “V” invertida sobre el eje del asiento, o ligeramente inclinados en algunos tramos por los esfuerzos del corte. En otros, la base de apoyo se deforma aumentando su longitud. Según como y donde sea ese aumento aparece la grieta.

Si la pared es muy larga y apoya sobre un terreno débil puede resultar que no se llega a formar un arco de descarga por estar muy alejados los puntos de arranque. En consecuencia la grieta que se produce es horizontal, coincidente con una hilada en la parte inferior.

Efectos nocivos de los asentamientos diferenciales y ejemplos de causas son los siguientes:

- Profundidad y ubicación de la cimentación:
  - a) Cambios de volumen y pérdida de resistencia de las capas superficiales.

- b) Arrastre de material y socavaciones.
  - c) Efectos de superposición de estructuras vecinas.
  - d) Excavaciones y futuras operaciones constructivas.
  - e) Nivel de aguas del terreno y oscilaciones.
  - f) Accidentes en el subsuelo; fallas y cavernas.
- Cambios Volumétricos:
    - a) En muchos suelos con alto contenido arcilloso (con posibilidad de expandirse o contraer como son las Montmorilonitas, Illitas y Bentonitas) los cambios de humedad originan alteraciones volumétricas y pueden generar movimientos excesivos y el posible daño en las estructuras soportadas por ellos.
    - b) Su comportamiento está asociado al clima en la zona. El problema lo resisten los edificios ligeros o livianos, los pavimentos y las instalaciones que llevan líquidos o gas.
    - c) Para eliminar el problema se efectúa de diversas formas: evitando los cambios de humedad, colocando la cimentación debajo de la capa activa mediante pilotes, sustituyendo el suelo por una capa de espesor considerable del suelo inerte, construyendo una cimentación rígida que no resulte afectada por los cambios o estabilizando la capa superficial con cal.

### ***2.4.3 Acciones Higrotérmicas***

Las acciones Higrotérmicas que se presentan en el medio ambiente (el calor y el frío), provocan que los materiales sufran algunos cambios como: dilatación o contracción, debido a la composición química de los materiales. Estos pueden dañar la estructura por lo que es conveniente seguir los procedimientos de construcción necesarios. Por ejemplo, el mojar los tabiques antes de ser colocados.

#### ***2.4.4 Evaluación de Grietas en edificaciones de Mampostería***

Para determinar las posibles causas de las grietas se debe contar con datos, estos se deben de recabar en campo por medio de una encuesta. En este capítulo se elabora una encuesta tomando en cuenta los parámetros del capítulo de rehabilitación de estructuras de mampostería del “Manual de edificaciones de mampostería para vivienda”.

El manual nos explica lo siguiente la causa más frecuente de falla en la mampostería (entendiendo como fallas a la alteración del nivel de desempeño a o a la condición por la cual deja de cumplir una función) son las grietas en los muros y no el colapso.

La filosofía de diseño se basa en eliminar las grietas o bien, en limitar su anchura a valores tolerables. Las grietas pueden indicar un posible colapso, alterar la apariencia arquitectónica, o servir de entrada para lluvia y demás agentes agresivos. Una grieta aparece cuando las deformaciones del muro exceden la deformación de agrietamiento de la mampostería.

No existe una clasificación universal y absoluta de la anchura de grietas que pueda considerarse peligrosa, ya que depende de la función de la estructura, tipo de acción, forma de grieta, entre otras.

Según datos recabados en estructuras de mampostería, las grietas con anchuras menores que 0.15 mm no permiten el paso de agua de lluvia arrojada por el viento contra el muro. Sin embargo, esto no significa que todas las grietas con anchuras mayores permitirán el paso de agua. Una clasificación de anchura de grietas según el nivel de exposición de la estructura se presenta en la TABLA 2.

**TABLA 2** Clasificación de grietas según el nivel de exposición de la estructura.

Categoría		Anchura de grieta AG, (mm)
Muy finas	Impermeable	$AG < 0.15$
Finas	Exposición exterior	$0.15 < AG < 0.30$
Mediano	Exposición interior- húmeda	$0.30 < AG < 0.50$
Extenso	Exposición interior- seca	$0.50 < AG < 0.60$
Severo		$AG > 0.60$

También se ha propuesto criterios para determinar el grado de muros de mampostería por sismo. Conviene señalar que la propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería también considera 5 niveles de daño como se muestra en la TABLA 3.

**TABLA 3** Criterios para determinar el grado de daños de muros de mamposterías después de un sismo

Grado	Estado de daño
I	Grietas pequeñas, difícilmente visibles sobre la superficie del muro. Grietas mínimas en castillos y dalas de confinamiento. Grietas con anchuras menores que 0.2mm.
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del muro, con anchuras entre 0.2 y 1mm.
III	Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas. Grietas grandes en la superficie del muro, con anchuras entre 1 y 3mm.
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas, o en muros de relleno ligado a marcos; grietas con anchuras mayores que 3mm. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas.
V	Desprendimiento de partes de piezas. Aplastamiento local de la mampostería. Prolongación del agrietamiento diagonal en castillos o en dalas (anchuras de grietas superiores a 1mm). Agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas. Deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable del muro.

Es importante tener en cuenta que el coeficiente de variación de la anchura de las grietas en estructuras de mampostería es del orden del 40 por ciento; esto significa que la anchura máxima puede ser hasta del doble de la anchura media en un solo elemento.

Con objeto de entender el comportamiento de la estructura, el diseñador debe registrar:

- Patrón de grietas (horizontal, vertical, inclinado)
- Longitud

- Anchura (uniforme o variable uniformemente)
- Profundidad (indicar si pasa a través de recubrimiento)
- Edad

La manera más sencilla para medir la anchura es mediante la comparación de la grieta con marcas de diferentes anchuras pintadas en láminas plásticas (llamado comparador de grietas o grietómetro). Las mediciones se mejoran en precisión si se usan lentes de aumento. Para mediciones más precisas aún, o bien de largo plazo, es conveniente recurrir a transductores de desplazamientos (de corriente directa, alterna) conectados a equipos electrónicos de captura de información.

Un aspecto crucial en la evaluación de una estructura de mamposterías es determinar si la grieta esta activa o pasiva. Las activas manifiestan deslizamientos y anchuras mayores; mientras que las pasivas no cambian ni en anchura ni longitud. Existen tres métodos para detectar los movimientos de las grietas:

- a) Mediciones periódicas con ayuda de las láminas plásticas. Las mediciones se hacen sobre una misma grieta y en tres o cuatro lugares seleccionados con anterioridad.
- b) Testigos de yeso. Conviene usar agua caliente para acelerar el fraguado del yeso y registrar la fecha de colocación. Es importante que el testigo no se agriete por contracción del yeso.
- c) Monitores plásticos de grietas. Se trata de dos piezas plásticas que se adhieren una en cada lado de la grieta de interés. La pieza de plástico translucido tiene marcado un par de ejes ortogonales; la de plástico opaco, que se coloca por debajo de la anterior, tiene marcada una cuadrícula graduada. El monitor se instala tal que los ejes ortogonales coincidan con el cero de la cuadrícula graduada. Las piezas se pueden desplazar relativamente sin restricción. Conforme la grieta se mueve, los ejes ortogonales marcan la magnitud de desplazamiento en sentido vertical y horizontal

## 2.5 MORTEROS AUTO-RECUPERABLES

Desde que se comenzaron a construir las edificaciones y comenzaron a tener problemas con ellas se ha visto por tratar de resolver y para un ejemplo se tiene a la antigua Roma donde se utilizaba el famoso “mortero romano”, el más claro ejemplo de material auto-reparable que ha perdurado hasta nuestros días. Dicho mortero, formado por cenizas y limos, tenía la función de pegamento entre ladrillos. El limo se disuelve en agua. Por ello, tras las lluvias este material fluía y rellenaba los huecos creados por las grietas. Al secarse el limo endurecía y reparaba la rotura. Aquel mortero no era tan resistente y fuerte como los actuales, pero el “efecto reparador” ha permitido que dichas estructuras de más de 2000 años estén todavía en pie.

El concreto auto-reparable es un gran campo de investigación hoy en día. Pero muchos de los proyectos realizados por otros investigadores no han terminado siendo viables económicamente para su producción comercial. (Pelletier, 2010)

Estamos ante un nuevo material mucho más elástico que el cemento convencional, lo realmente interesante es su capacidad recuperarse con el carbonato calcio que produce cuando está expuesto a la lluvia y al dióxido de carbono. Las armaduras estarán mejor protegidas, y los puentes (por ejemplo) ya no tendrán que llevar juntas de dilatación cada X metros. Los constructores que utilizan concreto flexible, por ejemplo, no necesitan comprar o instalar instrumentos que contrarresten la actividad sísmica. “El costo inicial de construcción de hecho se reduce (Li, 2009).

Michelle Pelletier, en University of Rhode Island, agregó silicato de sodio micro encapsulado como agente reparador directamente en una mezcla de concreto. Cuando pequeñas grietas de estrés se comienzan a formar en el concreto, las cápsulas se rompen y liberan el agente reparador en las áreas adyacentes.

El silicato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio naturalmente presente en el concreto para formar un producto de silicato-hidrato-calcio para reparar las grietas y bloquear los poros en el concreto. La reacción química crea un material con consistencia de gel que se endurece en promedio en una semana. Una ventaja adicional de la utilización del concreto auto-reparable es que podría reducir de forma importante las emisiones del CO<sup>2</sup> que resultan de la producción del concreto. Debido a que la producción del concreto requiere una gran cantidad de energía considerando su minería, transporte y plantas de concreto- la industria es responsable de cerca del 10 por ciento de todas las emisiones de CO<sup>2</sup> en los Estados Unidos. Si el concreto auto-reparable puede prolongar la vida del concreto y reducir tanto su mantenimiento como su reparación, dará como resultado la reducción del exceso en los montos de producción del concreto y por ende en una disminución en las emisiones de CO<sup>2</sup> (Pelletier, 2010).

En el Reino Unido han creado un microbio modificado genéticamente, bautizado BacillaFilla, derivado de la bacteria *Bacillus subtilis*, que ha sido ajustado para bucear en las grietas de concreto, secretando una mezcla de bacterias “cola” y carbonato de calcio. Estas secreciones permiten aglutinar las grietas en el concreto, de características tales que lo hacen tan fuerte como la masa original. Debido a que las nuevas cuentas en la producción de concreto, lo sindicaron como responsable del 5% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el descubrimiento inglés da pie para prolongar la vida útil de las estructuras existentes de este material para reducir significativamente el costo ambiental de la construcción.

La técnica más conocida y más estudiada en los últimos años para conferir a un material la capacidad de auto-reparación es la de polimerización (Pelletier, 2010) a través de sustancias micro encapsuladas. El secreto estriba en proteger el agente reparador, normalmente monómeros de una resina termoestable, en unas micro cápsulas dispersas por el material plástico. El segundo ingrediente de la receta es el agente catalizador que se encuentra asimismo en la matriz polimérica. Cuando el material sufre una micro fractura o grieta, las micro cápsulas de esa zona se rompen liberando la resina que contenía. Al entrar

en contacto con el catalizador disperso sufre un curado, sellándose la zona expuesta a la fractura.

En base a esta revisión bibliográfica se hará un mortero con base en Resina de Poliéster, realizando un Mortero Polimérico para dar sustento a poder sanar algún elemento estructural dañado.

### **2.6 MORTEROS POLIMERICOS**

La palabra polímero procede del griego y significa literalmente muchas partes .En ciencia y tecnología se considera material polimérico a aquel que contiene muchas unidades enlazadas entre sí químicamente.

Hoy en día existen diversos tipos de Morteros Reparadores (MR) y estos se han hecho necesarios día a día debido a la creciente necesidad de “Reparar” elementos estructurales dañados para abaratar el mantenimiento de diversas infraestructuras, así como para que este continúe con su funcionalidad.

En base a esto estudiado anteriormente se buscará la dosificación óptima de estos dos elementos para hacer un aditivo en forma de pasta fácil de usar.

Este proyecto de investigación pretende diseñar un mortero con Resina para lograr el mejoramiento y la recuperación de concretos sin poner en riesgo las propiedades mecánicas y su resistencia. Al mismo tiempo se harán pruebas con diferentes proporciones con la finalidad de obtener las características ya descritas con anterioridad y tratando de que sea un producto costeable para todo tipo de edificación.

De acuerdo con Mingarro (2006), cualquiera sea la aplicación de los morteros estos deberán cumplir las siguientes propiedades:

- a) Una trabajabilidad determinada; es decir, una facilidad de puesta en obra para cada caso particular. Ya que los morteros deben ser suficientemente trabajables durante un cierto periodo de tiempo, sin necesidad de tener que añadirle agua.
- b) Una capacidad de retención de agua dada.
- c) Una adherencia óptima al soporte y resistencia a la FIGURACIÓN.
- d) Una retracción mínima y, a veces, controlada; así como una absorción de agua especificada para cada caso.
- e) Resistencias mecánicas apropiadas.
- f) Una estabilidad adecuada capaz de resistir las condiciones del medio en donde se vayan a encontrar, de tal modo que mantenga su integridad estructural, su apariencia externa y que su duración persista teniendo en cuenta las condiciones de mantenimiento.

Al aparecer alguna grieta, es necesario efectuar una reparación de los elementos estructurales dañados no solo es solamente por razones estéticas también por razones de seguridad, ya que por lo regular cuando aparecen tienden ir haciéndose cada vez más grandes y eso recae en un mayor problema para los elementos estructuras en cuestión. Es por esto que se debe dar solución al problema de agrietamientos que se presenta día a día en la construcción como son:

- 1) Dar una solución a la aparición de grietas, que por su baja eficiencia generan costos muy altos de mantenimiento.
- 2) Dar una opción más a lugares sísmicos como la Cd. de México a resistir sismos, y si llegara a dañarse alguna estructura, no sería necesario una restructuración ni verificar la aparición de estas, si no reparar a bajo costo esta grieta evitando así un remplazo, haciendo que esta recupere sus propiedades iniciales.

La aplicación de agente recuperable en las edificaciones, permite reducir el gasto de rehacer el elemento estructural al reparar las grietas. Esto es especialmente para empresas

constructoras que se dedica a la edificación de viviendas, así como lugares donde se presente movimientos sísmicos. Con la tecnología que se tiene ya se ha llegado a usar diferentes métodos de recuperación, aunque estas no son del todo económicas.

Existen hoy en día diferentes metodologías para la reparación de estructuras dañadas, pero requieren de distintos factores que influyen en costo como es la mano de obra, materiales, herramienta, equipo, etc. Debido a esto este producto lo que busca es hacer eficiente la estructura y abaratar el uso de estas tecnologías.

En general, la fisura o agrietamiento puede evitarse o disminuirse si se toman medidas preventivas en el diseño y producción del concreto, así como en los procesos constructivos de los elementos en la obra. Pero si esta ya apareció es necesaria su reparación y mediante esto se busca que el mortero-recuperador sea sustentable y fácil de utilizar.

### ***2.6.1 Clasificación y caracterización de los polímeros***

La clasificación más habitual es la que se realiza según el comportamiento del polímero. Así pues, los polímeros pueden ser:

- Termoplásticos: Se ablandan y plastifican, pudiendo ser conformados varias veces por el efecto combinado de la presión y temperatura.
- Termoestables: Son materiales duros y rígidos incluso a temperaturas elevadas, aunque por encima de los 400°C se degradan.
- Elastómeros: Presentan alta deformación elástica al aplicar una fuerza sobre ellos, pudiendo recuperar total o parcialmente su forma cuando cesa la fuerza.

Aparte de las peculiaridades de cada uno, los polímeros tienen las siguientes características generales:

- Materiales ligeros
- Resistentes a la corrosión
- Insolubles en agua
- Solubles, en su mayoría, en disolventes orgánicos
- Versátiles de color
- Baja conductividad térmica (entre 100 y 1000 veces menor que en los metales)
- Baja conductividad eléctrica
- Coeficiente de dilatación muy superior al de los metales
- Alta capacidad calorífica
- Envejecimiento por acción del oxígeno y la luz solar

Su principal limitación es que sólo pueden usarse a temperaturas moderadas, por otro lado, a bajas temperaturas resultan casi siempre frágiles.

Polímeros usados en la edificación

### ***2.6.1.1 Termoplásticos***

Estos se dividen en la siguiente forma:

- *Polietileno (PE)*: Versátil y transformable por inyección, soplado, extrusión, rotomoldeo. Irrompible, resistente a las bajas temperaturas, liviano, impermeable, atóxico e inerte. Aplicaciones: tuberías de distribución, evacuación y alcantarillado, cañerías para agua potable, telefonía, drenaje y uso sanitario, paneles geomembranas, geotextiles, recubrimientos de arcilla geosintéticos para rellenos sanitarios, cables e instalaciones eléctricas, enchufes, cubiertas impermeabilizantes, cobertores de seguridad en edificios en construcción y sistemas de encofrado.
- *Polipropileno (PP)*: Rígido, de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química, baja densidad, impermeable, atóxico, irrompible y liviano. Aplicaciones: tuberías de distribución, evacuación y alcantarillado, cañerías

para agua potable, cables e instalaciones eléctricas, enchufes, membranas y rellenos sanitarios, membranas de asfalto modificado.

- *Polycarbonato (PC)*: Laminado traslúcido aislante, buena claridad óptica, excelente comportamiento ante el fuego, alta transmisión de luz, impide el 98% de los rayos UV. Respecto al vidrio, posee mayor resistencia al impacto, menor peso propio, facilidad de curvar en frío y mayor aislamiento térmico. Aplicaciones: cubiertas y acristalamientos laterales industriales, invernaderos, solarios, piscinas, cerramientos de terrazas, bóvedas y lucernarios en naves industriales, polideportivos, centros comerciales, etc. (acristalamientos de seguridad)
- *Politereftalato de Etileno (PET)* Material resistente a la radiación UV, atóxico, resistente al impacto, transparente, liviano, irrompible e impermeable. Aplicaciones: Apto para la elaboración de productos usados en decoración de interiores (alfombras, cortinas, tapicerías), geotextiles (pavimentación/caminos), etc.
- *Polibuteno (PB)*: Alta resistencia al ataque químico, estabilidad a la luz y al calor, nivel de resistencia a la inflamabilidad satisfactorio, plasticidad permanente, índice de alta viscosidad, alta hidrofobicidad, no permeabilidad a gases y vapor, buenas propiedades eléctricas, baja pérdida de evaporación a temperaturas normales y vulcanización completa bajo altas temperaturas, sin dejar residuos. Aplicaciones: tuberías para calefacción de pavimentos, tuberías de ACS, tuberías de gran diámetro y cubiertas para cables de alta tensión.
- *Policloruro de Vinilo (PVC)*: Ligero, inerte, impermeable, aislante, de alta transparencia, ignífugo, resistente a la intemperie, fácilmente transformable y reciclable. Aplicaciones: conformado de perfiles para marcos de ventanas y puertas, listones de persianas, claraboyas, placas onduladas, planchas expandidas, pozos de ventilación, membranas para impermeabilizar suelos o estructuras, canaletas, tubería en general, revestimiento de cables, sanitarios, suelos, zócalos y molduras, etc.
- *Poliestireno (PS)*: Baja conductividad térmica, resistencia a compresión y poder amortiguador elevados, sencillas trabajabilidad y manipulación, elevada resistencia química y excelente estabilidad dimensional. Aplicaciones: fabricación de materiales aislantes para techos, paredes y pisos, producción de hormigón ligero y

ladrillos celulares, bovedillas para forjados, pisos flotantes, sistemas de calefacción, cámaras frigoríficas, encofrados, aislamiento acústico, aislamiento térmico y luminarias para interiores.

- *Copolímero Acrilonitrilo - Butadieno - Estireno (ABS)*: Alta resistencia mecánica y dureza, opaco, higroscópico, resistente al choque, atacable por ácidos, altas temperaturas de autoignición a pesar de arden fácilmente. Se pueden usar en aleaciones con otros plásticos. Aplicaciones: fabricación de tuberías, juntas, carcasas de electrodomésticos, etc.
- *Polimetilmetacrilato (PMMA)*: Polímero vinílico, formado por polimerización vinílica de radicales libres a partir del monómero metil metacrilato. Plástico claro usado en sustitución del cristal por su menor peso y mayor resistencia al impacto (entre 10 y 20 veces más). Mayor transparencia que el vidrio, manteniéndola en grosores de hasta 33 cm. Resistencia a la intemperie. Aplicaciones: mamparas, piscinas, aseos, superficies de bañeras, piletas de cocina, duchas de una sola pieza, ventanas, cubiertas transparentes, lucernarios, claraboyas y planchas segmentadas dobles y triples para cubiertas de invernaderos.
- *Poliámidas (PA)*: Buena resistencia mecánica, tenacidad y resistencia al impacto elevadas. Buen comportamiento al deslizamiento y buena resistencia al desgaste. Absorben y despiden humedad de forma reversible lo cual implica una alteración de sus propiedades. Aplicaciones: herrajes, bisagras, cadenas de cierre, muebles de jardín con recubrimiento protector, tacos de pared, recubrimientos, regletas de aislamiento térmico.

### 2.6.1.2 Termoestables

Este tipo de Polímeros termoestables se divide de la siguiente forma:

- *Resinas Fenólicas (PF)*: Dureza, rigidez, resistencia a los ácidos, excelentes propiedades aislantes, se pueden usar continuamente hasta temperaturas de 150°C. Más baratas y moldeables. Escasa plastodeformación. Existen muchas

formulaciones con varios refuerzos y aditivos. Los refuerzos pueden ser aserrín de madera, aceites y fibra de vidrio. Las tuberías de fibra de vidrio con resinas fenólicas pueden operar a 150°C y presiones de 10 kg/cm<sup>2</sup>. Aplicaciones: adhesivos, material aislante, laminados para edificios y tableros, pinturas, masillas aglutinantes, espumas

- *Resinas Uréicas (UF)*: Obtenidas por policondensación de la urea con el formaldehído. Características similares a las resinas fenólicas aunque poseen menor resistencia a la humedad y menor estabilidad dimensional. Pueden colorearse y tienen una resistencia muy elevada a las corrientes de fuga superficiales. Aplicaciones: Paneles aislantes, adhesivos...
- *Resinas de Melamina (MF)*: Formadas por policondensación de la fenilamina y del formol. Color rojizo o castaño, alto punto de reblandecimiento, escasa fluidez, insolubles a los disolventes comunes, resistencia a los álcalis, poco factor de pérdidas a alta frecuencia, excelentes resistencia al aislamiento y rigidez dieléctrica. Aplicaciones: material para equipos de radiofonía, componentes de televisores, laminados y tableros, etc.
- *Resinas de Poliéster (UP)*: Hechas a partir de anhídridos maleico y ftálico con propilenglicol y uniones cruzadas con estireno. El uso de estas resinas con refuerzo de fibra de vidrio ha reemplazado a materiales muy diversos como pueden ser: termoplásticos de alta resistencia, madera, acero al carbón, vidrio y acrílico, lámina, cemento, yeso, etc. La industria de la construcción ocupa el 30% de estas resinas. Aplicaciones: claraboyas, planchas onduladas y perfiladas, planchas de invernadero, perfiles de balcón, planchas de fachada, piscinas, tejados, revestimientos, tuberías de gran diámetro, molduras, cubiertas y muros, másticos, masillas, restauración de elementos, vigas...
- *Resinas Epoxídicas*: Se hacen a partir del bisfenol A y la epiclorhidrina. Alta resistencia a temperaturas de hasta 500°C, elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a los productos químicos. Aplicaciones: adhesivos, pinturas de protección superficial y recubrimientos, pegado de piezas de hormigón, revestimientos muy sólidos, reparación de piezas de madera...

### 2.6.1.3 Elastómeros

Los Elastómeros se dividen de la siguiente manera:

- *Poliisopreno (PIP o NR)*: Es el caucho natural. Se puede sacar de la naturaleza (árbol *Hevea brasiliensis*), pero además se puede sintetizar en el laboratorio aunque no es tan elástico como el natural. Aplicaciones: suelos antideslizantes, juntas de dilatación y estanqueidad, pavimentos especiales, pinturas...
- *Polibutadieno (BR)*: Gran elasticidad y resistencia a la oxidación. Adecuado para aplicaciones que requieren exposición a bajas temperaturas.
- *Poliisobutileno*: Polímero vinílico, de estructura muy similar al polietileno y al polipropileno. Impermeable a los gases. Aplicaciones: depósitos de gas.
- *Poliuretano (PU)*: Puede ser flexible o rígido. El flexible se obtiene cuando el diisocianato se hace reaccionar con diglicol, triglicol, poliglicol, o una mezcla de éstos. El rígido se consigue utilizando trioles obtenidos a partir del glicerol y el óxido de propileno, el cual le confiere mayor resistencia a la humedad. Duros, resistentes a la abrasión, a los aceites y a la oxidación, aislante, alta resistencia en relación al peso y resistente al fuego. Aplicaciones: Pinturas, aislamiento térmico y acústico, sellado de grietas, barnices, sellado de puertas, ventanas y saneamientos, elemento decorativo, impermeabilización, vigas, etc.
- *Policloropreno (CR)*: Caucho diénico en el que un átomo de cloro sustituye al hidrógeno del butadieno. Se conoce habitualmente como neopreno. Autoextinguibles, gran resistencia al fuego, a los disolventes, al envejecimiento y al calor. Aplicaciones: aislantes, mangueras, montajes de máquinas, ropa protectora, juntas de estanqueidad, aparatos de apoyo, adhesivos, protección de cables de baja tensión, etc.
- *Poli (estireno-butadieno-estireno) (SBR)*: Es el más barato por lo que es el que en mayores cantidades se produce. Gran resistencia a la abrasión y a los disolventes. Se trata de un copolímero aleatorio de estireno y butadieno. Se usan mayores proporciones de estireno en grados especiales de 'refuerzo' para mezclas que mejoran la tenacidad y la resistencia a la abrasión. Aplicaciones: armadura para membranas asfálticas.

- *Caucho Nitrílico (NBR)*: El hidrógeno del butadieno se sustituye por un grupo nitrilo (CN), para dar el acrilonitrilo, el cual se copolimeriza luego con el butadieno. Es el que más resiste a los aceites de todos los productos de caucho comercializados. Hay diferentes grados del caucho nitrílico según el contenido de nitrilo. Aplicaciones: técnicas y sistemas de aislamiento, protección de tuberías, depósitos, instalaciones de refrigeración, frío industrial y climatización, juntas de estanqueidad...
- *Caucho Butilico (IIR)*: Tiene propiedades opuestas a las del butadiénico. Posee muy alta histéresis y muy baja resiliencia, aunque similar a la del caucho natural a 100 C. Aplicaciones: geomembranas.
- *Caucho de Etileno-Propileno (EPM, EPDM, EPD)*: Los cauchos etilenpropilénicos son copolímeros del etileno y el propileno. Contienen un 60 a 80% de etileno y la función principal del propileno es evitar la cristalización del etileno. Buena resistencia a la intemperie, excelente resistencia a la oxidación, el calor y el ataque químico. Aunque son muy costosos su consumo está creciendo. Aplicaciones: impermeabilización cubiertas, insonorización, juntas de estanqueidad.

### **3 MATERIALES Y METODO PARA LA ELABORACIÓN**

En este capítulo se muestra la metodología empleada para llevar a cabo esta investigación, dónde se busca una mezcla óptima, que cumpla con las características y sea realmente una solución al problema con el que se enfrenta la industria de la construcción como son las grietas.

#### **3.1 MATERIALES**

Para poder llevar a cabo la selección de los materiales para obtener la mezcla optima los que se utilizaran para esta investigación son los siguientes:

1. Resina
2. Calcita
3. Cal
4. Cemento Portland
5. Yeso
6. Arcilla

##### ***3.1.1 Resina.***

La Resina de poliéster (UP) son hechas a partir de anhídridos maleico y ftálico con propilenglicol y uniones cruzadas con estireno. El uso de estas resinas con refuerzo de fibra de vidrio ha remplazado a materiales muy diversos como pueden ser: termoplásticos de alta resistencia, madera, acero al carbón, vidrio y acrílico, lámina, cemento, yeso, etc. La industria de la construcción ocupa el 30% de estas resinas. Alguna aplicación como la restauración de elementos, como las vigas.

La resina que se utilizó tiene este nombre 1834-PCS-12 (Véase FIGURA 3) de ACC/MEXICANA de RESINAS S.A. de C. V. es una resina poliéster ortoftálica modificada, preacelerada y de reactividad alta. Esta resina se diseñó para la fabricación de piezas de plástico reforzado con la fibra de vidrio de aplicación en las industrias Automotriz, Marina, Mármol Sintético de la construcción etcétera.



**FIGURA 3** Resina Utilizada para la elaboración del Mortero-Reparador-

Este producto para gelar y curar a temperatura ambiente requiere de la adición de un catalizador de peróxido de metil etil cetona (35 gotas por cada 100 gr).

Esta resina cuenta con las siguientes características: (Mexicana de Resinas S. A de C.V., 2012)

- Porcentaje de sólidos que garantizan las propiedades del producto final.
- Viscosidad adecuada para humectar rápidamente la fibra de vidrio.
- Facilidad de expulsión de aire atrapado durante la operación de rolado.
- Resina preacelerada.
- Rápido desarrollo de Dureza Barcol.

Al usarla se cuenta con los siguientes beneficios (Mexicana de Resinas S. A de C.V., 2012):

- Curado rápido lo que ocasiona alta productividad por molde.
- Alta dureza.
- Buena resistencia.
- Buen acabado superficial.

El material que se ha utilizado es una Resina de Poliéster conocida como A834-PCS-12. Esta resina originalmente es utilizada para la fabricación de plástico reforzado utilizando un proceso de Aspersión o moldeo manual. Las propiedades con las que cuenta esta resina se muestran en la TABLA 4:

**TABLA 4** Propiedades de la Resina Liquida (Mexicana de Resinas S. A de C.V., 2012)

Propiedades de Resina Liquida		
Especificación	Valor	Método de Prueba
Viscosidad @25°C, Brookfield LVF, aguja #3 a 6 r.p.m. (cps)	230	GET-03-009
Densidad @25°C (gr/ml)	1.11	GET-03-034
Color	Ambar-Rosa	GET-03-028
Sólidos (%)	67	GET-03-038

Las propiedades del curado para la resina que se utilizara son las siguientes (Vease TABLA 5):

**TABLA 5** Propiedades de Curado de la Resina de Poliéster (Mexicana de Resinas S. A de C.V., 2012)

Propiedades de Curado			
Especificación	Verano	Invierno	Método de Prueba
Tiempo de gel @25°C (min) 100 gr de Resina + 1.0% de catalizador NOROX925	12°	9°	GET-03-017
Tiempo de Curado (min, Seg)	21°	18°	GET-03-017
Temperatura de Exotérmica (°C)	182.5	182.5	GET-03-017

Nota: Las características de gel pueden variar de lote a lote debido a la concentración del catalizador, inhibidor y promotores empleados o por un exceso de humedad en el ambiente.

Los pigmentos y las cargas pueden acelerar o retardar el tiempo de gel.

Es recomendable que antes de usar la resina, el fabricante haga pruebas con una pequeña porción de la resina para revisar las características de gel; esto de acuerdo a sus condiciones de operación.

### 3.1.2 Cal

La cal es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio de magnesio (CaMgO<sub>2</sub>), denominados también, cal viva (o generalmente cal) y dolomía calcinada respectivamente. Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas (calizas o dolomías). Adicionalmente, existe la posibilidad de añadir agua a la cal viva y a la dolomía calcinada obteniendo productos hidratados denominados comúnmente cal apagada ó hidróxido de calcio (Ca (OH)<sub>2</sub>) y dolomía hidratada (CaMg (OH)<sub>4</sub>).

La cal se ha usado, desde la más remota antigüedad, de conglomerante en la construcción; también para pintar (encalar) muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial (habitual en las antiguas viviendas mediterráneas) o en la fabricación de fuego griego.

### 3.1.3 Calcita

La calcita es un mineral de la clase 05 de la clasificación de Strunz, los llamados minerales carbonatos y nitratos. A veces se usa como sinónimo caliza, aunque es incorrecto pues ésta es una roca más que un mineral. Su nombre viene del latín calx, que significa cal viva. Es el mineral más estable que existe de carbonato de calcio, frente a los otros dos polimorfos con la misma fórmula química aunque distinta estructura cristalina: el aragonito y la vaterita, más inestables y solubles.

La calcita es muy común y tiene una amplia distribución por todo el planeta, se calcula que aproximadamente el 4% en peso de la corteza terrestre es de calcita.

Presenta una variedad enorme de formas y colores. Se caracteriza por su relativamente baja dureza (3 en la escala de Mohs) y por su elevada reactividad incluso con ácidos débiles, tales como el vinagre, además de la mencionada prominente división en muchas variedades -se han descrito cientos- según las impurezas de iones metálicos que puede llevar.

La mejor propiedad para identificar a la calcita es el test del ácido, pues este mineral siempre produce efervescencia con los ácidos. Puede emplearse como criterio para conocer si el cemento de rocas areniscas y conglomerados es de calcita. El motivo de ello es la siguiente reacción:



Donde el dióxido de carbono produce burbujas al escapar en forma de gas. Cualquier ácido puede producir este resultado, pero es recomendable usar el ácido clorhídrico diluido o el vinagre para este test. Otros carbonatos muy parecidos, como la dolomita, no producen esta reacción tan fácilmente.

### ***3.1.4 Cemento Portland.***

El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto. Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

Fue inventado en 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin. El nombre se debe a la semejanza en aspecto con las rocas que se encuentran en la isla de Pórtland, en el condado de Dorset. A diferencia de lo que muchos creen, su origen no está relacionado con Portland, Oregón, EE. UU..

Los cementos Portland especiales son los que se obtienen de la mismo modo que el cemento portland normal, pero tienen características diferentes a causa de variaciones en el porcentaje de los componentes que lo conforman.

#### ***3.1.4.1 Tipos de cementos Portland***

En la actualidad existen diferentes tipos de Cementos Portland, a continuación se muestran algunos:

Cemento Portland Normal (CPN), o común, sin aditivos, es el más empleado en construcción.

Cemento Portland Blanco (PB), compuesto por materias primas pobres en hierro, que le dan ese color blanquecino grisáceo. Se emplea para estucos, terrazos, etc.

Cemento Portland de bajo Calor de Hidratación (CBC), produce durante el fraguado una baja temperatura de hidratación; se obtiene mediante la alteración de los componentes químicos del cemento Portland común.

Cemento Portland de elevada Resistencia Inicial (CER), posee un mayor contenido de silicato tricálcico que le permite un fraguado más rápido y mayor resistencia. Se emplea en muros de contención y obras hidráulicas.

Cemento Portland resistente a los Sulfatos (CPS), tiene bajo contenido en aluminato tricálcico, que le permite una mayor resistencia a la acción de sulfatos contenidos en el agua o en el terreno.

Cemento Portland con aire ocluido, tiene un aditivo especial que produce un efecto aireante en el material.

### ***3.1.4.2 Cualidades del cemento***

Resistencia: la resistencia a la comprensión, es afectada fuertemente por la relación agua/cemento y la edad o la magnitud de la hidratación. -Durabilidad y flexibilidad: ya que es un material que no sufre deformación alguna. -El cemento es hidráulico porque al mezclarse con agua, reacciona químicamente hasta endurecer. El cemento es capaz de endurecer en condiciones secas y húmedas e incluso, bajo el agua. -El cemento es notablemente moldeable: al entrar en contacto con el agua y los agregados, como la arena y la grava, el cemento es capaz de asumir cualquier forma tridimensional. -El cemento (y el

concreto hecho con él) es tan durable como la piedra. A pesar de las condiciones climáticas, el cemento conserva la forma y el volumen, y su durabilidad se incrementa con el paso del tiempo. -El cemento es un adhesivo tan efectivo que una vez que fragua, es casi imposible romper su enlace con los materiales tales como el ladrillo, el acero, la grava y la roca. -Los edificios hechos con productos de cemento son más impermeables cuando la proporción de cemento es mayor a la de los materiales agregados. -El cemento ofrece un excelente aislante contra los ruidos cuando se calculan correctamente los espesores de pisos, paredes y techos de concreto.

### **3.1.5 Yeso.**

La roca natural denominada aljez (sulfato de calcio dihidrato:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mediante deshidratación, al que puede añadirse en fábrica determinadas adiciones de otras sustancias químicas para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado directamente.

También, se emplea para la elaboración de materiales prefabricados. El yeso, como producto industrial, es sulfato de calcio hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), también llamado vulgarmente "yeso cocido". Se comercializa molido, en forma de polvo. Una variedad de yeso, denominada alabastro, se utiliza profusamente, por su facilidad de tallado, para elaborar pequeñas vasijas, estatuillas y otros utensilios.

#### **3.1.5.1 Tipos de yeso en construcción**

Los yesos de construcción se pueden clasificar en: Yesos artesanales, tradicionales o multi-fases.

- El yeso negro es el producto que contiene más impurezas, de grano grueso, color gris, y con el que se da una primera capa de enlucido.

- El yeso blanco con pocas impurezas, de grano fino, color blanco, que se usa principalmente para el enlucido más exterior, de acabado.
- El yeso rojo, muy apreciado en restauración, que presenta ese color rojizo debido a las impurezas de otros minerales.

Yeso de construcción (bifase):

- **Grueso**, Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

Uso: para pasta de agarre en la ejecución de tabicados en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar en obra.

- **Fino**, Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

Uso: para enlucidos, refilos o blanqueos sobre revestimientos interiores (guarnecidos o enfoscados)

### ***3.1.6 Arcilla.***

Desde un punto de vista utilitario las arcillas han sido los materiales preferidos por el hombre para la manufactura de utensilios que sirven en la cocción y el consumo de sus alimentos, de vasijas de barro para almacenar y añejar el vino, de piezas finas de porcelana, así como pisos de mosaico y embaldosados.

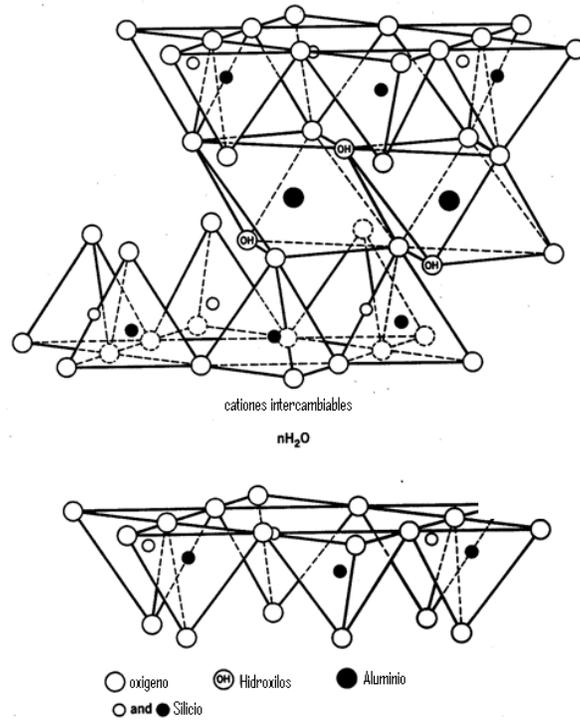
La época moderna ha incorporado a las arcillas en numerosos productos de uso cotidiano a través de las nuevas tecnologías de modo que, aunque no lo percibamos, las arcillas forman parte importante de nuestras vidas. Un ejemplo son los nuevos materiales poliméricos que incluyen en su composición las arcillas minerales con el fin de lograr superficies suaves al tacto y propiedades mecánicas mejoradas, como en los juguetes, en las partes de automóvil y en otros componentes que son, además, resistentes a la flama y al desgaste. Algunos productos de alta tecnología incorporan a las arcillas en alta proporción,

como los convertidores catalíticos que se utilizan en el control de emisiones contaminantes de los vehículos de motor, o bien en el papel incombustible con que se provee a los astronautas desde el accidente del Challengero en las revistas de alta calidad.

El diccionario nos dice lo siguiente: Las arcillas son las rocas blandas que se hacen plásticas al contacto con el agua, siendo frágiles en seco, y con gran capacidad de absorción.

La Enciclopedia técnica dice: Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados [1 micra es la diezmilésima parte de un centímetro! o sea la dimensión aproximada de los microbios comunes].

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminios hidratados, procedentes 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 que dura decenas de miles de años. (Véase FIGURA 4)



**FIGURA 4** Estructura química general de las arcillas.  
<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Estructura2sm.bmp>

### 3.6.1.1 Características de las Arcillas en la Construcción.

Esta se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos.

### 3.2 MÉTODO DE ELABORACIÓN.

Para la realización de este Mortero-Reparador se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Dosificación del Mortero-Reparador
2. Caracterización
3. Prueba de Compresión
4. Difracción de Rayos X
5. Prueba de Adherencia

#### 3.2.1 *Combinación y Dosificación del Mortero-Reparador*

Dentro de la investigación se tiene que hacer una selección del material a combinar con la **Resina** teniendo como objetivo principal de este nuevo material (Mortero-Reparador) tener una buena manejabilidad, consistencia y fácil tipo de uso. Los materiales que se utilizan para la combinación serán Cemento Portland, Cal, Yeso, Calcita y Arcilla.

En esta etapa se toma la decisión de que material y en qué porcentaje se utilizara para los fines buscados dentro de esta investigación. Cada dosificación que se haga servirá con dos objetivos el primero será realizar una probeta y la segunda será utilizada para rellenar grietas (estas serán buscadas fuera del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro), esto con el fin de saber ciertas propiedades, como son la adherencia; tiempo de fraguado, resistencia al intemperismo, forma de aplicación, etcétera.

Cuando se opta trabajar con Calcita, se toma la decisión de realizar diferentes dosificaciones con agua, esto debido a que es necesario conocer su reacción y comportamiento directo con este vital líquido.

Se Comenzó a realizando las siguientes combinaciones (Véase TABLA 6):

**TABLA 6** Combinación y Dosificación de Agua con Calcita

<b>Agua (gr)</b>	<b>Calcita (gr)</b>
20	80
30	70
80	20
90	10

Ahora prosigue conocer el comportamiento de la Resina y se comienzan por realizar las siguientes combinaciones como se muestra en la TABLA 7 siguiente:

**TABLA 7** Dosificaciones de Resina de Poliéster con Cal

<b>Cal (%)</b>	<b>Resina (%)</b>
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50
60	40
70	30
80	20
90	10

Para hacer la selección del material se comienza a realizar diferentes tipos combinaciones, donde la resina queda como única constante. Y de acuerdo a sus características obtenidas de estas combinaciones se decide trabajar con la Dosificación (se

busca realizarlo de esta manera para que sea lo más económico posible) 30% Resina y 70 % Carga; donde se hicieron las siguientes combinaciones:

1. 30% Resina con 70% Cal
2. 30% Resina con 70% Calcita
3. 30% Resina con 70% Cemento Portland
4. 30% Resina con 70% Yeso
5. 30% Resina con 70% Arcilla (Húmeda)
6. 30% Resina con 70% Arcilla (Seca)

Después de realizar estas combinaciones se prosigue a seleccionar un solo material para realizar las pruebas correspondientes. Donde el material seleccionado para realizar las pruebas de acuerdo a sus propiedades De acuerdo con Mingarro (2006), una buena trabajabilidad, una adherencia óptima, una retracción mínima, resistencia mecánica apropiada, y una estabilidad adecuada capaz de resistir las condiciones del medio en donde se vayan a encontrar así como el tiempo de fraguado.

### ***3.2.2 Caracterización***

1. 30% Resina con 70% Cal (véase FIGURA 5)



**FIGURA 5** Mortero Realizado con Resina y Cal

Las características que contiene esta dosificación son las que se muestran en la TABLA 8.

**TABLA 8** Características de la combinación 30% Resina con 70 % Cal

Trabajabilidad	Buena
Adherencia	Buena
Fraguado (tiempo)	Rápido (45 min aprox)
Resistencia al Intemperismo	Normal
Observaciones	Tiene buenas propiedades, donde es una buena propuesta para este mortero-reparador

2. 30% Resina con 70% Calcita (Vease FIGURA 6)



**FIGURA 6** Mortero Realizado con Resina y Calcita

Las características que contiene esta dosificación son las que se muestran en la TABLA 9:

**TABLA 9** Características de la combinación 30% Resina con 70 % Calcita

Trabajabilidad	Buena
Adherencia	Buena
Fraguado (tiempo)	Rápido (25 - 30 min aprox)
Resistencia al Intemperismo	Buena
Observaciones	Esta combinación es la que se utilizara para la realización del mortero-reparador.

3. 30% Resina con 70% Cemento Portland (Véase FIGURA 7)



**FIGURA 7** Realizado con Resina y Cemento

A continuación se muestra la TABLA 10 mostrando las características de esta dosificación

**TABLA 10** Características de la combinación 30% Resina con 70 % Cemento Portland

Trabajabilidad	Buena
Adherencia	Buena
Fraguado (tiempo)	60 minutos
Resistencia al Intemperismo	Regular
Observaciones	Para ser un mortero, no cumpliría por el tiempo que tarda en fraguado.

4. 30% Resina con 70% Yeso (Véase FIGURA 8)



**FIGURA 8** Realizado con Resina y Yeso

Las características que contiene esta dosificación son las que se muestran en la TABLA 11.

**TABLA 11** Características de la combinación 30% Resina con 70 % Yeso

Trabajabilidad	Normal
Adherencia	Buena*
Fraguado (tiempo)	Rápido (5 horas)
Resistencia al Intemperismo	Mala
Observaciones	No es apto por la poca resistencia al intemperismo  *Al momento de colocarse es buena pero, con el tiempo se desprende

5. 30% Resina con 70% Arcilla (Húmeda) (Véase FIGURA 9)



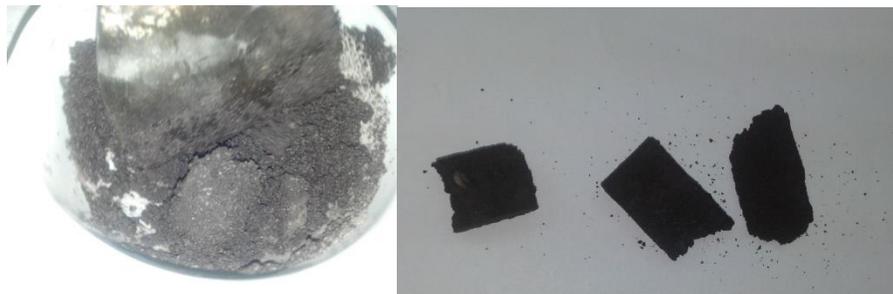
**FIGURA 9** Mortero Realizado con Resina y Arcilla Húmeda

A continuación se muestra la TABLA 12 mostrando las características de esta dosificación.

**TABLA 12** Características de la combinación 30% Resina con 70 % Arcilla (húmeda)

Trabajabilidad	Buena
Adherencia	Buena
Fraguado (tiempo)	Malo (tarda alrededor de 10 horas)
Resistencia al Intemperismo	Regular
Observaciones	Cuando comienza a reaccionar la resina con la arcilla, expulsa los excesos de agua. Tiene una resistencia muy buena, y una adherencia muy buena, aunque con el intemperismo no adquiere la adherencia al material, se debe dar más investigación a este tipo de combinación.

6. 30% Resina con 70% Arcilla (Seca), (véase FIGURA 10) la cual fue difícil mezclar, y al finalizado del secado de esta dosificación se disgrega fácilmente.



**FIGURA 10** Dosificación de Arcilla seca con Resina de Poliester.

Las siguientes características que se muestran en la TABLA 13 muestran las propiedades de esta combinación.

**TABLA 13** Características de la combinación 30% Resina con 70 % Arcilla (Seca)

Trabajabilidad	No tiene
Adherencia	No
Fraguado (tiempo)	Malo
Resistencia al Intemperismo	No se pudo colocar
Observaciones	No es buena esta combinación. No tiene las características que se requieren. Y a pesar que se integra y seca se disgrega con mucha facilidad

En base a las propiedades requeridas, se decide optar por utilizar la combinación 30% Resina y 70% Calcita, teniendo con esto las propiedades deseadas.

### ***3.2.3 Prueba de Compresión***

Esta prueba es llevada en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, y ahí contamos con el siguiente equipo

Máquina universal con capacidad de 150 ton(Véase FIGURA 11):



**FIGURA 11** Maquina Universal, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

### ***3.3.4 Difracción de Rayos X***

La aplicación fundamental de la difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición de las fases cristalinas de una muestra. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de anchura comparable a la longitud de onda de la radiación.

Resulta de utilidad en análisis de fases en cementos, suelos, aceros, y en general en compuestos orgánicos e inorgánicos.

Con el fin de identificar las posibles fases cristalinas presentes en la muestra del Mortero-Reparador se llevó a cabo el análisis mediante Difracción de rayos – X (DRX) por el método de polvos en el Difractómetro de Rayos X Bruker D8 Advance, en el Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro (Véase FIGURA 12).



**FIGURA 12** Difractómetro de Rayos X Bruker D8 Advance, ubicado en Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro

Para poder llevar a cabo esta prueba se requieren que sean demolidas y trituradas las pruebas, pasando por la malla No. 250. (Véase FIGURA 13)



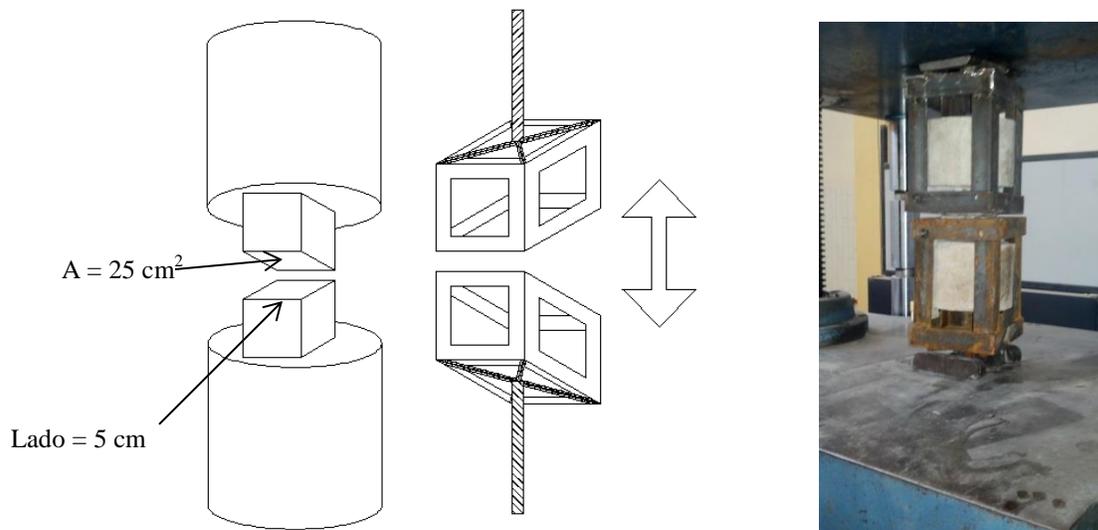
**FIGURA 13** Muestra disgregada para prueba de Difracción de Rayos X

De aquí se obtiene el un difractograma que será el que nos determinara el contenido de cada elemento mineralógico que se encuentre dentro del Mortero-Reparador.

### 3.2.5 Prueba de Adherencia

Esta prueba se llevó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, y se utilizó con la máquina Universal la cual hará una prueba del siguiente equipo. (Véase FIGURA 11)

Se moldearon probetas con un área cuadrada de  $25\text{cm}^2$  con 5 cm por lado, para realizar sobre prueba en cilindros pre-fabricados (Véase FIGURA 14), donde estas serán colocadas se realizó en un armazón y se colocó la probeta; donde estas trabajaran a tensión aplicando una carga al área junteada con el Mortero-Reparador, para poder determinar así su Adherencia.



**FIGURA 114** Cilindros Cortados de 5 cm por lado y Dispositivo (Imagen Izquierda), y el Dispositivo Armado (Imagen Derecha)

El esfuerzo de adherencia se calcula por medio de la formula siguiente:

$$A = P/S, \text{ donde; } \quad \text{Ecuación (1)}$$

A= Esfuerzo de adherencia, en  $\text{kgf/cm}^2$

P= Carga máxima que logra despegar los elementos, en Kg

S= Suma de las dos superficies adheridas al ladrillo central sin tomar en cuenta las áreas de los huecos o perforaciones, en  $\text{cm}^2$ .

#### 4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

De la carga aplicada se obtiene la resistencia a la compresión que soporto cada una de las probetas (6 probetas por cada muestra), como se observan en la siguiente TABLA los siguientes datos (Véase TABLA 14):

**TABLA 14** Resultados de las Probetas - Resistencia a la compresión

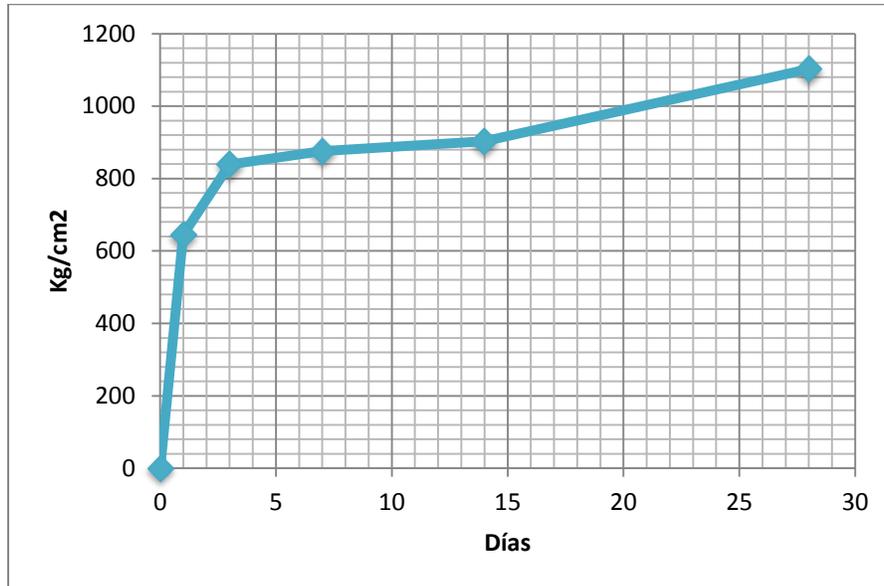
Probeta	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )				
	1 día (Edad)	3 días (Edad)	7 días (Edad)	14 días (Edad)	28 días (Edad)
A	656.20	831.97	867.79	899.71	1081.11
B	645.04	841.11	878.94	909.72	1091.26
C	658.77	846.20	888.74	923.96	1107.14
D	628.31	819.72	865.75	902.73	1132.48
E	652.83	863.86	884.02	889.93	1111.32
F	629.36	830.13	866.96	890.90	1090.07

De esta TABLA obtenemos el promedio de cada serie de ensayos por día realizados (véase TABLA 15):

**TABLA 15** Resistencia a la compresión (Promedio)

Días (Edad)	Resistencia a la compres (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	645.08
3	838.83
7	875.37
14	902.83
28	1102.23

Después de realizadas y ensayadas las probetas a compresión a continuación se muestran los resultados obtenidos en la Grafica siguiente (Véase FIGURA 15), para el Mortero-Reparador con la dosificación óptima:



**FIGURA 15** Resultados del ensaye de Probetas a 1, 3, 7, 14, 28 días

Cómo se puede observar en la gráfica tiene una resistencia de  $645.08 \text{ kg/cm}^2$  a un día de edad cuando aparece su primera grieta.

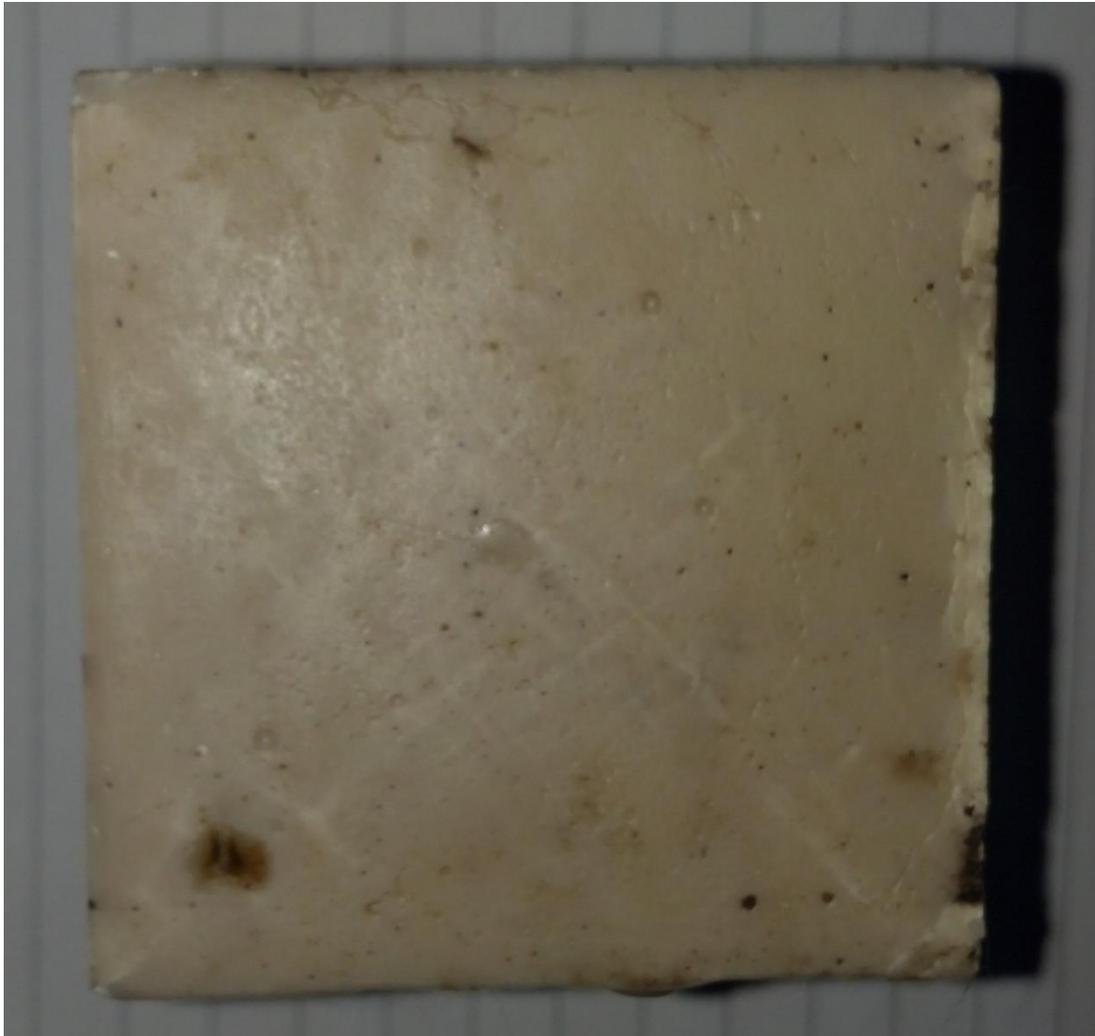
En la FIGURA 16 se muestra que este material puede llegar a tener una diferencia de altura de 6 mm aproximadamente (cada probeta es de  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ ) sin llegar a fracturarse por completo, este resultado no es la carga constante que se muestra en la gráfica ya que después de que apareció su primera grieta se le continuo aplicando carga y esta tiende a tener una resistencia residual del 10% más al primer agrietamiento hasta llegar a tener esta deformación.



**FIGURA 16** Deformación de 6 mm la probeta después de ser ensayada a compresión, esta originalmente tenía 50.00 mm

Al tercer día, su resistencia promedio es de  $838.83 \text{ kg/cm}^2$  y la falla aparece cuando aparece la primera grieta, hay que hacer mención que aquí el agrietamiento es parecido a la piel de cocodrilo pero interna y está ya no alcanzan una deformación tan notoria como al primer día. En el séptimo día tiene un resistencia de  $875.37 \text{ kg/cm}^2$  promedio. El día catorce de edad su resistencia resiste una carga  $902.83 \text{ kg/cm}^2$ . Al día veintiocho su resistencia promedio es  $1102.23 \text{ kg/cm}^2$ .

Para los días 3, 7, 14 y 28 la resistencia que muestra es a la aparición de la primera grieta, a resistir el orden del 10% extra de carga para fracturarse por completo, como se muestra en la FIGURA 17.

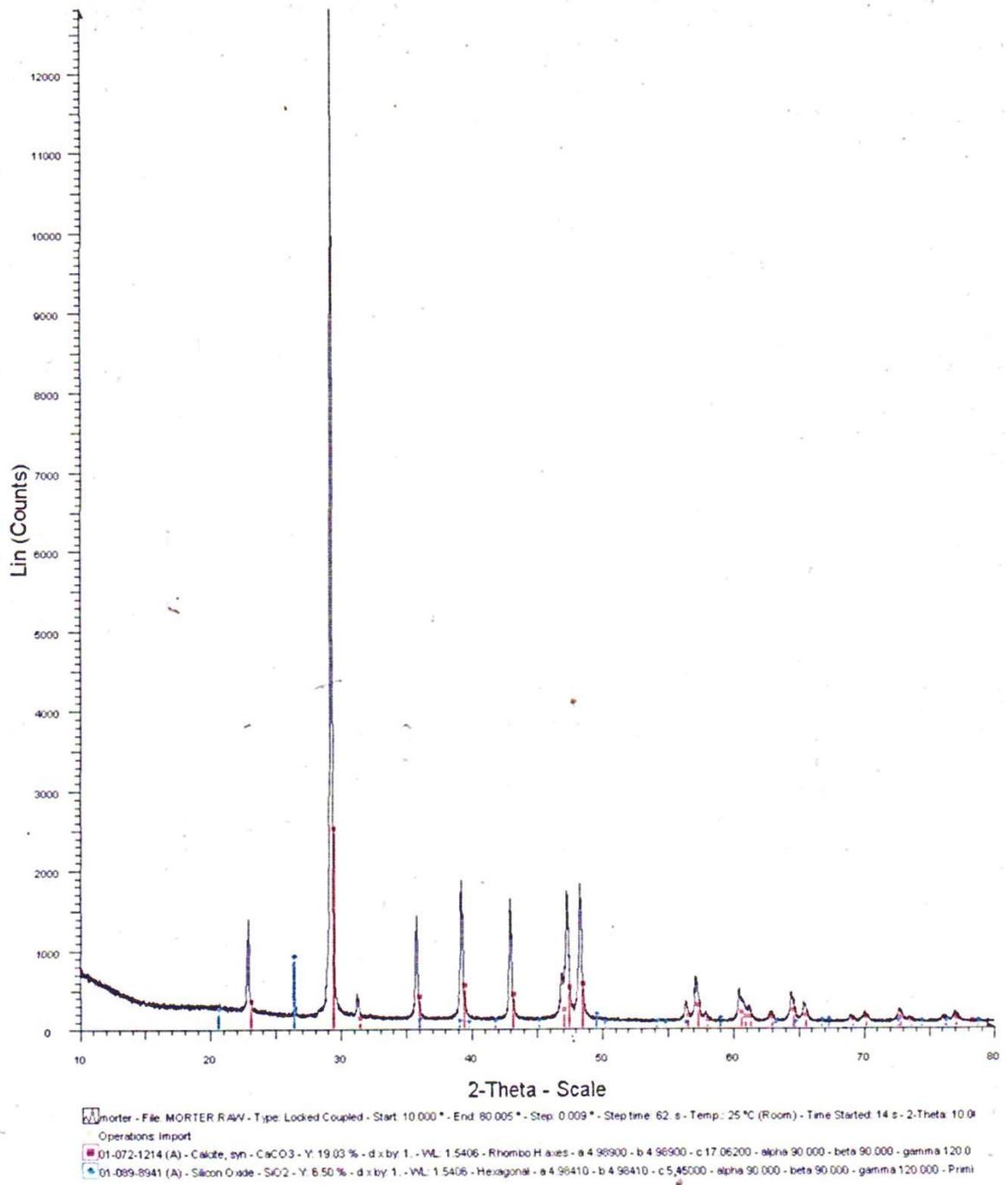


**FIGURA 17** Agrietamiento interno formado a los días 28.

La norma ASTM C-109 señala que el rango de carga, máxima permisible para cubos del mismo mortero y de la misma “edad” variara en 8.7% del promedio de tres cubos, y 7.6% para dos cubos.

#### **4.1 RESULTADO DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

En la FIGURA 18 se muestra el resultado de la difracción de Rayos X.



**FIGURA 18** Resultado de la prueba de Difracción de Rayos X al Mortero-Reparador

De aquí se observa que no cambia su composición química interna, sigue permaneciendo el 70% de calcita.

#### 4.2 ANALISIS COSTO - BENEFICIO

A continuación se hará el análisis para la elaboración de un kilogramo del Mortero-Reparador (Costos Diciembre del 201) en la TABLA 16:

**TABLA 16** Costos de cada insumo para la elaboración de nuestro Mortero-Reparador  
(Costos Marzo 2013)

Insumo	Se vende	Costo
Calcita	1 Kg.	5.50
Resina	1 Kg.	59.00

Para nuestra dosificación por un kilogramo de mortero da un Rendimiento de 50 cm<sup>2</sup> en grietas y el costo se ve en la TABLA 17:

**TABLA 17** Costo por kilogramo de Mortero-Reparador

Insumo	Dosificación	Costo
Resina	300 gr.	17.10
Calcita	700 gr.	3.85
		20.95

El costo del mortero-reparador para la dosificación indicada es de \$ 20.95 pesos, precios obtenidos en el mercado. Es barato el método para las propiedades que tiene y la resistencia a la compresión que da, es fácil de conseguir al igual que su venta.

### 4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA

El dispositivo se obtiene de la carga que resistió cada ensaye de 300 kg. en un área de 25 cm<sup>2</sup>.

Al aplicar la Ecuación 1 obtenemos lo siguiente:

$$A = \frac{P}{S} = \frac{300 \text{ Kg}}{25 \text{ cm}^2} = 12 \text{ kg /cm}^2$$

$$P = 300 \text{ kg}$$

$$S = 25 \text{ cm}^2$$

En la FIGURA 19 se muestra un ensaye, donde se observa que el Mortero-Reparador funge como una buena opción de Remediación debido a que logra adherir completamente las áreas junteadas. Haciendo fallar el espécimen.



**FIGURA 19** Espécimen fallado en la prueba de Adherencia.

## 5 CONCLUSIONES

- Se tiene un material con un fraguado final de 45 minutos, con una resistencia a la compresión de 645.08 kg/cm<sup>2</sup> para su primer día la cuál es muy aceptable. Y su resistencia que se obtuvo a 28 días fue de 1102.23 kg/cm<sup>2</sup>.
- Este Mortero puede fungir como un método de Remediación para construcciones dañadas.
- El mortero reparador actúa como sellador de grietas gracias a su manejabilidad que ayuda a la estabilización de las mismas.
- Es un material que sirve de impermeabilizante.
- Se puede usar además para crear materiales con una necesidad importante de resistencia como los aisladores eléctricos, y/o resinas para cubiertas.

### Trabajos por realizar

- Controlar la creación de burbujas dentro del mortero.
- Realizar diferentes tipos de pruebas para continuar identificando más propiedades de este Mortero-Reparador.

## REFERENCIAS

- AA.VV. (2007). *TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION NIVEL BASICO (VOL. II): CONGLOMERANTES, MORTEROS Y HORMIGONES*. Madrid.
- *American Concrete Institute, Control of cracking in concrete structures, ACI 224R, Farmington Hills, MI.*
- *ASTM C1328- 05, A. C. (2006). Standard Specification for Plastic (Stucco) Cement. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS , USA: STAFF.*
- *Alejandro, S. ((2003)). HISTORIA, CARACTERIZACION Y RESTAURACION DE MORTEROS . Sevilla, España: Textos de Doctorado.*
- *ASTM. (2006). Standard Specification for Extended Life Mortar for Unit Masonry. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS , USA: STAFF.*
- *BLACHERE, G. ((2002)). Construccion I. En G. BLACHERE, Construccion I. Montevideo, Uruguay.*
- *Carmen Galán Marín ((2001), Caracterización de un Mortero Polimérico con resida de poliéster insaturado y árido de albero para su aplicación en construcción. Sevilla, España.*
- *Ccaanz Information Bulletin: IB 73, Cement & Concrete Association of New Zealand.*
- *Construcción, F. L. (2009). Tecnología de la construcción.Nivel básico.Conglomerantes, morteros y hormigones. Madrid, España.: Tornapunta Ediciones, S.L.U.*
- *Cement and Concrete Association of Australia., Drying Shrinkage of Cement and Concrete, Concrete Data, July 2002.*
- *Fundación ICA A.C., Edificaciones de mampostería para vivienda, Tercera edición, México D.F, 2002.*
- *Grant T. Halvorson, Troubleshooting Concrete Cracking During Construction, Concrete Construction, Octubre 1993*
- *Guide for Concrete Floor and Slab Construction, ACI 302.1R, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.*

- *Hemanth, J. (2006). Compressive strength and microstructural properties of lightweight high-strength cement mortar reinforced with eloxal. Materials and Design, 27, 657–664.*
- *<http://www.aimplas.es/blog/la-magia-de-los-materiales-auto-reparables>, Adolfo Benedito*
- *<http://www.imcyc.com/cyt/diciembre03/agrietamiento.htm>*
- *<http://www.imcyc.com/revistacyt/ago11/artfic.html>*
- *<http://www.poliformasplasticas.com.mx/Archivos/834pcs12.doc>*
- *<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Estructura2Sm.bmp>, imagen de Estructura química general de las arcillas.*
- *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2005,) Agrietamiento en el concreto, Editado por IMCYC, México.*
- *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2006,) Grietas en el Concreto debido a contracción plástica y asentamiento plástico, Editado por IMCYC, México.*
- *Juarez Badillo-Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo 1; Fundamentos de la Mecánica de Suelos; Limusa Noriega Editores.*
- *Mexicana de Resinas, S.A. de C.V. (2012), Resina de poliéster A834-PCS-12*
- *Mingarro, M. (2006). Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico. Madrid, España: Editorial Complutense.*
- *NMX-C-460-ONNCCE-2009. (2009). Vivienda Económica Sustentable. OBRAS, 4. 72.*
- *Ramirez Soto Gerardo Valentin (2008), Estudios del tipo de grietas de muros de mampostería, posibles causas y efectos.*
- *Sánchez Tomas A. y Oscar Zepeda., ICA, A.C., (1999) Edificaciones de mampostería para vivienda, México D.F., 1999.*

- *Shiyun Z., Z. C. ((2002)). Properties of latex blends and its modified cement mortars. Cement and Concrete Research , 32 , 1515–1524.*
- *Villalvilla, R, Mont, J. y Agulles, E. ((2003)). Homogeinizaion Documental, imparticion de las Enseñanzas de Contenidos Practicos . Veracruz, Mexico: Grupo Vitruvio.*

**ANEXOS**

Anexo 1

**TABLA A.1** Resultados obtenidos de 6 probetas para la obtención del resultado a la resistencia a 1 día.

A			B			C			D			E			F		
Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
5.13	5.04	4.99	5.03	5.1	5.01	5.14	5.09	5.1	5.07	5.12	4.99	5.07	5.05	4.99	5.11	5.03	5.01
5.17	5.02	5.1	5.01	4.97	5.03	4.98	4.97	5.04	5.01	5.15	5.01	5.03	5.04	5.04	5.07	5.02	4.99
4.99	5.01	4.93	5.17	5.01	4.99	5.1	5.03	5.01	5.04	5.02	5.04	5.01	4.99	5.03	5.02	5.04	4.97
5.1	5.02	5.01	5.07	5.03	5.01	5.07	5.03	5.05	5.04	5.1	5.01	5.04	5.03	5.02	5.07	5.03	4.99
Peso (gramos)		235.89	Peso		235.83	Peso		235.46	Peso		233.16	Peso		237.58	Peso		233.38
Carga (kg)		16800	Carga		16450	Carga		16800	Carga		16150	Carga		16550	Carga		16050

**TABLA A.2** Resistencia a la compresión para 1 día.

Prueba 1 día	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
A	16800.00	656.20
B	16450.00	645.04
C	16800.00	658.77
D	16150.00	628.31
E	16550.00	652.83
F	16050.00	629.36
Promedio		645.09

Anexo 2

**TABLA A.3** Resultados obtenidos de 6 probetas para la obtención del resultado a la resistencia a 3 días.

A			B			C			D			E			F		
Largo	Ancho	Alto															
5.13	5.04	4.99	5.03	5.1	5.01	5.14	5.09	5.1	5.07	5.12	4.99	5.07	5.05	4.99	5.11	5.03	5.01
5.17	5.02	5.1	5.01	4.97	5.03	4.98	4.97	5.04	5.01	5.15	5.01	5.03	5.04	5.04	5.07	5.02	4.99
4.99	5.01	4.93	5.17	5.01	4.99	5.1	5.03	5.01	5.04	5.02	5.04	5.01	4.99	5.03	5.02	5.04	4.97
5.1	5.02	5.01	5.07	5.03	5.01	5.07	5.03	5.05	5.04	5.1	5.01	5.04	5.03	5.02	5.07	5.03	4.99
Peso (gramos)		251.48	Peso (gramos)		235.82	Peso (gramos)		237.02	Peso (gramos)		236.14	Peso (gramos)		245.65	Peso (gramos)		236.57
Carga (kg)		21300	Carga		21450	Carga		21580	Carga		21070	Carga		21900	Carga		21170

**TABLA A.4** Resistencia a la compresión para 3 días.

Prueba 3 días	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
A	21300.00	831.97
B	21450.00	841.11
C	21580.00	846.20
D	21070.00	819.72
E	21900.00	863.86
F	21170.00	830.13
Promedio		838.83

Anexo 3

**TABLA A.5** Resultados obtenidos de 6 probetas para la obtención del resultado a la resistencia a 7 días.

A			B			C			D			E			F		
Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
5.17	5.02	5.10	5.01	4.97	5.03	4.98	4.97	5.04	5.01	5.15	5.01	5.03	5.04	5.04	5.07	5.02	4.99
5.15	5.12	5.09	5.07	5.03	5.06	5.09	5.13	5.06	5.10	5.14	5.10	5.04	5.14	5.09	5.13	5.16	5.09
4.99	5.01	4.93	5.17	5.01	4.99	5.10	5.03	5.01	5.04	5.02	5.04	5.01	4.99	5.03	5.02	5.04	4.97
5.10	5.05	5.04	5.08	5.00	5.03	5.06	5.04	5.04	5.05	5.10	5.05	5.03	5.06	5.05	5.07	5.07	5.02
Peso (gramos)		249.02	Peso		237.02	Peso		245.65	Peso		252.12	Peso		246.49	Peso		237.58
Carga (kg)		22350	Carga		22325	Carga		22665	Carga		22297.5	Carga		22500	Carga		22285

**TABLA A.6** Resistencia a la compresión para 7 días.

Prueba 7 días	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
A	22350.00	867.79
B	22325.00	878.94
C	22665.00	888.74
D	22297.50	865.75
E	22500.00	884.02
F	22285.00	866.96
Promedio		875.37

Anexo 4

**TABLA A.7** Resultados obtenidos de 6 probetas para la obtención del resultado a la resistencia a 14 días.

A			B			C			D			E			F		
Largo	Ancho	Alto															
5.13	5.00	5.10	5.04	5.04	5.06	5.02	5.06	5.06	5.05	5.14	5.09	5.05	5.14	5.08	5.10	5.10	5.03
5.14	5.06	5.07	5.07	5.04	5.04	5.05	5.08	5.05	5.07	5.14	5.07	5.06	5.13	5.08	5.12	5.13	4.98
5.15	5.12	5.09	5.07	5.03	5.06	5.09	5.13	5.06	5.10	5.14	5.10	5.04	5.14	5.09	5.13	5.16	5.09
5.14	5.06	5.09	5.06	5.04	5.05	5.05	5.09	5.06	5.07	5.14	5.09	5.05	5.14	5.09	5.12	5.13	5.03
Peso		249.03	Peso		242.94	Peso		246.49	Peso		250.59	Peso		249.02	Peso		248.76
Carga		23400	Carga		23200	Carga		23750	Carga		23525	Carga		23100	Carga		23400

**TABLA A.8** Resistencia a la compresión para 14 días.

Prueba 14 días	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
A	23400.00	899.71
B	23200.00	909.72
C	23750.00	923.96
D	23525.00	902.73
E	23100.00	889.93
F	23400.00	890.90
Promedio		902.83

**Anexo 5**

**Anexo A.9** Resultados obtenidos de 6 probetas para la obtención del resultado a la resistencia a 28 días.

A			B			C			D			E			F		
Largo	Ancho	Alto															
5.18	5.02	5.01	5.03	4.99	5.01	5.02	4.99	5.02	4.97	5.03	5.01	5.01	4.99	5.01	5.04	4.99	4.99
5.02	5.03	4.99	5.02	5.01	4.99	5.04	4.99	4.99	5.01	5.01	5.02	5.02	5.01	5.03	5.01	5.04	5.01
5.04	5.05	4.98	5.04	5.02	5.03	5.07	5.03	5.04	4.99	5.05	4.99	5.04	5.03	5.04	5.02	5.05	5.04
5.08	5.03	4.99	5.03	5.01	5.01	5.04	5	5.02	4.99	5.03	5.01	5.02	5.01	5.03	5.02	5.03	5.01
Peso		249.73	Peso		252.12	Peso		234.45	Peso		249.72	Peso		236.83	Peso		241.29
Carga		27625	Carga		27500	Carga		27900	Carga		28425	Carga		27950	Carga		27525

**TABLA A.10** Resistencia a la compresión para 28 días.

Prueba 28 días	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
A	27625.00	1081.11
B	27500.00	1091.26
C	27900.00	1107.14
D	28425.00	1132.48
E	27950.00	1111.32
F	27525.00	1090.07
Promedio		1102.23

Anexo 6

Ficha técnica de Resina de Poliester



MEXICANA de RESINAS, s.a. de c.v.

RESINA POLIESTER  
A834-PCS-12

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

RESINA PARA LA FABRICACION DE PLASTICO REFORZADO UTILIZANDO PROCESO DE ASPERSIÓN O MOLDEO MANUAL

PROPIEDADES DE RESINA LÍQUIDA

ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C, Brookfield LVP, aguja #3 a 6 r.p.m. (cps)	230	GET - 03 - 009
Densidad @ 25 °C (gr/ml)	1.11	GET - 03 - 034
Olor	Ambiar-flora	GET - 03 - 025
Sólidos (%)	67	GET - 03 - 035

PROPIEDADES DE CURADO \* (1) ver parte posterior de la hoja

TIEMPO DE GEL @ 25°C (min)	MÓDULO ELIMINADO	MÉTODO DE PRUEBA
100 gr. de resina + 1.0 % de catalizador NOROX 922	12" 9"	GET - 03 - 017
Tiempo de Curado (min, seq)	21" 15"	GET - 03 - 017
Temperatura de Eotermia (°C)	152.5 152.5	GET - 03 - 017

PROPIEDADES MECÁNICAS \* (2) ver parte posterior de la hoja

PROPIEDAD	ENCAPULADO	LAMINADO	MET. DE PRUEBA
Contenido de Resina (gr)	100	70	(% Peso)
Contenido de Fibra de Vidrio (gr)	—	30	(% Peso)
Densidad @ 25°C (gr/ml)	1.12	1.35	GET - 03 - 034
Dureza Barcol (Barcol)	35	45	GET - 03 - 022
HDT (* C a 264 psi)*	72	N.D.	GET - 03 - 031

N. D. = No Determinado  
\* HDT = Temperatura máxima de distorsión al calor.

DESCRIPCIÓN

La resina A834-PCS-12 de AOD / MEXOGANA de RESINAG, S.A. de C.V., es una resina poliéster ortofenólica modificada, preacelerada y de reactividad alta. Esta resina se diseñó para la fabricación de piezas varias de plástico reforzado con fibra de vidrio, de aplicación en las Industrias Automotriz, Marítima, Mármol Gráfico, de la Construcción, etc.

Este producto para gelar y curar a temperatura ambiente requiere de la adición de un catalizador de periodo de metil estil cetona

CARACTERÍSTICAS

- Porcentaje de sólidos que garantizan las propiedades óptimas del producto final.
- Viscosidad adecuada para humectar rápidamente la fibra de vidrio.
- Facilidad de espulsión del aire atrapado durante la operación de roiado.
- Resina preacelerada.
- Rápido desarrollo de Dureza Barcol.

BENEFICIOS.

- Curado rápido lo que ocasiona alta productividad por molde.
- Alta dureza.
- Buena resiliencia.
- Buen acabado superficial.

APLICACIONES.

- Este producto se diseñó para:
  - a) Fabricación de artículos varios de plástico reforzado utilizando fibra de vidrio ya sea calciclometa o noving como refuerzo y empleando métodos de aplicación de moldeo manual o aspersión (superficie horizontal).
  - b) Elaboración de piezas varias de concreto polimérico.

RESINA A834-PCS-12

RECOMENDACIONES DE EMPLEO

- A.- Se debe mantener un rango entre el 0.5 y el 2% de catalizador sobre el peso total de la resina.
- B.- Se almacena a temperaturas entre los 15 - 25 °C y una humedad relativa entre 40 - 70 % para ayudar al fabricante a obtener una mayor calidad en sus productos.

ESTABILIDAD DE ALMACENAMIENTO

La Resina tiene una estabilidad de 3 meses a partir de su fecha de producción. Debe ser almacenada en envases cerrados bajo techo a una temperatura no mayor de 25 ° C. Pasado el tiempo de estabilidad de almacenaje garantizado se puede observar incremento (Drift) en el tiempo de gel del producto.

Durante los meses de Verano donde la temperatura ambiente es elevada la estabilidad del producto se garantiza un máximo de dos meses a 30°C ambientales (Bajo techo).

SEGURIDAD

Ver Hojas de Seguridad de Materiales y Hoja de Emergencia de Transportación de Resinas de AOD / MEXOGANA - MEXOGANA DE RESINAG, S.A. de C.V.

CERTIFICADO ISO-9002

El Sistema de Calidad de MEXOGANA de RESINAG S.A. de C.V. está certificado de acuerdo a los estándares de ISO-9002, lo cual nos permite garantizar a nivel internacional la calidad y consistencia de nuestros productos

NOTAS

- ( 1 ) Las características de gel pueden variar de lote a lote debido a la concentración del catalizador, inhibidor y promotores empleados o por un exceso de humedad en el ambiente. Los pigmentos y las cargas pueden acelerar o retardar el tiempo de gel. Es recomendable que antes de usar la resina, el fabricante haga pruebas con una pequeña porción de la resina para revisar las características de gel; esto se de acuerdo a sus condiciones de operación

- ( 2 ) Las pruebas mecánicas se realizaron en un laminado sin refuerzo (Bastido), a una temperatura de 25 ° C y una humedad relativa del 50 %. Las pruebas se realizaron adicionando el 1 % de PMMC al 50 %

- ( 3 ) Las resinas preaceleradas para exportación se envía el acelerador por separado para que el Cliente lo integre, esto se hace para garantizar la vida útil del producto.

Dentro de la información que presentamos los datos más relevantes en cualquier momento en cualquier momento al margen de cualquier otro garantía expresa o implícita, incluso bajo garantía de responsabilidad, es una parte de lo particular se compromete a mantener una responsabilidad limitada con el fabricante en todo lo que al usar el producto sin tener un manual de instrucciones. Este producto no es responsable de cualquier daño a cualquier resultado del sistema. La calidad del producto y la utilidad de este producto para el uso mencionado, el mismo no implica y el mismo que en un futuro algún producto, es responsabilidad del usuario del sistema.