



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería.  
Maestría en Ciencias, Línea Terminal Construcción

Desarrollo y aplicación de materiales para reparación de estructura de  
concreto

Opción de titulación  
**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el TITULO. de  
Maestría en Ciencias en     Línea Terminal Construcción    

**Presenta:**  
Luis Arturo Vidal Sampayo

Dirigido por:  
Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

<u>Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza</u> Presidente	_____	Firma
<u>Dr. Jaime Moisés Horta Rangel.</u> Secretario	_____	Firma
<u>M. en I. Rubén Ramírez Jiménez</u> Vocal	_____	Firma
<u>Dra. Teresa López Lara</u> Suplente	_____	Firma
<u>Dr. Francisco Javier García Rodríguez</u> Suplente	_____	Firma

Centro Universitario  
Noviembre, 2022  
Querétaro, Qro.

## RESUMEN

Las fallas en los elementos estructurales y no estructurales son tan cotidianas en las edificaciones que es necesario saber como resolver los diferentes problemas que se presenten, así como conocer que materiales se pueden usar y sobre todo el origen de estas fallas para poder solucionar de mejor manera el problema. La gran gama de productos y marcas de materiales para poder resolver diferentes problemas, nos llevó a buscar un material que pueda ser versátil para poder ocuparse en diversas áreas, cumpliendo con resistencia a edades tempranas, trabajabilidad, que puedan hacerse diversas combinaciones para que sea fluido o e inclusive una pasta, de fácil acceso, sin herramienta y mano de obra especializada. Con esto conseguimos hacer un material compuesto a base de resina y carbonato de calcio, en el cual se hicieron especímenes en diferentes proporciones para caracterizarlo de acuerdo a la norma ASTM C 109 y compararlo entre ellos mismos, así como con los principales productos de esta gama que se encuentran en el mercado y con un mortero de cemento arena de acuerdo a la norma ASTM C 109. Teniendo como objetivos la obtención de un material de alta resistencia a edad temprana, caracterizándolo desde la dosificación hasta la prueba, para obtener la mayor información de este material compuesto.

**(Palabras clave:** Alta resistencia, Materiales compuestos, Reparaciones)

## SUMMARY

Failures in structural and non-structural elements are so common in buildings that it is necessary to know how to solve the different problems that arise, as well as to know what materials can be used and, above all, the origin of these failures in order to solve them in a better way. The wide range of products and brands of materials to be able to solve different ones, led us to look for a material that can be versatile to be able to deal with different areas, checking with resistance at early ages, workability, that different combinations can be made to make it fluid or and even a paste, easily accessible, without tools and specialized labor. With this we were able to make a composite material based on resin and calcium carbonate, in which specimens were made in different proportions to characterize it according to the ASTM C 109 standard and compare it between them, as well as with the main products of this range that are found on the market and with a sand-cement mortar according to the ASTM C 109 standard. Having as objectives the obtaining of a material of high resistance at an early age, characterizing it from the dosage to the test, to obtain the most information of this composite material.

**(Key words:** High Strength, Composites, Repair)

A Diana parte fundamental para motivarme a seguir adelante y conseguir este nuevo logro.

Mi familia, Madre, Padre, Pepe, Ale, que de alguna u otra forma me ayudaron a poder conseguir esto.

## **AGRADECIMIENTOS**

El principal agradecimiento es para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), que pudo hacer posible este trabajo dándome el principal financiamiento para poder realizar la investigación.

A la Universidad Autónoma de Queretaro, su casa de estudios me albergó de buena forma y me llevo una de las mejores experiencias como estudiante.

A mi asesor de este proyecto, el Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza, que desde el primer momento me apoyo, me dio herramientas necesarias, motivación para poder trabajar y desarrollar este trabajo de investigación.

## Indice

1.	Capitulo I. Fundamentación teórica .....	1
1.1.	Problemas generales. ....	1
1.2.	Tipos de fallas en concreto. ....	3
1.3.	Incremento de esfuerzos .....	4
1.4.	Las grietas y sus aspectos .....	5
1.5.	Generalidades de las reparaciones .....	7
1.6.	Métodos frecuentes de reparación de grietas .....	7
1.7.	Morteros de alta resistencia. ....	9
1.8.	Materiales compuestos.....	9
1.9.	Materiales poliméricos.....	10
1.10.	Materiales de construcción. ....	10
1.11.	Hipótesis y objetivos.....	11
1.11.1.	Hipótesis .....	11
1.11.2.	Objetivos.....	11
1.11.3.	Objetivo específico .....	11
2.	Capítulo 2. Metodología.....	12
2.1.	Paso 1.- Obtención de materiales.....	12
2.2.	Paso 2.- Elaboración de los especímenes .....	14
2.3.	Paso 3.- Dosificaciones.....	16
2.4.	Paso 4.- Caracterización de materiales. ....	19
3.	Resultados .....	21
3.1.	Caracterización de los especímenes.....	21
3.1.1.	Resina. ....	21

3.1.2. Resina con cal .....	22
3.1.3. Resina con calcita .....	25
3.1.4. Resina con calcita y arena.....	31
3.1.5. Mortero tradicional cemento-arena.....	37
3.2. Resultados de pruebas.....	38
3.2.1. Prueba de fluidez. ....	38
3.2.2. Prueba a compresión.....	39
3.2.2.1. Resina. ....	39
3.2.2.2. Resina con cal .....	40
3.2.2.3. Resina con calcita .....	42
3.2.2.4. Resina con calcita y arena.....	47
3.2.2.5. Mortero tradicional cemento arena. ....	50
3.2.3. Desgaste de los ángulos .....	51
3.2.4. Pruebas a tensión .....	56
3.3. Comparación con materiales que se encuentran en el mercado.....	59
4. Discusión de resultados.....	61
5. Conclusiones .....	64
Bibliografía.....	65

## Indice de tablas

Tabla 1. Relación de precios del año 2022 de los materiales utilizados para el desarrollo de probetas.....	14
Tabla 2. Herramienta y equipo necesario para el desarrollo de las probetas.....	15
Tabla 3. Dosificación de muestra con resina al 100% R100.....	17
Tabla 4. Muestras de Cal RC5248 Y RC5050 .....	17
Tabla 5. Dosificaciones realizadas con calcita. ....	17
Tabla 6. Dosificaciones calcita-arena. ....	18
Tabla 7. Dosificaciones Cemento- Arena.....	18
Tabla 8. Resultados R100.....	39
Tabla 9. Resultado a compresión del espécimen RC5248.....	40
Tabla 10. Resultados del espécimen RC5050 .....	41
Tabla 11. Resultados RCC5050 .....	42
Tabla 12. Resultados obtenidos de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC4060...	44
Tabla 13. Resultados obtenidos del espécimen RCC356. ....	45
Tabla 14 Resultados obtenidos del espécimen RCC3070. ....	47
Tabla 15. Resultados de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC404614. ....	48
Tabla 16. Resultados obtenidos del espécimen RCC304624. ....	49
Tabla 17. Resultados obtenidos del espécimen RCC303040 .....	50
Tabla 18 Resultados obtenidos del espécimen CemA.....	51
Tabla 19 Pesos de los especímenes RCC3070 antes y despues de 15 Revoluciones. ....	53
Tabla 20 Pesos de los especímenes CemA antes y despues de 15 Revoluciones. ....	53
Tabla 21 Cálculo de humedad del espécimen CemA.....	54
Tabla 22 Cálculo del PIC del espécimen CemA .....	55
Tabla 23 Cálculo del desgaste del espécimen CemA.....	56
Tabla 24 Cálculo del desgaste del espécimen RCC3070 .....	56
Tabla 25 Resistencia a la compresión del material SikaGrout. ....	59
Tabla 26 Resistencia a la compresión del material SikaMonoTop. ....	59
Tabla 27 Resistencia a la compresión del material Fester CM-201. ....	59
Tabla 28 Resistencias a la compresión del material Fester Epoxine 300.....	60
Tabla 29 Resistencias a la compresión de mezcla de Resina con Calcita. ....	60



## Indice de Figuras

Figura 1. Diagrama de actividades.....	12
Figura 2. Desgaste de los ángeles.....	20
Figura 3. Resina.....	21
Figura 4. Espécimen de R100.....	22
Figura 5. Mezcla Resina-cal RC5248.....	23
Figura 6.Espécimen Resina-Cal RC5248.....	23
Figura 7. Procedimiento Resina cal RC5050.....	24
Figura 8. Espécimen Resina cal RC5050.....	24
Figura 9. Procedimiento resina calcita RC5050.....	25
Figura 10. Consistencia de mezcla Resina calcita RC5050.....	25
Figura 11. Espécimen Resina calcita RC5050.....	26
Figura 12. Procedimiento resina Calcita RCC4060.....	26
Figura 13. Consistencia mezcla Resina Calcita RCC4060.....	27
Figura 14. Espécimen Resina Calcita RCC4060.....	27
Figura 15. Calcita para la muestra RCC3565.....	28
Figura 16. Consistencia mezcla Resina Calcita RCC3565.....	28
Figura 17. Espécimen Resina Calcita RCC3565.....	29
Figura 18. Material Resina Calcita RCC3070.....	29
Figura 19. Consistencia mezcla Resina Calcita RCC3070.....	30
Figura 20. Espécimen Resina Calcita RCC3070.....	30
Figura 21. Procedimiento para Resina Calcita Arena RCCA404614.....	32
Figura 22.Consistencia mezcla Resina Calcita Arena RCCA404614.....	32
Figura 23. Espécimen Resina Calcita Arena RCCA404614.....	33
Figura 24. Material Calcita Arena RCCA304624.....	33
Figura 25. Material Resina Calcita Arena RCCA304624.....	34
Figura 26. Consistencia mezcla Resina Calcita Arena RCCA304624.....	34
Figura 27. Espécimen Resina Calcita Arena RCCA304624.....	35
Figura 28. Calcita-Arena.....	36
Figura 29. Materiales para el espécimen Resina-Calcita-Arena RCCA303040.....	36

Figura 30. Consistencia mezcla Resina-Calcita-Arena RCCA303040 .....	36
Figura 31. Espécimen Resina Calcita Arena RCCA304624 .....	37
Figura 32 Espécimen R100 para prueba.....	40
Figura 33 Resultado de prueba espécimen R100.....	40
Figura 34 Falla del espécimen R100 .....	40
Figura 35 Espécimen RC5248 para prueba. ....	41
Figura 36 Falla del espécimen RC5248.....	41
Figura 37. Espécimen RC5050 para prueba .....	42
Figura 38. Falla del Espécimen I RC5050.....	42
Figura 39. Espécimen RCC5050 para prueba. ....	43
Figura 40. Resultados de la prueba RCC5050.....	43
Figura 41. Falla del espécimen RCC5050.....	43
Figura 42 Espécimen RC4060 para prueba. ....	44
Figura 43 Resultados de la prueba RCC4060.....	44
Figura 44 Falla del espécimen RCC4060.....	45
Figura 45 Espécimen RCC3565 para prueba. ....	46
Figura 46 Resultados de la prueba RCC3565.....	46
Figura 47 Falla del espécimen RCC3565 .....	46
Figura 48 Espécimen RCC3070 para prueba .....	47
Figura 49 Falla del espécimen RCC3070.....	47
Figura 50. Espécimen RCCA404614 para prueba .....	48
Figura 51. Falla del espécimen RCC3070.....	48
Figura 52. Espécimen RCCA304624 para prueba. ....	49
Figura 53. Falla del Espécimen RCCA304624. ....	49
Figura 54. Espécimen RCC303040 .....	50
Figura 55 Especímenes para la prueba de los ángeles.....	52
Figura 56 Especímenes para la prueba de los ángeles.....	52
Figura 57 Especímenes RCC370 despues de la prueba.....	53
Figura 58 Especímenes CemA despues de la prueba. ....	54
Figura 59 Comportamiento de las muestras de Resina-Calcita.....	61

## 1. Capitulo I. Fundamentación teórica

### 1.1. Problemas generales.

El sector de la construcción ha tomado medidas necesarias para minimizar el uso de materiales no renovables y uno de esos materiales es el concreto (Lucas, Moaxham, Tziviloglou, & Jonkers, 2018).

El concreto tiene varias cualidades, que van desde su alta resistencia y para resistir desastres naturales, hasta su versatilidad y bajo mantenimiento (Lucas, Moaxham, Tziviloglou, & Jonkers, 2018).

Un bajo rendimiento en las reparaciones de concreto se ha convertido en uno de los grandes retos en la ingeniería civil. En Europa, se estimó que alrededor de la mitad del presupuesto de construcción se gasta en rehabilitaciones y reparaciones y solo el 50% de estas se realizan en las estructuras de concreto (Kiani, Liang, & Gross, 2018).

En el mercado de la construcción actualmente existe una amplia gama de varios materiales de reparación que difieren su costo, proceso y características relacionadas con el esfuerzo y condiciones de aplicación. Este factor dificulta al momento de la elección de los materiales para la reparación (Ushkov, Frigorvsky, & Nalbandyan, 2020).

En términos de reparaciones y métodos de reforzamiento, las fibras reforzadas de polímeros (FRP), que se adhieren a la superficie de concreto. Otro es el adhesivo epóxico que ampliamente usado para juntar FRP para hacer un reforzamiento estructuralmente a una estructura de concreto dañada (Zhou, Ning, Tam, & Yu, 2021).

Debido al envejecimiento estructural, la exposición ambiental perjudicial, y el incremento en el tráfico de cargas y frecuencia, la infraestructura del concreto se deteriora y comienza a tener deficiencias estructurales con el tiempo. Sin una propuesta de mantenimiento y rehabilitación, esto propicia a una falla estructural como el colapso de un edificio, puente u otro tipo de construcción (Zhou, Ning, Tam, & Yu, 2021).

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 (Hernández Zaragoza, y otros, 2015).

El concreto es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar a su endurecimiento (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014).

Las estructuras de concreto están demostrando ser extremadamente susceptible a la acción de agentes agresivos, y en consecuencia sufren la aparición de diversas manifestaciones patológicas (Modesti, Silva de Vargas, & Schneider, 2020).

El concreto es un material que está expuesto en cada uno de sus procesos (desde dosificación y fabricación, hasta su manejo, colocación y cuidado) a diferentes factores ambientales, de servicio y sujeto a diversas técnicas durante su colocación. Estas circunstancias no siempre son las eficaces, adecuadas y correctas, por lo que el concreto es susceptible de reparaciones posteriores a su colocación para aumentar y mantener su expectativa de vida útil (García R., 2008).

Desde la aparición del cemento Portland en el siglo XIX, la aplicación del concreto como material de construcción tradicional en la ingeniería civil se ha desarrollado rápidamente (Jiang, y otros, 2021).

El concreto es un material de construcción común cuya versatilidad y disponibilidad lo han hecho indispensable para todo tipo de construcción en todo el mundo (Ahsan, y otros, 2022).

También se debe gran parte al notable éxito y eficacia del concreto, relacionado con el material disponible a nivel mundial y su rendimiento de durabilidad excelente y generalmente probado (Aattache & Soltani, 2019).

El concreto es un material esencial para un buen desarrollo de la infraestructura (Maruti, Radhakrishna, & Mounesh, 2018).

Debido a su resistencia mecánica que es la propiedad destacada del concreto que es la única responsable del excelente y duradero comportamiento estructural de las estructuras de concreto en condiciones ambientales adversas extremas (Kumar, y otros, 2022).

El constante uso del concreto provoca que, en cada una de sus etapas de su vida, está expuesto a diversos factores naturales, diferentes usos y propósitos (García R., 2008).

El uso del concreto a nivel mundial crecido considerablemente a lo largo de los años desde el siglo pasado (Aattache & Soltani, 2019).

Añadiendo que en ocasiones las técnicas para su implementación, ejecución y es debido a esto que ocurre que en su práctica puede llegar a ser ineficaz e inadecuadas, por lo que son susceptibles a futuras reparaciones para poder mantener o aumentar su vida útil (García R., 2008).

Hoy en día la mayoría de los productores de morteros recurren a los morteros de construcción disponibles comercialmente para la práctica de reparación y refuerzo de componentes de concreto en medios agresivos (Aattache & Soltani, 2019).

## 1.2. Tipos de fallas en concreto.

Otros problemas que afectan al concreto son la eflorescencia, que es la aparición de sales cristalinas sobre la superficie del concreto, cavitación es la erosión o el desgaste del concreto, el Decostramiento son las oquedades, irregularidades y pequeños desprendimientos derivados de la adherencia del concreto con la cimbra, apanamiento, que es una superficie irregular rugosa, debida a la exposición directa de los agregados pétreos en ausencia de lechada (García R., 2008).

Actualmente, el deterioro y corrosión de las estructuras de concreto se enfrentan a desafíos extremadamente grandes debido a la entrada de varios iones de los entornos circundantes, como el agua de mar, tuberías de alcantarillado, suelos o aguas contaminadas (Si-Yao, y otros, 2020).

En años recientes, el deterioro del concreto debido a la corrosión del acero de refuerzo se ha convertido en un problema mundialmente (Al-Salloum, 2006).

Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente (Toirac C., 2004). Estas son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente, estas pueden ser de origen químico y físico. Las primeras se producen principalmente por la hidratación del cemento, oxidación del acero de refuerzo, mientras que las de origen físico son atribuidas a cambios por expansiones que originan esfuerzos de compresión y contracciones por esfuerzos a tensión; las grietas también son ocasionadas por cargar, ya sean de compresión, tensión, flexión, cortante y torsión; también existen otras circunstancias que llegan a producir las fisuras, como el fallo de adherencia-anclaje, desplazamiento de armaduras principales, asentamientos diferenciales en cimentaciones (Toirac C., 2004).

### 1.3.Incremento de esfuerzos

Las dos fuerzas impulsoras del temprano cambio de volumen es la deformación térmica debido a la hidratación del cemento y a la deformación por contracción (contracción autógena y secado por contracción). La reacción de hidratación guía a una reducción neta del total del volumen de la pasta endurecida, el cual se auto desecan los poros y encogimiento asociado. El incremento de esfuerzos desarrolla un endurecimiento de concreto de la estructura con deformaciones térmicas y contracciones que pueden considerar escritas de la siguiente manera en la ecuación 1  $\Delta\sigma = (\Delta T \cdot \alpha_T + \Delta\varepsilon) + E \cdot \psi \cdot R$  desarrollada por (Hansen & Schindler, 2010).

Donde:

$\Delta\sigma$  = Incremento de esfuerzos, Pound Square Inches (psi) ó MegaPascales (Mpa).

$\Delta T$  = Medida de cambio de temperatura.

$\alpha T$  = Coeficiente de expansión térmico.

$\Delta\varepsilon$  = Incremento de deformación por contracción autógena y por secado.

$E$  = Modulo de Young.

$\Psi$  = Coeficiente de relajación.

$R$  = Grado de restricción.

La prueba del anillo (ring test) es una herramienta muy practica para evaluar el tiempo de fisura y la sensibilidad en materiales cementosos ASTM C1582 (Hansen & Schindler, 2010).

Ecuaciones a considerar para la mejor predicción del maximo de ancho de fisura en el fondo de la trabe  $w_b = 0.091^3 \sqrt{t_b A} \beta (f_s - 5) \times 10^{-3}$  ecuacion 2 por (Barth & Frosch, 2008); y la ecuación de máximo probable de ancho de fisura al nivel de reforzamiento en la ecuación 3  $w_s = \frac{0.091^3 \sqrt{t_b A}}{1 + \frac{t_s}{h_1}} (f_s - 5) \times 10^{-3}$  que fue propuesta por (Barth & Frosch, 2008).

Donde:

$W_b$  = El maximo probable ancho de fisura al fondo de la trabe (pulgadas).

$W_s$  = El maximo probable ancho de fisura al nivel del reforzamiento (pulgadas).

$F_s$  = Esfuerzo del acero de refuerzo (ksi).

$A$  = Área del concreto dimétrico con acero de refuerzo dividido en número de varillas (pulgadas cuadradas).

$T_b$  = Recubrimiento del fondo al centro de la varilla (pulgadas).

$T_s$  = Recubrimiento del costado al centro de la varilla (pulgadas).

$B$  = Proporción de la distancia entre el eje neutral y la cara de tensión a la distancia entre el eje neutral y acero de refuerzo sobre 1.20 en trabes.

$H_1$  = Distancia desde el eje neutral al cero de refuerzo (pulgadas).

#### 1.4.Las grietas y sus aspectos

Dentro del estudio de las grietas existen dos principales aspectos que deben considerarse, los cuales son los siguientes:

- El ancho en la superficie.

No resulta fácil medir. En algunos casos se puede suponer una proporcionalidad con la abertura: a mayor abertura, mayor profundidad. Pero esto no es cierto en todos los casos. Cuando es indispensable conocer la profundidad se suele rellenar la grieta con material

coloreado y luego extraer núcleos de la parte agrietada. La abertura y la profundidad condicionan los procedimientos de reparación.

- El movimiento.

Los cambios en su abertura y longitud implican mediciones de bastante precisión. Un procedimiento sencillo y efectivo consiste en poner sobre la grieta, y en sus extremos, pequeños parches delgados de yeso dental. El yeso es rígido, no tiene ductilidad y se rompe si en la grieta hay algún incremento en su ancho o longitud. Parches sucesivos pueden servir para estudiar el comportamiento de las grietas (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco , 2014).

Por otra parte, tenemos las características de las grietas, las cuales se enlistan a continuación:

- Posición de todas las grietas en los elementos de toda la estructura.
- Correlación entre elementos.
- Ancho superficial, profundidad y largo o extensión de la grieta.
- Forma de la abertura y de sus bordes.
- Estabilidad o inestabilidad del ancho de la grieta y de su longitud: tendencia a aumentar, disminuir o movimientos cíclicos.

Como se sabe las grietas o fisuras, son de las fallas más comunes, pero no por ello se deben de ignorar, por ello a continuación se enlistan los principales aspectos por los cuales deben ser restauradas:

- Para restablecer la continuidad estructural del concreto.
- Para impermeabilizar, evitando el paso del agua.
- Para evitar el deterioro por el ataque del medio ambiente.
- Por razones estéticas.

Sumando su baja resistencia a la tracción, la débil resistencia a la deformación y el agrietamiento son propiedades comunes del concreto (Jiang, y otros, 2021).

Y teniendo en cuenta que las estructuras de concreto están sujetas a varias cargas durante su vida útil, incluidas cargas muertas, vivas, de viento y de impacto, y en algunos



casos severos, peligros ambientales como carga sísmica y exposición al fuego (Ahsan, y otros, 2022).

Por lo cual el deterioro del concreto puede ser físico, químico, y mecánico y causar una gran amenaza a la integridad general de las construcciones de concreto (Aattache & Soltani, 2019).

### 1.5. Generalidades de las reparaciones

La reparación es crucial en la rehabilitación o renovación de estructuras de concreto reforzado. A pesar de usar aglutinantes cementosos en esas reparaciones, el reemplazo de cemento Portland Ordinario por GeoPolimeros es relevante cuando aborda las preocupaciones asociadas con la producción de cemento Portland Ordinario y su huella de carbono (Albudah, Abadel, Alrshoudi, Altheeb, & Abbas , 2020).

Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no solo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración (Barlow, Darwin, Liu, & Scanlon, 1993). Los materiales cementosos modificados con polímeros se utilizan a menudo como un tipo de material de reparación para cementosos aglutinantes, lo que se conoce como reparación de cemento polímero materiales (PCRM, por sus siglas en inglés). Entre diferentes tipos de polímeros, la resina epoxi, es ampliamente utilizado como refuerzo en PCRM debido a su satisfactoria propiedad mecánicas, excelente comportamiento a la adherencia, buena resistencia a los ataques químicos y alcalinos, así como cerca de un coeficiente de expansión comparado con el concreto normal (Si-Yao, y otros, 2020).

Barlow menciona que la retracción por secado se puede reducir aumentando la cantidad de agregado y reduciendo el contenido de agua. Para reducir la fisuración de origen térmico incluyen reducir la máxima temperatura interna, demorar el inicio del enfriamiento, controlar la velocidad a la cual se enfría el concreto y aumentar la resistencia a la tensión del concreto (Barlow, Darwin, Liu, & Scanlon, 1993).

### 1.6. Métodos frecuentes de reparación de grietas

De acuerdo al manual de concreto estructural, los tipos de reparación de grietas menciona los métodos más frecuentes:

- Carbonatación natural.

Se usa para grietas finas, a través de las cuales percola agua, se pueden auto sellar por colmatación con carbonato de calcio, esta sal se forma a partir del hidróxido de calcio de la pasta del cemento, lixiviado por el agua y en combinación con el anhídrido carbónico de la atmosfera.

- Autosellado por cristalización.

Grietas más finas pueden sellarse por crecimiento de cristales entre sus dos paredes, si el concreto se mantiene húmedo, pero no filtra agua.

- Inyección con resinas epóxicas.

Estos productos tienen una amplia gama de formulaciones, algunos en forma de líquidos de relativa baja viscosidad, que pueden ser inyectados en las grietas.

- Resinas acrílicas.

Resinas que su principal utilidad se relaciona con la estética o con la protección de superficies de concreto.

- Otros recubrimientos.

Pinturas elastoméricas aceptan pequeños movimientos en las grietas, lo mismo que algunas láminas de plástico. Otras pinturas y recubrimientos con ciertas baldosas.

- Sellos elastoplásticos.

Usados principalmente para hacer estancas grietas o juntas en movimiento y, en algunos casos, por razones estéticas.

Otros métodos de reparación que menciona Jonkers describe el mecanismo de añadir bacterias al concreto, un proceso que, mediante la adición de agua de entrada, permite la conversión de lactato de calcio en carbonato de calcio (piedra caliza) que da como resultado el sellado de grietas. Debido a las condiciones de alto nivel de Potencial de Hidrogeno (PH) que se encuentran dentro del concreto, las bacterias infundidas dentro de la estructura pueden permanecer inactivas durante, según el tipo de tensión, 200 años.

Es solo cuando comienzan a formarse grietas y el agua se filtra, que el PH disminuye y las bacterias se activan (Lucas, Moaxham, Tziviloglou, & Jonkers, 2018).

### 1.7. Morteros de alta resistencia.

La reparación y rehabilitación de estructura de concreto armado requiere morteros de alta resistencia (Martínez G., y otros, 2022).

El concreto de alta resistencia se escoge en la construcción contemporánea debido a su buena durabilidad, alta resistencia mecánica, baja permeabilidad y microestructura densa (Ahsan, y otros, 2022).

La adición de fibra a morteros de alta resistencia tiene amplias aplicaciones que incluyen revestimientos, pavimentos, reparación de parches de estructuras hidráulicas, prefabricaciones, laminas delgadas, mortero proyectado, revestimiento de paredes, estructuras sismorresistentes, refuerzo de losas, tableros de puentes, etc. (Martínez G., y otros, 2022).

El concreto polimérico se convierte en uno de los concretos sostenibles que sustituye completamente al cemento por resina polimérica. Tiene un tiempo de curado rápido, buena resistencia a la contracción, agrietamiento, deformación y cuenta con mayor durabilidad. Debido a las excelentes propiedades mecánicas y durabilidad del concreto polimérico, se usa ampliamente para reparar daños en estructuras de concreto, como carreteras, puentes, puertos y pistas, etc. En términos de beneficios económicos, la cantidad de mantenimiento repetido y varios costos son reducidos (Jiang, y otros, 2021).

### 1.8. Materiales compuestos.

Material compuesto se define como aquel material formado por dos o más componentes, de forma que las propiedades, de forma que las propiedades del material final sean superiores que las de los componentes por separado, en el que el material predominante, se conoce como matriz y el refuerzo que es el elemento que aporta la resistencia.

El estudio de los materiales cementantes compuestos (CCM por sus siglas en inglés), se deriva de un campo muy amplio, los cuales son los materiales compuestos de matriz cerámica (Olivares , Galan , & Roa, 2003) desarrollados generalmente a base de cemento Portland.

Los materiales constituyentes de los CCM por lo general, son: agua, cemento, agregado fino, agregado grueso, adiciones minerales, adiciones químicas, nanocompuestos o nanomateriales y fibras (Bang, Prabhu, Jang, & Kim, 2015).

Se pueden establecer dos estados principales del material: el Estado Primario o conocido también como “Fase Líquida” y el Estado Secundario o “Fase Sólida”. En cada uno de dichos estados el material presenta comportamientos reológicos diferentes por lo cual es necesario definirlos para tener una comprensión mayor sobre sus características.

La fase líquida, el cual es el estado primario, se caracteriza por presentarse en forma de masa líquida y dependiendo de los materiales constituyentes base de los cuales se haya elaborado el CCM dependerá su grado de fluidez y viscosidad. Esta masa será obtenida después de haber agregado todos los materiales con los que fue fabricado.

La fase sólida, estado secundario, ocurre una vez terminado el proceso de fraguado del material donde adquiere un estado sólido y macizo, donde se asemeja en apariencia a una roca artificial (Carpio Lopez & Viera Arroba, 2019).

## 1.9. Materiales poliméricos.

Asimismo, estos productos poliméricos se utilizan ampliamente en edificios y construcciones de concreto. Además, los desechos poliméricos se pueden utilizar de manera rentable como sustitutos de materiales de construcción vírgenes para fabricar morteros compuestos prometedores y de bajo costo prácticas de reparación y trabajos de refuerzo en condiciones severas (Aattache & Soltani, 2019).

## 1.10. Materiales de construcción.

Carbonato de calcio puede usarse parcialmente para reemplazar el uso del cemento para hacer mortero o concreto sin alterar sus propiedades reológicas de la mezcla fresca. (Ahsan, y otros, 2022).

Como el carbonato de calcio, puede reemplazar parte del cemento y al mismo tiempo incrementar la densidad y el esfuerzo a compresión y la cohesión de la mezcla del concreto. Carbonato de calcio con partículas de tamaño menos a  $8\mu\text{m}$  es común usarlo como relleno con el propósito de llenar espacios entre partículas.

Produciendo una mezcla con alta densidad y otras ventajas técnicas, como el control del sangrado, incremento del esfuerzo a compresión, reduciendo la sensibilidad del concreto debido a la falta de curado (Antoni, Chandra, & Hardjito, 2015).

## 1.11. Hipótesis y objetivos

### 1.11.1. Hipótesis

Un material compuesto a base de resina poliéster combinado con material de la construcción se usará para reparar elementos estructurales los cuales alcanzarán un 30% más de la resistencia a promedio a compresión.

### 1.11.2. Objetivos

Desarrollo de un material a base de resinas con combinaciones de materiales de la construcción para tener una alternativa más eficiente para poder usarla en diversas fallas y grietas en elementos estructurales y no estructurales, con mejor trabajabilidad, de manera sostenible y económico.

### 1.11.3. Objetivo específico

- Desarrollar de manera experimental una proporción adecuada para usar el nuevo material compuesto para comprobar que es competitivo para el mercado en base a su trabajabilidad y sus propiedades mecánicas que puede llegar a obtener.
- Analizar propiedades de las mezclas a edades tempranas, para comparar su comportamiento con morteros tradicionales.
- Analizar las diferentes consistencias de las mezclas para poder saber en qué tipos de reparaciones podrían utilizarse.

## 2. Capítulo 2. Metodología

A continuación, se muestra a manera de resumen los 4 pasos los cuales fueron las directrices para la realización de este proyecto (Figura 1).

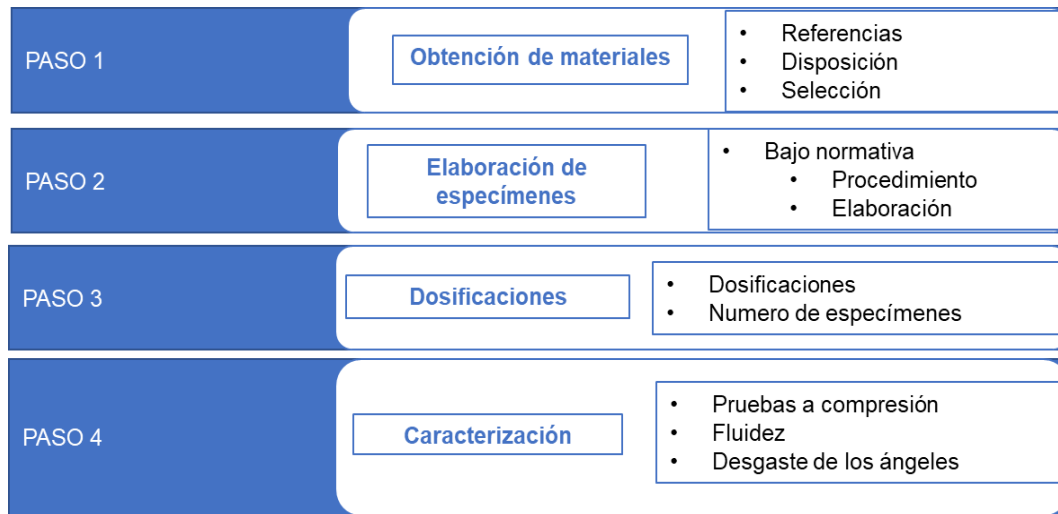


Figura 1. Diagrama de actividades.

### 2.1. Paso 1.- Obtención de materiales.

Se realizó una revisión en la literatura buscando puntos importantes que ayudaron a sustentar esta investigación en los aspectos que se enfocó la búsqueda eran materiales compuestos, trabajos que se hayan trabajado con resinas, sobre reparaciones en estructuras de concreto y sobre distintos comportamientos de materiales de la industria de la construcción que previamente ya se las referencias utilizadas para esta investigación.

Continuando con el proceso de obtención de materiales, se decidieron que cuales se ocuparían y fueran los más viables, para esto se hizo una búsqueda para ver su disposición en el mercado, para ver su accesibilidad, así como en las presentaciones que ofrecían los diferentes proveedores, y también la facilidad de adquisición y que no fuera limitado o que se vendiera por grandes cantidades y lo más importante obtener sus fichas técnicas de los proveedores.

Para la realización de un material compuesto necesitábamos definir qué tipo de matriz y de refuerzo se iba a desarrollar el material, para eso primero se definió la matriz, que entre las más conocidas son:

- Estructurales.

- Laminares
- Cerámicas
- Poliméricas.

Así como el refuerzo, este que puede estar conformado por:

- Materiales particulados
- Fibrosos
- Laminados

Estos son los más recurrentes, para nuestra investigación nuestro material compuesto fue base polimérica con refuerzo de materiales particulados, de los materiales que se estuvieron revisando sus propiedades, nos encontramos con diversas resinas, en el mercado, hay una gran variedad de resinas, ya sea epóxicas, poliéster, acrílicas, vinílicas, entre otras; cada una de estas tienen diferentes propiedades pueden utilizarse en diferentes áreas. Una de las principales referencias para esta investigación fue (Hernández Zaragoza, y otros, 2015), ya que ocupa una resina poliéster combinándolos con diversos materiales de la industria de la construcción.

Al realizar esta búsqueda dentro del mercado, nos encontramos con que la resina podía ser vendida en diferentes presentaciones por 1, 4 O 20 kg. Y se llegó a encontrar en presentaciones de 230 kg. Estas eran de diferentes marcas y proveedores, al final se optó para usar una resina poliéster insaturada, ortoftálica de reactividad media preacelerada, de la marca Poliformas, en presentación de 4 kg. Y asimismo el catalizador que es utilizado para aumentar la velocidad de reacción química de los materiales, el cual es un Peróxido de Metil Etil Cetona (MEKP por sus siglas en inglés) diluido en Metil de ftalato, de la misma marca Poliformas.

Ya seleccionada la matriz, el refuerzo que se utilizaría para terminar de conformar el material compuesto, se buscó con la especificación que fueran elementos particulados, se procedió a buscar materiales que se usaran dentro la industria de la construcción, con esa característica, por lo que encontramos el carbonato de calcio o mejor conocido dentro la construcción como la calcita, que es parte fundamental para la creación del cemento.

También se buscó el óxido de calcio o mejor conocido como cal, dentro de sus usos principales en la industria, son para estabilizar suelos y en los morteros de cemento-arena, por su lado también se buscó de material, la arena que se usa para la realización de distintas mezclas en la industria de la construcción como son el concreto y los morteros.

La obtención de los materiales se adquirió con distintos proveedores, en la Tabla 1 se muestra el material, donde se compró, sus respectivos precios y presentaciones.

*Tabla 1. Relación de precios del año 2022 de los materiales utilizados para el desarrollo de probetas.*

<b>Materiales</b>	<b>Lugar de compra</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>
Resina	Poliformas	\$100	Kg.
Catalizador	Poliformas	\$13	Pza.
Calcita	Poliformas	\$25	Kg.
Cal	Casa de materiales	\$4	Kg.
Arena	Casa de materiales	\$5	Kg.

## 2.2. Paso 2.- Elaboración de los especímenes

Los especímenes que se utilizaran para poder ensayarlos fueron en forma de cubos con dimensiones de 5x5x5 cm de acuerdo a norma ASTM C109. Se escogió esta norma, debido a que su proceso para el desarrollo de los especímenes es sencillo y rápido; esta norma provee un método de prueba para determinar la resistencia a compresión de especímenes cúbicos de morteros hidráulicos de cemento-arena y otros morteros para que se pueda determinar el cumplimiento de especificaciones.

Para el desarrollo de los especímenes se utilizó la herramienta y equipo del laboratorio de Materiales y Geotécnica de la Universidad Autónoma de Querétaro, por lo que se en lista las herramientas y equipos utilizados (Tabla 2).



Tabla 2. Herramienta y equipo necesario para el desarrollo de las probetas.

<b>Artículo</b>	<b>Descripción</b>
Moldes cúbicos de 5x5x5 cm	Sirven para obtener nuestros especímenes que después serán probados.
Charolas circulares	Nos ayudaran a mezclas los materiales para obtener los especímenes.
Pinzas	Para asegurar los moldes y que no se tenga fuga de material.
Espátula	Las utilizamos para mezclar los materiales
Espátula de cuchillo	De misma forma para revolver los materiales y para el final del llenado enrasar.
Pisón	Para que se acomode el material en todo el molde y ayudando a sacar el aire.
Plastilina	Para poner el borde de los moldes para evitar filtraciones de material.
Capsulas de porcelana	Para poder verter el catalizador que se usara.
Probeta	Se utilizó para poder verter la resina en la mezcla.
Bascula	Se ocupo para determinar la cantidad de material que se ocupó durante la mezcla.
Franela	Su uso fue para limpiar los moldes, la mesa de trabajo y herramienta que se utilizó durante el proceso.
Mesa de trabajo	Lugar donde se realizaron los especímenes
Maquina universal	Para probar los especímenes para determinar su esfuerzo a compresión.

Una vez que se tiene preparado el lugar de trabajo con materiales, herramienta y equipo, se procedió a realizar los especímenes, en donde de manera resumida se comenzó limpiando los moldes y asegurando los moldes;

Para realizar la mezcla se inició colocando los materiales a utilizar en las charolas y la resina en las probetas, se pesan, se revolviaron con ayuda de las espátulas hasta que se obtuvo una mezcla, se vertió el catalizador y se llenó hasta a la mitad del molde, se apisonó y se continuó a rellenando hasta cubrir el espacio faltante, se enrasó con la espátula de cuchillo, y por último se dejó fraguar y a las 24 horas se desmoldaron y se marcaron para identificarlos.

El procedimiento previamente descrito es a grandes rasgos lo que se realizaba para obtener lo especímenes, en algunas mezclas tenía ligeros cambios debido a que la consistencia era variable por el contenido de resina, porque podíamos obtener una mezcla muy fluida hasta una con más consistencia, parecida a una pasta, estos procesos y estas características se describen de forma más extendida en el paso 4.

### 2.3. Paso 3.- Dosificaciones

Para este estudio y encontrar características de este compósito, se realizó una serie de dosificaciones de los diferentes materiales que se utilizaron, las combinaciones que se hicieron se basaron en conocer cómo se comportaba la resina por si sola, posteriormente se combinó resina con cal, reduciendo el porcentaje de resina que se utilizó, seguido de hacer combinaciones entre la resina y el carbonato de calcio donde se llevó a cabo más especímenes con diversas dosificaciones y por último se combinó resina con calcita-arena.

Para reconocer los especímenes se nombraron por sus componentes y el porcentaje usado en la mezcla, se utilizaron la primera letra de los materiales que se manejaron, del material resina se usó la letra (R), para la cal fue la letra (C), por su parte la calcita se ocupó (CC), para poder diferenciarla, y para el caso de la arena se manejó la letra (A) y por último el material cemento fueron las primeras 3 letras de la palabra (Cem), y para identificar de que está compuesto el espécimen se colocan las combinaciones de letras para reconocerlo y a esa combinación de letras se les agrega en dígitos de dos números el porcentaje de contenido en el espécimen.

- Resina.

En la Tabla 3 muestra la dosificación utilizada para hacer un espécimen de Resina (R) con un contenido al 100% sin combinación con ningún otro material.

Tabla 3. Dosificación de muestra con resina al 100% R100

<b>Mezcla</b>	<b>Material</b>	<b>Resina</b>	<b>Catalizador</b>	<b>Total</b>
<b>R100</b>	Peso (g)	140	1.6	141.6
	Porcentaje (%)	98.9	1.1	100.0

- Resina con cal

En la Tabla 4 se registró las cantidades para realizar un espécimen cubico recordando las dimensiones de 5 cm. por cada lado, a base de Resina (R) y Cal (C) 52 y 48 % respectivamente y otro espécimen de Resina (R) y Cal (C) con proporción 50-50% respectivamente, pero con la particularidad de no agregar el catalizador.

Tabla 4. Muestras de Cal RC5248 Y RC5050

<b>Mezcla</b>	<b>Material</b>	<b>Resina</b>	<b>Cal</b>	<b>Catalizador</b>	<b>Total</b>
RC5248	Peso (g)	120	107.4	1.4	228.8
	Porcentaje (%)	52.45	46.94	0.61	100
RC5050	Peso (g)	102.2	101.3	0	203.5
	Porcentaje (%)	50.24	49.76	0	100

- Resina con calcita.

En la Tabla 5 están las cantidades que se utilizaron para realizar las diferentes dosificaciones de la combinación de Resina (R), con Calcita (CC) con diferentes contenidos en 50-50%, respectivamente, así como Resina con Calcita en 40-60%, 35-65% y 30-70% respectivamente para cada uno.

Tabla 5. Dosificaciones realizadas con calcita.

<b>Mezcla</b>	<b>Material</b>	<b>Resina</b>	<b>Calcita</b>	<b>Catalizador</b>	<b>Total</b>
RCC5050	Peso (g)	122.28	123.90	1.58	247.76
	Porcentaje (%)	49.35	50.01	0.64	100.00
RCC4060	Peso (g)	105.27	157.10	1.37	263.73
	Porcentaje (%)	39.91	59.57	0.52	100.00
RCC3565	Peso (g)	91.75	170.07	0.97	262.78

	Porcentaje (%)	34.91	64.72	0.37	100.00
RCC3070	Peso (g)	79.55	185.03	0.80	265.38
	Porcentaje (%)	29.98	69.72	0.30	100.00

- Resina con calcita y arena

En la Tabla 6 se muestran 3 diferentes mezclas, en las cuales las cantidades representan para la creación de un solo espécimen cubico, el primero está conformado por Resina (R), Calcita (CC) y Arena (A) con un porcentaje de 40%, 46% y 14% respectivamente de los materiales, el segundo de conformado por los mismos 3 materiales, con una cantidad de 30%, 46% y 24% respectivamente de los materiales y por último el espécimen compuesto a base de Resina (R) con un 30%, Calcita (CC) con un 30% y Arena (A), hecho con un 40%.

Tabla 6. Dosificaciones calcita-arena.

Mezcla	Material	Resina	Calcita	Arena	Catalizador	Total
RCCA404614	Peso (g)	113.33	131.08	38.70	1.17	284.28
	Porcentaje (%)	39.87	46.11	13.61	0.41	100.00
RCCA304624	Peso (g)	85.7	133.3	66.7	0.9	286.6
	Porcentaje (%)	29.90	46.52	23.26	0.33	100.00
RCCA303040	Peso (g)	85.7	83.3	116.67	0.9	286.6
	Porcentaje (%)	29.90	29.08	40.71	0.31	100.00

- Mortero tradicional cemento-arena

La Tabla 7, dosificación de este tipo de mortero a base de Cemento (Cem) y Arena (A), en la cual se desarrolló conforme a las cantidades establecidas en la norma ASTM C 109, y para desarrollar un espécimen se muestra las cantidades a continuación.

Tabla 7. Dosificaciones Cemento- Arena

Mezcla	Cantidad de material	Cemento (g)	Agua (ml.)	Arena (g)	Total
CemA	Peso	111.11	70.00	304.44	485.55
	Porcentaje (%)	22.88	14.42	62.70	100.00

## 2.4. Paso 4.- Caracterización de materiales.

En este punto se describen las pruebas que se realizaron para caracterizar el material.

- Prueba de fluidez.

Antes de realizar los especímenes se realiza una prueba para conocer la fluidez que puede obtener el material y tener un parámetro más para la caracterización del material que estamos trabajando y poder entender su comportamiento.

Esta prueba se realiza en la mesa de fluidez circular, en donde el material se vierte en un anillo, se apisona y se retira el anillo para poder medir su diámetro principal; con ayuda de una manivela en la mesa se gira para que el material se empiece extender y ver su diámetro final y poder realizar los cálculos necesarios para la obtención de la fluidez del espécimen.

- Prueba a compresión.

Al haber creado especímenes cúbicos con caras de 5 cm, fue favorable para obtener la resistencia a compresión, porque estos especímenes se colocaron dentro de la maquina universal y al aplicarse una carga ( $F$ ) en (kN) y teniendo el área ( $A$ ) de carga ( $\text{cm}^2$ ) y de acuerdo a norma ASTM C 109, se puede obtener la resistencia a compresión con la siguiente formula:  $\sigma = \frac{F}{A}$  (ASTMC109).

Donde:

$\sigma$ , es el esfuerzo en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$F$ , es la fuerza o la carga ultima que nos arroja la maquina universal en kN.

$A$ , es el área de contacto donde fue aplicada la Fuerza en  $\text{cm}^2$ .

Para la obtención de resultados de manera correcta en cuestión de las dimensiones, hay que hacer una conversión de kN a kgf, debido a que el resultado de la carga la maquina universal nos da la carga en kN, y conociendo que 1 kN equivale a 101.97 kgf, es simplemente multiplicar el resultado obtenido por la maquina universal por el equivalente para tener las unidades de manera correcta.

Estas pruebas se realizaron a la variedad de especímenes, consiguiendo los resultados a través de las diferentes edades en las que se hicieron las pruebas a 24, 72 y 168 horas, con algunas variaciones.

- Desgaste de los ángeles.

La prueba fue realizada en base al Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales PLAN ING14 (Martines Angeles , 2020), en la cual se realizaron especímenes cúbicos de 5 cm por lado, con mezclas de Cem-A tradicional para compararlo con Resina (R) y Calcita (CC) en 30-70%, estos se introducen junto con unas bolas de acero que se introducen los dos para poder realizar la prueba que se realizó en la máquina de los ángeles del laboratorio de Ingeniería de materiales de la Universidad Autónoma de Querétaro. En la Figura 2, se muestra cómo se realizó la prueba.



*Figura 2. Desgaste de los ángeles.*



*Figura 3 Máquina para prueba de desgaste de los ángeles en laboratorio UAQ*

### 3. Resultados

Los resultados se dividían en varias secciones dentro de este tema, primero hablaremos de cómo se comportaron, durante su fabricación, su tiempo de fraguado, color, consistencia, trabajabilidad, o alguna otra característica que se observó durante su experimentación.

En la siguiente sección, ya que entendemos cómo se comportó cada mezcla se procederá a ver su comportamiento en la prueba de resistencia a compresión de cada uno y observar su comportamiento.

Y por último ya que conocimos su comportamiento a compresión, se seleccionó un tipo de mezcla para realizarle una prueba de desgaste de los ángulos para poder conocer un poco más sobre su comportamiento, la cual se explicará detalladamente como se realizó y cuáles fueron los resultados obtenidos.

#### 3.1. Caracterización de los especímenes

##### 3.1.1. Resina.

En la Figura 4 se observa la resina con un tono rosa dentro de la probeta ya con la cantidad de 140 g a utilizar para hacer el espécimen de resina con 100% (R100) en la mezcla, solo agregando la cantidad de 1.6 g de catalizador recomendada para que se pueda realizar la reacción que active en endurecimiento del material.



*Figura 4. Resina*

Una vez que se mezclaron la resina y el catalizador, se vierten en los moldes cúbicos para poder formar nuestro espécimen R100, el cual no tiene un cambio de color drástico con respecto al color original de la resina, y en la forma de mezclado fue manual mediante unas espátulas, la cual fue de manera sencilla y rápida, para este caso no fue necesario apisonarlo, debido a que la mezcla era de consistencia muy fluida y se acomodó de buena manera dentro del molde, por su parte lo que si se necesito fue sellar la parte externa de los moldes con plastilinas para evitar filtraciones y se perdiera material y afectara la forma final del cubo;

En la Figura 5 se muestra el espécimen cubico ya desmoldado a las 24 horas, en el que se observó que no hubo cambios en el color, tiene apariencia cristalina, a simple vista parece un material frágil que se puede romper o que se puede maltratar con cualquier contacto, lo cual no sucede, ya que es todo lo contrario.



*Figura 5. Especimen de R100.*

### 3.1.2. Resina con cal

- RC5248

En la Figura 6 se observó la consistencia al mezclar 120 g de Resina y 107.4 g de Cal y 1.4 g de catalizador para formar el espécimen RC5248 (52% de Resina y 48% de Cal), para conseguir se vertió la cal y se hizo un hizo abrió una especie de hueco formado por la cal para verter la resina y proceder a revolver manualmente con las espátulas hasta lograr una mezcla y después agregar la cantidad de catalizador para terminar de conformar la mezcla como de la figura, la cual se describió como chiclosa, pastosa, color café a pesar de ser blanca la cal y la resina en tono rosado, ya que se obtuvo esta, se procede a verter en el molde y en



este caso se rellenó por la mitad y se empezó apisonar para acomodar dentro del molde, aquí ocurrió una situación en la cual por el tipo de mezcla, al apisonar se pegaba al pisón y no se acomodaba, por lo que se hizo fue dar golpes despacio para evitar esa situación y dio mejor resultado.



*Figura 6. Mezcla Resina-cal RC5248*

La Figura 7 nos muestra el espécimen en el molde a las 24 horas de haberse fraguado, ya se encontraba totalmente endurecido, no tuvo ninguna complicación para desmoldar, cabe recalcar que no se usó ningún tipo de desmoldante para esta investigación y el proceso para desmoldarlo fue retirar los seguros, abrir el molde, en dado caso que no se pudiera dar un golpe para poder abrirlo y esto no dañó nunca a ningún espécimen.

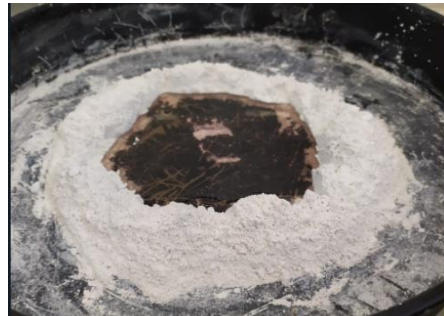


*Figura 7. Especimen Resina-Cal RC5248*

- RC5050

El proceso para la creación de este espécimen, con las cantidades de 102.2 g de Resina ocupando un 50% del total de la mezcla y 101.3 g de cal utilizando el otro 50% restante, el proceso para la realización fue de la misma forma que el modelo anterior, solo que en este ejemplo no se utilizó el catalizador debido a que se quería comparar el tiempo de fraguado, se obtuvo una masa pastosa, pegajosa.

Como se observa en la Figura 8 se hace una especie de contorno hecho del material de refuerzo y en la parte de en medio se rellena de la resina y se va mezclando poco a poco por medios manuales con ayuda de las espátulas, el no utilizar el catalizador no influye en la consistencia antes de endurecimiento.



*Figura 8. Procedimiento Resina cal RC5050*

En la Figura 9 se muestra el espécimen desmoldado a las 24 horas, sin ninguna complicación, aunque a simple vista parece que, si endureció, simplemente quedo como una masa en forma cubica, ya que su consistencia parecía tipo plastilina que se deformaba con el contacto sin poner ninguna resistencia.



*Figura 9. Especimen Resina cal RC5050*

### 3.1.3. Resina con calcita

- RCC5050

Se continuó la experimentación con la combinación de resina con calcita en la cual se utilizaron 122.28 g de resina y 123.9 g de calcita y 1.58 g de catalizador para crear RCC5050, en la que en la Figura 10 se observa el proceso que fue la colocación de la calcita en una charola, se hace un contorno con el material y en la parte de en medio se empezó a verter la resina poco a poco y mezclando con la ayuda de las espátulas.



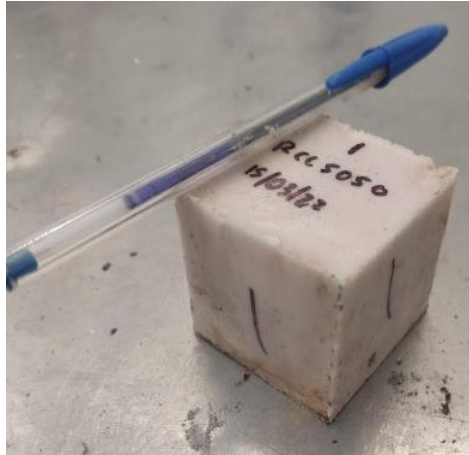
*Figura 10. Procedimiento resina calcita RC5050*

Se continuando hasta conseguir una mezcla que en este espécimen fue muy líquida de tipo lechada que se utiliza en la industria de la construcción de cemento-arena, solo que esta es de color blanca, para el llenado de los moldes no se utilizó el pisón debido a ser muy fluida no era necesaria y solo fue necesario verter la mezcla dentro de los moldes como en la Figura 11.



*Figura 11. Consistencia de mezcla Resina calcita RC5050*

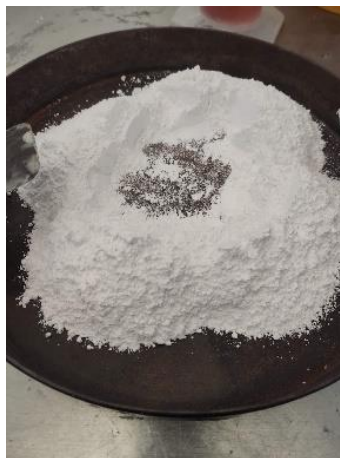
La Figura 12 observamos el espécimen cubico a las 24 horas de haber endurecido, ya desmoldado sin ningún tipo de problema y rápido, en este vemos que su color es blanco, solido, y de buen aspecto.



*Figura 12. Especimen Resina calcita RCC5050*

- RCC4060

La segunda mezcla realizada con la combinación de estos materiales fue que se disminuía la resina y se aumentaba el contenido de calcita, las cantidades para realizar un espécimen cubico de 5 cm por lado fue de 105.27 g de resina (40% del total de la mezcla) y el otro 60% de calcita con 157.10 g y ocupando 1.37 g de catalizador, en la Figura 13 muestra el proceso para la realización fue el mismo que el anterior, haciendo un contorno con la calcita dentro de la charola y se comenzó a verter poco la resina y revolviendo con ayuda de las espátulas, y al final agregando el catalizador.



*Figura 13. Procedimiento resina Calcita RCC4060*

Una vez llegando a obtener una mezcla en la Figura 14 que fue no tan fluida como la anterior, pero sin llegar a ser una pasta, al rellenar los moldes no hubo complicaciones porque solo fue verterlo hasta llenarlo, sin necesidad de apisonarlo ni de enrasar.



*Figura 14. Consistencia mezcla Resina Calcita RCC4060*

La Figura 15 muestra el espécimen pasadas las 24 horas de endurecimiento, se procede a desmoldar el espécimen y se obtiene un cubo de color blanco, sin ninguna fisura u oquedad, por lo cual el proceso se realizó de manera correcta, también el aspecto que tiene es un color blanco, al tocarlo se siente muy macizo, duro y no se llega a sentir que se desmorona.

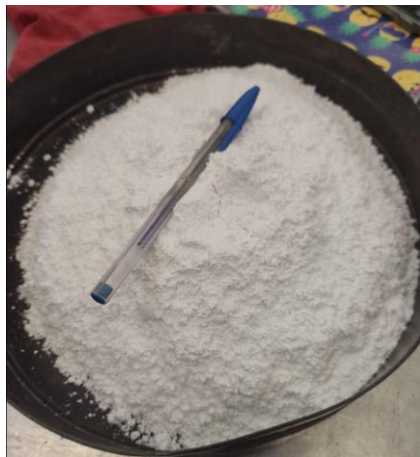


*Figura 15. Especimen Resina Calcita RCC4060*

- RCC3565

Para la tercera elaboración de muestras de resina con calcita se utilizó para la creación de un espécimen la cantidad de 91.75 g de Resina utilizando el 35% total de la

mezcla, mientras que se empleó 170.07 g de calcita ocupando el 65 % restante de la mezcla y por su parte de catalizador fue 0.97 g. El proceso de realización la podemos ver en la Figura 16 en la cual se replicó el proceso para realizar la mezcla.



*Figura 16. Calcita para la muestra RCC3565*

Para esta mezcla se obtuvo la particularidad de se obtuvo mayor consistencia de la revoltura más viscosa que las anteriores como se muestra en la Figura 17.



*Figura 17. Consistencia mezcla Resina Calcita RCC3565*

Para este se tuvo que rellenar los moldes a la mitad y apisonar no tan fuerte para evitar que se pegara el material en el pisón y no funcionara de manera correcta dejando oquedades; la Figura 18 se muestra el espécimen a las 24 horas de vida obteniendo un cubo de color blanco, de aspecto duro, macizo, con un acabado en la superficie muy lisa, sin oquedades o fisuras que sean notables o afecten su estructura.



Figura 18. Espécimen Resina Calcita RCC3565

- RCC3070

La última mezcla del compuesto de resina con calcita, esta fue realizada con las cantidades para realizar un solo espécimen de 79.55 g de resina, 185.3 g de calcita y 0.80 g de catalizador, en donde el porcentaje utilizado fue de 30% de resina y 70% por la calcita, en la Figura 19 muestra que el proceso no implica un gran cambio, solo que al tener una gran cantidad de material de calcita y menos cantidad de resina para realizar la mezcla, fue es el más complicado de todos, debido a que hay que hacer que los materiales se unan es más tardado usando espátulas para revolver.



Figura 19. Material Resina Calcita RCC3070

En la Figura 20 muestra la consistencia de esta mezcla es la más parecida que obtuvimos a un mortero tradicional que se usa cotidianamente en la industria de la construcción, una masa bien formada, sin desintegrarse, concisa, es una pasta que es muy



trabajable y más porque este tipo de consistencia es muy común, para el proceso de hacer los cubos, los moldes previamente listos, se rellenaron por mitad y con el pisón de manera normal se acomodó en el molde, se llenó por completo y se enraso sin ningún problema, sin segregación y sin pérdida de material.



*Figura 20. Consistencia mezcla Resina Calcita RCC3070*

En la Figura 21 es el espécimen RCC3070 desmoldado a las 24 horas de edad mostrando características como que quedó color blanco y a pesar de que la mezcla contiene un 70 % de elemento particulado, su aspecto y su superficie no son ni rugosas ni ásperas, el acabado se siente liso, de buena calidad en todos sus lados y no presenta oquedades o fisuras que afecten la apariencia o su resistencia.



*Figura 21. Especimen Resina Calcita RCC3070*



#### 3.1.4. Resina con calcita y arena.

Al ver un buen comportamiento de las mezclas de resinas con calcita, se buscó una forma de obtener más volumen de la mezcla agregando otro elemento particulado, la arena para que en esta investigación cumpla una función similar a la que es usada en el concreto para poder dar consistencia y volumen a la mezcla.

- RCCA404614

Al tener ya una base del comportamiento de resina con calcita, se optó por empezar haciendo una mezcla en donde los elementos particulados sumaran el 60% del total de la mezcla y completando con un 40% de resina, para la primera combinación de calcita y arena, se optó por empezar con una tercera parte de lo que se utilizó de calcita, es decir se ocupó 131.08 g de calcita, mientras que de arena se utilizó 38.70 g de arena y 113.33 g de resina para la creación de un solo espécimen, por lo que se utilizó resina 40%, calcita 46% y arena el 14 % del total de la mezcla.

El proceso de para la fabricación del espécimen, cambia al inicio, primero porque la arena que se obtuvo venía contaminada con diferentes partículas de diferentes tamaños, por lo que antes de utilizarla en la experimentación, se tuvo que limpiar mediante el proceso de cernir, que este consisten en pasar la arena por la malla no 40 para solo eliminar el material que no nos sirve, una vez teniendo la arena limpia o cernida, está lista para ser utilizada en la experimentación, para esto se coloca dentro de una charola la calcita, seguido de la arena y se revuelven los materiales hasta tener una material homogenizado que resultó ser de color predominante blanco aunque se logra observar el color café debido a la arena.

Una vez aquí el proceso se repitió como se muestra en la Figura 22, se volvió hacer el contorno con el material, y en el centro se vertió la resina y se revolvió con ayuda de las espátulas hasta conseguir la mezcla, la cual fue rápido, sin complicaciones que pudieran perjudicar el uso.



*Figura 22. Procedimiento para Resina Calcita Arena RCCA404614*

En la Figura 23 La consistencia resultante fue muy fluida y se torna a color café, aunque la proporción usada es un 14% del total utilizado, continuando el proceso se rellenaron los moldes, de manera rápida y sencilla.



*Figura 23. Consistencia mezcla Resina Calcita Arena RCCA404614*

La Figura 24 muestra el espécimen de la mezcla RCCA404614, en esta ocasión tardaron 96 horas (4 días) en poder desmoldarlos sin que sufrieran alguna alteración, esto fue a las 24 horas la parte superior que queda al aire libre se continuo sintiendo fresco, no había endurecido a las 24 horas como lo venía haciendo los demás especímenes trabajados, y se estuvo monitoreando a las 48 horas y 72 horas para ver su evolución y hasta las 96 horas pudo ser desmoldado.

Aunque si presento ciertas oquedades en algunas caras del cubo y en la parte superior quedaron endurecidas unas burbujas que afectaban el acabado, su textura se sentía un poco áspera y el color era un café claro, pero con manchas de un color café más oscuro, el cual de apariencia no era la óptima.



Figura 24. Espécimen Resina Calcita Arena RCCA404614

- RCCA304624

La segunda tanda de muestras para ensaie se realizaron con la modificación de aumentar el porcentaje de arena y disminuir la cantidad de resina, para esto las cantidades que se usaron para la creación de un solo espécimen es de Resina 85.7 g calcita 133.3 g y arena 66.7 g y de catalizador 0.9 g, dando como resultado una mezcla con 30% de resina, 46% de calcita y 24 % de arenas, dando resultado RCCA304624.

Para el procedimiento se realizó el mismo procedimiento, que consistía en cernir la arena, en la Figura 25 muestra que se continuó con la homogenización de la arena y calcita, y realizando el borde con el material en el recipiente.



Figura 25. Material Calcita Arena RCCA304624

Por otro lado, en la Figura 26 vertiendo la resina, revolviendo con ayuda de las espátulas, hasta obtener un material homogéneo junto con la arena.



*Figura 26. Material Resina Calcita Arena RCCA304624*

Esta mezcla resultó ser una pasta parecida a la de un mortero tradicional, en el que destaca visualmente es su color café, así como que no tendía a expandirse como se muestra en la Figura 26.



*Figura 27. Consistencia mezcla Resina Calcita Arena RCCA304624*

Continuando con el proceso se rellenó los moldes primero con la mitad y se apisonaba para terminar de acomodar el material, se rellena por completo, se vuelve apisonar y por último se enraso para darle acabado al material, aquí cabe destacar que la mezcla ya en el molde empezó a brotar burbujas, aunque se retiraron, con el proceso de fraguado, volvieron aparecer, afectando su acabo al momento de desmoldar.

A las 24 horas de edad del espécimen se inició con el proceso de desmoldamiento, notándose en la parte que quedaba expuesta su superficie se sentía rugosa y con pequeños agujeros provocados por las burbujas que aparecían al inicio del fraguado, pero de ahí todas las caras restantes el acabado fue liso y con apariencia tipo pulido, resaltando el color café fuerte en todo el espécimen sin manchas de ningún otro color como se muestra en la Figura 28.

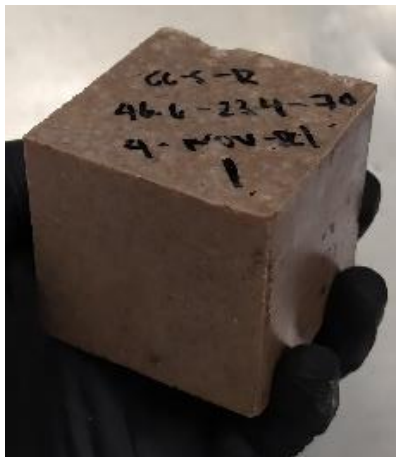


Figura 28. Especimen Resina Calcita Arena RCCA304624

- RCCA303040

La tercera dosificación combinando 3 materiales se optó por hacer una mezcla en donde el mayor porcentaje fuera la arena, como lo es en un concreto tradicional donde uno de los materiales que aportan más en la mezcla, es por eso que las cantidades fueron 85.7 g de resina, 83.3 g De calcita y 116.67 g de arena, así como 0.9 g de catalizador para realizar un solo espécimen de la mezcla RCCA303040.

En la Figura 29 se muestra que, en esta mezcla, se realizó el mismo procedimiento ya descrito en las anteriores dosificaciones de Resina-Calcita-Arena, cernir, homogenizar, agregar resina, revolver, agregar catalizador, en pocas palabras el proceso realizado, que no tuvo ninguna complicación como se muestra en la Figura 30.



*Figura 29. Calcita-Arena*



*Figura 30. Materiales para el espécimen Resina-Calcita-Arena RCCA303040*

Una vez obtenida la mezcla, la Figura 31 muestra que está destacaba por tener una consistencia un poco pastosa, viscosa y tendía a irse expandiendo hasta topar con un borde.



*Figura 31. Consistencia mezcla Resina-Calcita-Arena RCCA303040*

Continuando se rellenaron los moldes replicando el procedimiento, se rellena la mitad, se apisona, se completa y se enrasa, en esta ocasión no mostró burbujas o alguna otra cosa en particular que llamara la atención.

La Figura 32 muestra a las 24 horas de edad del espécimen, se procedió a desmoldar, pero con la novedad de que no había fraguado y había perdido material, debido a filtración, se continuó monitoreando unos días más para conocer cuánto tiempo tardaba en fraguar y la mezcla nunca endurecida en 4 días.





*Figura 32. Espécimen Resina Calcita Arena RCCA304624*

### 3.1.5. Mortero tradicional cemento-arena.

Para tener un valor comparativo entre las diversas dosificaciones usadas en esta experimentación, se tuvo que hacer un mortero tradicional, con las dosificaciones establecidas por norma ASTM C 109, y se realizó bajo el mismo procedimiento marcado en esta norma, y así poder tener un valor de referencia ya conocido y ver las características que obtuvimos del material propuesto.

Las dosificaciones utilizadas para realizar un espécimen de mortero tradicional, son 111.11 gr. de cemento gris tipo CPC y de la marca que se utilizó Cemex, 70 ml de agua y 304.44 g de arena.

El proceso fue hacer un borde del material homogenizado entre el cemento y la arena dentro de una charola para después ir agregando agua e ir revolviendo hasta ir obteniendo la mezcla, esta mezcla es de color gris, aunque predomine la arena, esta no cambia de color, es una pasta semifluida que se conoce bien dentro de la construcción, se prosiguió rellenando los moldes a la mitad y apisonando, a completándolos y enrasándolos, a las 24 horas de edad se desmoldan y en esta parte podemos notar como estos morteros se sienten ligeramente ásperos, terrosos, y se toca muy fuerte con la mano se puede ir disgregando este material.

## 3.2. Resultados de pruebas

### 3.2.1. Prueba de fluidez.

La primera prueba realizar al espécimen es la de fluidez, que se realizó una vez que tuvimos la mezcla lista para hacer las probetas, esto para obtener una mejor caracterización, ampliar la información y conocer mejor su comportamiento del material, es la prueba de fluidez, que se realiza normalmente a morteros tradicionales y dependiendo de su resultado es el uso que se le puede dar.

Para conocer la fluidez de nuestro material compuesto, se realizó la prueba a la combinación entre resina y carbonato de calcio, por lo que se hicieron 4 muestreos, de los especímenes de RCC5050 (Resina en 50%, Calcita 50%), RCC4060, (Resina en 40%, Calcita 60%), RCC3565 (Resina en 35%, Calcita 65%), RCC3070 (Resina en 30%, Calcita 70%).

Al realizar esta prueba como se muestra en la Figura 33, se necesita el equipo necesario, que es la mesa de fluidez, el cono donde se vierte en dos partes la mezcla, el pisón para apisonar la mezcla en el cono y que se acomode mejor y se enrasa la superficie, se retira el cono y se empieza a dar vuelta 25 veces en 15 segundos.



*Figura 33 Prueba de fluidez para los especímenes de Resina con calcita*

Al momento de hacer esta prueba el platillo de la mesa de fluidez era muy pequeño ya que todos los especímenes tendían a expandirse y antes de realizar las vueltas, ya cubría el platillo, por lo que si se realizaba la prueba podría desbordarse el material, como se muestra en la Figura 34.





*Figura 34 Prueba de fluidez en proceso.*

### 3.2.2. Prueba a compresión

#### 3.2.2.1. Resina.

La Tabla 8 muestra los resultados a compresión de la prueba que se le realizo al espécimen R100 a la edad de 24 horas, en donde se obtuvo la maquina universal marco la cantidad de 100.542 kN, dando como resultado un esfuerzo de compresión de 410.09 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 8. Resultados R100*

<b>Mezcla</b>	<b>Espécimen</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Carga ultima (kN)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
R100	1	1	100.542	25	410.09

La Figura 35 muestra el espécimen antes de ser probado en la maquina universal, la Figura 36 es el resultado que nos arrojó la maquina universal y por último la Figura 37 es el espécimen R100 en el que se ve cómo se fracturo la muestra dejando ver que se ve cristalizado.

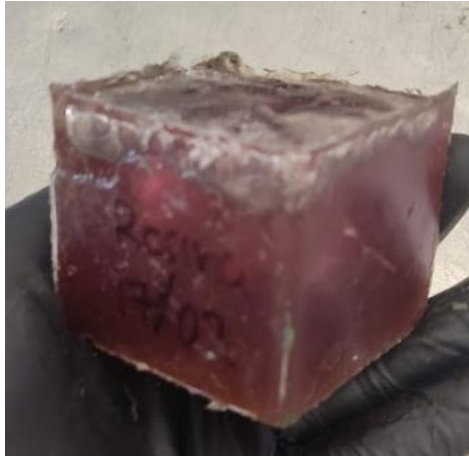


Figura 35 Espécimen R100 para prueba.



Figura 37 Falla del espécimen R100



Figura 36 Resultado de prueba espécimen R100

### 3.2.2.2. Resina con cal

- RC5248

La Tabla 9 muestra el resultado a compresión del espécimen RC5248, a la edad de 24 horas (1 día) por lo que su carga ultima registrada por la maquina universal fue de 61.61 kN, dando como resultado un esfuerzo a la compresión de 251.29 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 9. Resultado a compresión del espécimen RC5248

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	Carga ultima (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
RC5248	1	1	61.61	25	251.29

La Figura 38 se muestra el espécimen RC528 antes de ser probado en la maquina universal para obtener su esfuerzo a compresión, la Figura 39 muestra el espécimen ya fallado en la cual se notan las fisuras típicas a compresión y se puede observar que al abrirse las fisuras sale el material de la calcita.



Figura 38 Espécimen RC5248 para prueba.



Figura 39 Falla del espécimen RC5248

- RC5050

La Tabla 10 muestra los resultados del espécimen RC5050, este debido a que no se utilizó catalizador no se pudo endurecer y obtener un resultado.

Tabla 10. Resultados del espécimen RC5050

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	Carga ultima (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo compresión (kg/ cm <sup>2</sup> )
RC5050	1,2,3	1	0	25	0

La Figura 40 es el espécimen cubico RC5050 que, si logro formarse, pero al ponerlo en la maquina universal lo único que se obtuvo fue un aplastamiento y una gran deformación, pero no se obtuvieron resultados Figura 41.



Figura 40. Espécimen RC5050 para prueba



Figura 41. Falla del Espécimen I RC5050.

### 3.2.2.3. Resina con calcita

- RCC5050

La Tabla 11 se muestran los resultados a 24, 72 y 168 horas (1, 3 y 7 días) del espécimen RCC5050, para este se probaron 2 muestras por cada día de prueba, dando resultados promedios de 1262 kg/cm<sup>2</sup> a 24 horas, a las 72 horas incremento a 1316.76 kg/cm<sup>2</sup> y por último a las 168 horas 1243.52 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 11. Resultados RCC5050

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	Carga ultima (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de esfuerzo compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	de a
RCC5050	1	1	301.00	25	1227.72	1262.18	
	2	1	317.90	25	1296.65		
	3	3	319.46	25	1303.01	1316.76	
	4	3	326.2	25	1330.50		
	5	7	304.873	25	1243.52	1243.52	
	6	7		25	0.00		

La Figura 42 es el espécimen ya colocado para probarse dentro de la maquina universal, la Figura 43 es uno de los resultados que arrojó la maquina universal de esta prueba y por último la Figura 44 uno de los especímenes pasada la prueba, viendo las grietas que se le provocaron y también se nota que el espécimen se deformato.



Figura 42. Especimen RCC5050 para prueba.



Figura 43. Resultados de la prueba RCC5050



Figura 44. Falla del espécimen RCC5050.

- RCC4060

La tabla 12 muestra a manera de resumen los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizó al espécimen RCC4060 en la cual a promedio a las 24 horas se obtiene un resultado de 886.94 kg/cm<sup>2</sup>, a las 72 horas de 966.49 kg/cm<sup>2</sup> y a las 168 horas 1016.26 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 12. Resultados obtenidos de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC4060.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	Carga		Esfuerzo Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de esfuerzo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
			Ultima (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )		
RCC4060	1	1	214.01	25	872.90	886.94
	2	1	220.89	25	900.97	
	3	3	239.54	25	977.04	966.49
	4	3	234.37	25	955.95	
	5	7	242.537	25	989.26	1016.26
	6	7	255.777	25	1043.26	

La Figura 45 es el espécimen ya listo dentro de la maquina universal para realizar la prueba, la Figura 46 es uno de los resultados que arrojo la maquina universal al finalizar la prueba y por último la Figura 47 es el espécimen una vez finalizado la prueba, cuando ya fallo el elemento, en el cual destacan sus grietas características de un elemento cuando fallo por compresión.



Figura 45 Espécimen RC4060 para prueba.



Figura 46 Resultados de la prueba RCC4060



Figura 47 Falla del espécimen RCC4060

- RCC3565

La tabla 13 muestra a manera de resumen los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC3565 en la cual a promedio a las 24 horas se obtiene un resultado de 734.89 kg/cm<sup>2</sup>, a las 72 horas de 782.45 kg/cm<sup>2</sup> y a las 168 horas 979,97 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 13. Resultados obtenidos del espécimen RCC356.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	Carga Ultima (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de esfuerzo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
RCC3565	1	1	178.037	25	726.18	734.89
	2	1	182.31	25	743.61	
	3	3	198.207	25	808.45	782.45
	4	3	185.462	25	756.46	
	5	7	267.521	25	1091.16	979.97
	6	7	213	25	868.78	

La Figura 48 es el espécimen ya colocado y listo para probarse dentro de la maquina universal, la Figura 49 es uno de los resultados que arrojo la maquina universal al realizar la prueba y por último la Figura 50 uno de los especímenes finalizada la prueba, viendo cómo se deforma y las grietas que se forman son muy superficiales.





Figura 48 Espécimen RCC3565 para prueba.



Figura 49 Resultados de la prueba RCC3565



Figura 50 Falla del espécimen RCC3565

- RCC3070

La tabla 14 muestra a manera de resumen los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizó al espécimen RCC3070 en la cual a promedio a las 24 horas se obtiene un resultado de 823.61 kg/cm<sup>2</sup>, a las 72 horas de 836.32 kg/cm<sup>2</sup> y a las 168 horas 1031.14 kg/cm<sup>2</sup>.



Tabla 14 Resultados obtenidos del espécimen RCC3070.

Mezcla	Especimen	Edad (días)	Carga Ultima (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de esfuerzo a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
RCC3070	1	1	194.62	25	793.82	823.61
	2	1	209.23	25	853.41	
	3	3	198.59	25	810.01	836.32
	4	3	211.49	25	862.63	
	5	7	248.94	25	1015.38	1031.14
	6	7	256.67	25	1046.91	

La Figura 51 es el espécimen ya colocado y listo para probarse dentro de la maquina universal, la Figura 52 uno de los especímenes finalizada la prueba, sin tanta deformación y con grietas y perdida de material superficial que no parece que haya sido sometido a una carga tan elevada.



Figura 51 Especimen RCC3070 para prueba

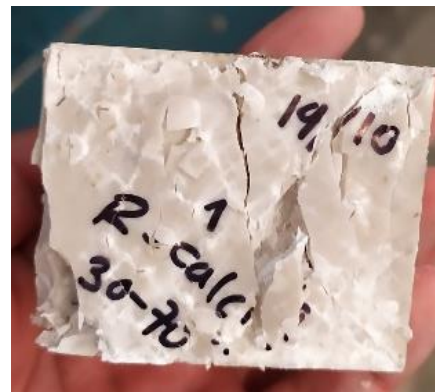


Figura 52 Falla del espécimen RCC3070

### 3.2.2.4. Resina con calcita y arena

- RCCA404614

La tabla 15 muestra de manera resumida los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC404614 como ya se mencionó este espécimen se endureció hasta las 96 horas donde el resultado promedio es 559.89 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 15. Resultados de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC404614.

Mezcla	Espécimen	Edad (días)	Carga última (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo compresión (kg/ cm <sup>2</sup> )	Promedio del Esfuerzo compresión (kg/ cm <sup>2</sup> )
RCCA404614	1	4	137.05	25	559.00	559.89
	2	4	137.75	25	561.85	
	3	4	137.01	25	558.84	

La Figura 53 es el espécimen listo para realizarle la prueba a compresión en la maquina universal, la Figura 54 uno de los especímenes finalizada la prueba, sin tanta deformación y con grietas y perdida de material superficial que no parece que haya sido sometido a una carga tan elevada, después se intentó retirar el material daño lo cual resulto ser difícil con ayuda de herramienta menor.



Figura 53. Espécimen RCCA404614 para prueba

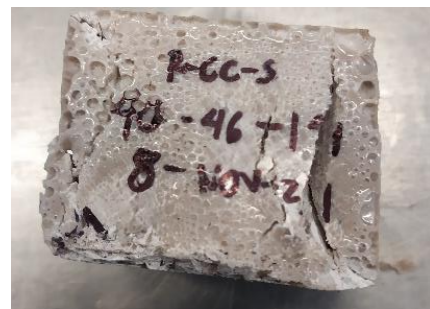


Figura 54. Falla del espécimen RCC3070

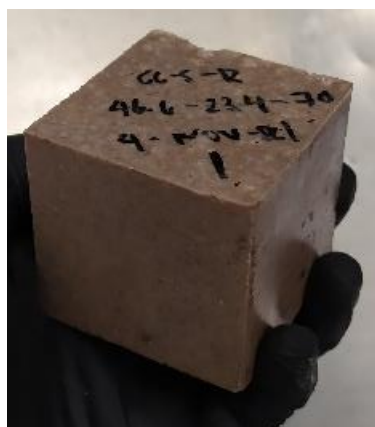
- RCCA304624

La Tabla 16 muestra de manera resumida los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizó al espécimen RCC304624 este se le realizó la prueba a tres especímenes a la edad de 24 horas y su resultado a compresión promedio fue de 274.63 kg/cm<sup>2</sup>.

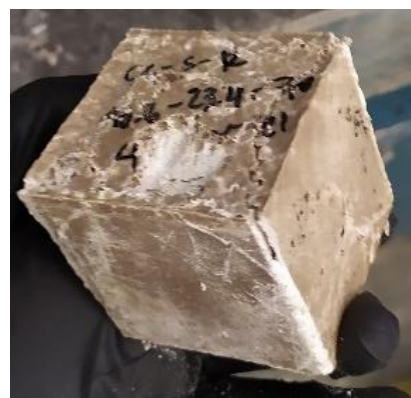
*Tabla 16. Resultados obtenidos del espécimen RCC304624.*

Mezcla	Especímen	Edad (días)	Carga última (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo compresión (kg/ cm <sup>2</sup> )	Promedio del Esfuerzo compresión (kg/ cm <sup>2</sup> )
RCCA304624	1	1	71.09	25	289.96	274.63
	2	1	71.09	25	289.96	
	3	1	59.82	25	243.99	

La Figura 55 es el espécimen listo para realizarle la prueba a compresión en la maquina universal donde se nota el espécimen recién desmoldado, la Figura 56 uno de los especímenes finalizada la prueba, este se observa que se le cayó una parte superficial y en las aristas contaba con ligeras aberturas que no se podían retirar de forma sencilla utilizando herramienta menor.



*Figura 55. Especimen RCCA304624 para prueba.*



*Figura 56. Falla del Especimen RCCA304624.*

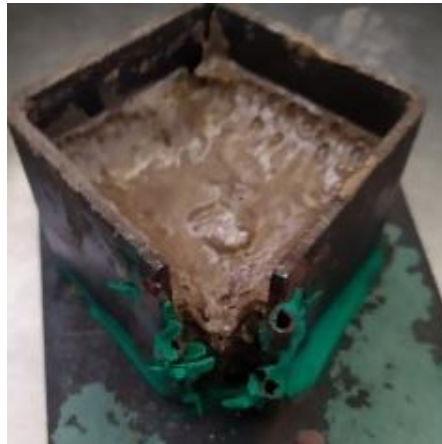
- RCCA303040

La tabla 17 muestra de manera resumida los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizo al espécimen RCC303040 este no se le pudo realizar la prueba dentro la maquina universal debido a que el espécimen no fraguo.

*Tabla 17. Resultados obtenidos del espécimen RCC303040*

<b>Mezcla</b>	<b>Espécimen</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Carga última (kN)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo a Compresión (kg/ cm<sup>2</sup>)</b>
RCCA303040	1,2,3	1	0	25	0

La Figura 57 es el espécimen en el cual no logro endurecer, por lo cual no se le pudo realizar la prueba debida.



*Figura 57. Espécimen RCC303040*

### 3.2.2.5. Mortero tradicional cemento arena.

La tabla 18 los resultados obtenidos de las pruebas a compresión del mortero tradicional cemento arena.

Tabla 18 Resultados obtenidos del espécimen CemA

Mezcla	Especimen	Edad (días)	Carga última (kN)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
CA	1.00	1	0.89	25	3.63	4.85
	2.00	1	0.89	25	3.63	
	3.00	1	1.79	25	7.30	
	4.00	3	8.93	25	36.42	31.56
	5.00	3	7.14	25	29.12	
	6.00	3	7.14	25	29.12	
	7.00	7	10.71	25	43.68	43.67
	8.00	7	10.70	25	43.64	
	9.00	7	10.71	25	43.68	

### 3.2.3. Desgaste de los ángeles

De acuerdo se utiliza para determinar la resistencia a la abrasión para determinar la resistencia a que tanto se puede desgastar el material sin perder su forma y sus propiedades.

Para determinar esta resistencia se necesita ciertos materiales y equipos

- Máquina de los ángeles
- 3 esferas de acero que en total pesaron 1245.2 g.
- Bascula
- Charola
- Cronometro
- Especímenes RCC3070
- Especímenes de mortero cemento-arena.

Para el procedimiento primero se hicieron los especímenes respectivamente de RCC3070 y de mortero de cemento-arena, como se explicaron en el apartado anterior, ya que se comportaron de la misma manera.

En la Figura 58 se muestran los 3 especímenes RCC3070 antes de la prueba de desgaste en la máquina de los ángeles.



*Figura 58 Especímenes para la prueba de los ángeles*

En la Figura 59 se muestran los 6 especímenes de mortero de cemento arena antes de la prueba de desgaste en la máquina de los ángeles.



*Figura 59 Especímenes para la prueba de los ángeles*

Se selecciona los especímenes de una muestra, se pesan y se meten a la máquina de desgaste en donde se hizo la prueba dando 15 repeticiones.

En la tabla 19 se ve la comparación de como quedaron las cantidades antes y despues de la prueba del espécimen RCC3070.

Tabla 19 Pesos de los especímenes RCC3070 antes y despues de 15 Revoluciones.

No.	Espécimen	Peso (g)	Peso(g) despues de 15 Revoluciones
1.00	RCC3070	231.60	229.00
2.00	RCC3070	235.40	234.10
3.00	RCC3070	229.30	227.20

La Figura 60 muestra como quedaron los especímenes RCC3070 despues de la prueba.



Figura 60 Especímenes RCC370 despues de la prueba.

Para el espécimen de cemento con arena, los especímenes se pesaron cuando se desmoldaron, cuando se curaron y despues de la prueba, por lo que en la tabla 20 se muestran estas cantidades, los primeros 3 especímenes se pusieron en la misma prueba y los otros 3 especímenes en una segunda tanda de prueba.

Tabla 20 Pesos de los especímenes CemA antes y despues de 15 Revoluciones.

No.	Espécimen	Peso (g)	Peso Curado (g)	Peso(g) despues de 15 Revoluciones
1.00	CemA	218.20	223.60	149.30
2.00	CemA	227.10	231.30	204.90
3.00	CemA	219.70	225.00	211.60
4.00	CemA	218.10	222.30	135.10
5.00	CemA	228.90	233.80	181.10
6.00	CemA	230.60	235.30	200.80



La Figura 61 muestra como resultaron los especímenes de mortero de cemento arena despues de las 15 revoluciones.



Figura 61 Especímenes CemA despues de la prueba.

Para los cálculos se requiere calcular un porcentaje de humedad con la siguiente formula,  $\%w = \frac{P_w - P_s}{P_s}$  (Martines Angeles , 2020)

Donde:

- % w = porcentaje de humedad.
- Pw= Peso de la muestra húmeda en gramos.
- Ps = Peso de la muestra seca en gramos.

Y para estos cálculos se muestran en la tabla 21 para las muestras de cemento arena ya que estos especímenes si se curaron y este dato se utiliza para hacer una corrección del peso inicial.

Tabla 21 Cálculo de humedad del espécimen CemA

No.	Espécimen	Peso (g)	Peso Curado (g)	Humedad
1.00	CemA	218.20	223.60	2.47
2.00	CemA	227.10	231.30	1.85
3.00	CemA	219.70	225.00	2.41
4.00	CemA	218.10	222.30	1.93



<b>5.00</b>	CemA	228.90	233.80	2.14
<b>6.00</b>	CemA	230.60	235.30	2.04

Para la corrección del peso inicial (P.I.C) se utiliza la formula siguiente  $P.I.C =$

$$\frac{P.I}{1 + \frac{\%W}{100}} \text{ (Martines Angeles , 2020)}$$

Donde:

- P.I.C = Peso inicial corregido en gramos.
- P.I = Peso inicial en gramos
- %w = porcentaje de humedad.

En la tabla 22 se muestra los resultados del mortero cemento arena.

*Tabla 22 Cálculo del PIC del espécimen CemA*

<b>No.</b>	<b>Espécimen</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso Corregido</b>
<b>1.00</b>	CemA	218.20	2.47	212.93
<b>2.00</b>	CemA	227.10	1.85	222.98
<b>3.00</b>	CemA	219.70	2.41	214.52
<b>4.00</b>	CemA	218.10	1.93	213.98
<b>5.00</b>	CemA	228.90	2.14	224.10
<b>6.00</b>	CemA	230.60	2.04	225.99

Una vez teniendo estos datos se puede calcular el desgaste mediante la siguiente

formula.  $D = \frac{Pic - Pf}{Pic} * 100$  (Martines Angeles , 2020)

Donde:

- PIC = Peso inicial corregido de la muestra de prueba en gramos.
- Pf = peso final de la muestra de prueba en gramos.
- D= Desgaste del agregado (%).

Los resultados del porcentaje del desgaste de los especímenes de los morteros de cemento arena se muestran en la tabla 23.

Tabla 23 Cálculo del desgaste del espécimen CemA

<b>No.</b>	<b>Espécimen</b>	<b>Peso Corregido (g)</b>	<b>Peso(g) despues de 15 Revoluciones</b>	<b>Desgaste (%)</b>
<b>1.00</b>	CemA	212.93	149.30	29.88
<b>2.00</b>	CemA	222.98	204.90	8.11
<b>3.00</b>	CemA	214.52	211.60	1.36
<b>4.00</b>	CemA	213.98	135.10	36.86
<b>5.00</b>	CemA	224.10	181.10	19.19
<b>6.00</b>	CemA	225.99	200.80	11.15

Para los resultados del porcentaje del desgaste de los especímenes de los RCC3070 al ponerse en curación los especímenes, no se pudo calcular el porcentaje de humedad y por lo tanto el peso corregido, por lo que la variable se ocupara el peso inicial sin ninguna modificación para este caso. La tabla 24 resume los resultados obtenidos para los especímenes RCC3070.

Tabla 24 Cálculo del desgaste del espécimen RCC3070

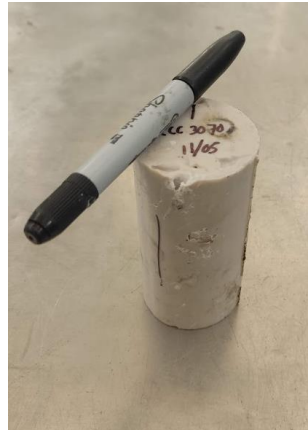
<b>No.</b>	<b>Espécimen</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Peso(g) despues de 15 Revoluciones</b>	<b>Desgaste (%)</b>
<b>1.00</b>	RCC3070	231.60	229.00	1.12
<b>2.00</b>	RCC3070	235.40	234.10	0.55
<b>3.00</b>	RCC3070	229.30	227.20	0.92

#### 3.2.4. Pruebas a tensión

Esta investigación su principal objetivo era caracterizar el composito a base de su resistencia a la compresión, en distintas edades, en diversas proporciones, que generaron una variedad de consistencias del material que generan diferentes comportamientos, pero también se hicieron unas pruebas para seguir caracterizando este nuevo material compuesto, la cual fue la prueba de tensión.

Se realizaron unos especímenes de resina con calcita en un proporcionamiento de 30 y 70% respectivamente, para realizar una prueba de tensión indirecta con un espécimen

cilíndrico de 10 cm de alto y 5 cm de diámetro. La primera muestra cómo se observa en la Figura 62.



*Figura 62 Especimen RCC3070 para prueba brasileña.*

Esta prueba consiste en obtener la resistencia a la tensión, mediante la compresión diametral en especímenes cilíndricos moldeados, con una relación altura/diámetro de 2 a 1, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura. Esta configuración provoca un esfuerzo de compresión uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral (Martines Angeles , 2020).

Para esta prueba se ocupó la maquina universal para realizar dicha prueba, al igual que una base que ayude de soporte inferior asi como también el requerimiento de un soporte superior, asi como lo ilustra la Figura 63.



*Figura 63 Ensayo de tensión indirecta para RCC3070.*

El primer espécimen que se realizó se pudo realizar de buena manera ya que, si obtuvimos un resultado y se obtuvo la falla como se muestra en la Figura 63, y el resultado de la carga máxima fue de 7.62 kN; que este resultado utilizándolo en la ecuación  $T = \frac{2P}{\pi Ld}$  obtenida de (Martines Angeles , 2020).

Donde:

- T= es la resistencia a la tensión por compresión diametral.
- P= es la carga máxima aplicada.
- L= es la longitud promedio del espécimen.
- d= es el diámetro promedio del espécimen.

Teniendo en cuenta que la carga P se obtuvo de la maquina universal, y asi como L y d se obtuvo del espécimen sometido a prueba, por lo cual, al hacer las conversiones necesarias, obtuvimos un resultado a la tensión de 9.88 kg/cm<sup>2</sup>, y en donde la Figura 64 podemos notar como quedo el espécimen una vez probado y fallado.



*Figura 64 Espécimen cilíndrico despues de la prueba.*

Para el segundo espécimen no se logró obtener un resultado, debido a que fallo primero el instrumento de apoyo de medición antes de que fallara el elemento de prueba, por lo cual no se obtuvo un resultado y el espécimen quedo intacto, ya que el fallo ocurrió al poco tiempo de la prueba.

### 3.3.Comparación con materiales que se encuentran en el mercado.

En esta sección se menciona de las principales marcas que son Sika y Fester con sus respectivos productos utilizados a alta resistencia y reparación SikaGrout, SikaMonoTop, y Fester CM-201, Fester Epoxine 300. Los cuales se compararon sus resistencias a compresión en diferentes edades, como se muestran en las siguientes tablas 25, 26, 27 y 28.

*Tabla 25 Resistencia a la compresión del material SikaGrout.*

MATERIAL	Edad	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
		CONSISTENCIA		
		Pasta	Semi-fluida	Fluida
SikaGrout	1 día	325	275	250
	3 días	400	350	320
	7 días	490	425	395
	28 días	525	460	425

*Tabla 26 Resistencia a la compresión del material SikaMonoTop.*

MATERIAL	Edad	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Sika	1 día	170
MonoTop	7 días	400
	28 días	550

*Tabla 27 Resistencia a la compresión del material Fester CM-201.*

MATERIAL	Edad	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Mínimo	Promedio
Fester CM-201	1 día	250	275
	3 días	300	345
	7 días	350	375
	28 días	450	460

Tabla 28 Resistencias a la compresión del material Fester Epoxine 300

MATERIAL	Edad	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Mínimo	Promedio
<b>Fester Epoxine</b>	1 día	650	700
<b>300 Resanador</b>	3 días	700	760

Tabla 29 Resistencias a la compresión de mezcla de Resina con Calcita.

ESPECIMEN	Edad (Días)	PROMEDIO DE COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	A
<b>RCC5050</b>	1	1262.18	
	3	1316.76	
	7	1243.52	
<b>RCC4060</b>	1	886.94	
	3	966.49	
	7	1016.26	
<b>RCC3565</b>	1	734.89	
	3	782.45	
	7	979.97	
<b>RCC3070</b>	1	823.61	
	3	836.32	
	7	1031.14	

#### 4. Discusión de resultados.

Esta investigación tuvo el objetivo de realizar un mortero de resistencia alta a pocos días de fraguado remplazando el uso del cemento por resina. El mortero tradicional que utiliza cemento, arena y agua tuvo una resistencia de 43.7 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de fraguado; luego la resina utilizada por si sola da una resistencia de 410 kg/cm<sup>2</sup> a 1 día; por consiguiente, se procedieron a hacer varias dosificaciones de resina con diferentes materiales utilizados en los morteros como arena, cal y calcita.

Las mezclas de resina con cal (con 52% y 48%, respectivamente) tuvieron una resistencia de 251.29 kg/cm<sup>2</sup> a 1 día de fraguado y cuando fueron cantidades iguales (50 y 50%) ya no hubo fraguado y por ende fue muy deformable. El valor de resistencia de la mezcla resina-cal tiene un incremento muy significativo respecto a la del mortero tradicional.

Para ver de mejor manera la conducta de las muestras de resina con calcita en todas las dosificaciones que se trabajó en esta investigación se pueden ver mejor reflejadas su comportamiento a través del tiempo en la siguiente Figura 67.

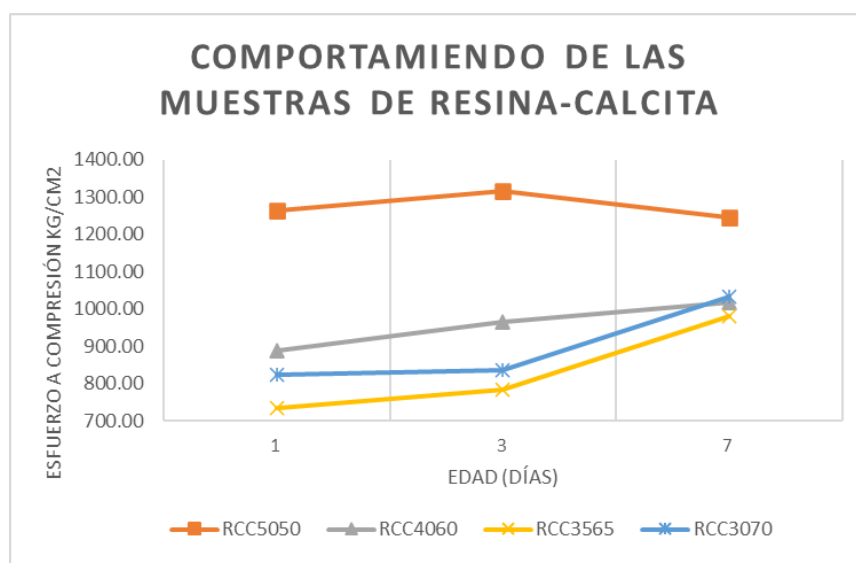


Figura 65 Comportamiento de las muestras de Resina-Calcita.

La mezcla Resina-Calcita (50-50% respectivamente) es la que obtuvo la mayor resistencia a compresión promedio a la edad de 24 horas con 1262 kg/cm<sup>2</sup>, comparando contra los 886.94 kg/cm<sup>2</sup> de los especímenes Resina-Calcita (40-60% respectivamente), habiendo una notable diferencia entre ambos aunque no hubo al momento de hacer las

mezclas, ya que tuvieron una consistencia similar, una trabajabilidad muy rápida y sencilla que se realizó manualmente, también un mismo tiempo de fraguado y al momento de colarlos y desmoldarlos se realizaron sin ningún problema, lo que nos indica que bajar un 10% el uso de resina disminuye notablemente en resultados y no en apariencia, aunque ambos resultados a un día son muy competitivos en cuestión de alta resistencia a un día.

La mezcla de resina con contenido en 35% y 65% de calcita que obtuvo en promedio de su resistencia a compresión a un día de 734.89 kg/cm<sup>2</sup>, comparando con la mezcla de mayor resistencia a un día Resina-Calcita (50-50% respectivamente), de 1262 kg/cm<sup>2</sup>, considerando que se disminuyó el porcentaje de resina en un 15% la resistencia volvió a bajar considerablemente, aquí si hubo un cambio de consistencias de la mezcla ya que la RCC5050, su preparación fue rápido, sencillo y obteniendo una consistencia muy fluida, mientras que la otra, su consistencia fue más pastosa, por lo cual dificultó en cierto modo verterlo en los moldes para que se acomodara en bien en los moldes.

Por su parte la dosificación RCC3070, que está compuesta de Resina-Calcita (30-70% respectivamente en su contenido), obteniendo un promedio de su resistencia a compresión a un día de 823.61 kg/cm<sup>2</sup>, que a comparada con las demás es en la que menos se utiliza resina y en la que más se ocupa el material de refuerzo, el carbonato de calcio, y comparando sus resultados con las otras dosificaciones, no fue la que menos resistió como en las demás, que al bajar su porcentaje de resina, disminuía su resistencia, en cambio obtuvo mejor resistencia que la mezcla RCC3565, elaborada de Resina-Calcita(35-65% en su contenido respectivamente) que comparando estas solo es una pequeña diferencia de 5% en sus proporcionamientos, que estas si había una diferencia notable en su consistencia ya que una era semifluida, la RCC3565 era como una pasta fluida, como tipo chiclosa, mientras que la RCC3070, si era una pasta consistente, asemejándose a la de un mortero tradicional que se usa en la industria de la construcción.

El comportamiento de las muestras Resina-Calcita 50-50% respectivamente (color naranja fuerte), Resina-Calcita 40-60% respectivamente (color gris), Resina-Calcita 35-65% (color naranja) y por último Resina-Calcita 30-70% (color azul) través del tiempo evaluado a 1, 3 y 7 días se ve reflejado en la figura 4. Lo que podemos notar son, que las mezclas RCC4060, RCC3565 Y RCC3070 son que su crecimiento es continuo, mientras que la



mezcla RCC5050 que la que más resistencia a compresión obtuvo, es la que al final tuvo un pequeño declive en su crecimiento es esfuerzo. Otro comportamiento a destacar es con la mezcla RCC3070, que es la que contiene la menor cantidad de resina y la mayor cantidad de calcita, dando como resultado que a los 7 días de prueba obtuvo un resultado mayor que la mezcla RCC4060 en donde esta mezcla tiene consistencia fluida y la RCC3070 se asemeja su consistencia a la de una pasta como un mortero tradicional utilizado en la industria de la construcción.

La resina-calcita-arena (con 30, 46 y 24% respectivamente) tuvo una resistencia promedio de 274.6 kg/cm<sup>2</sup>, luego la resina-calcita-arena (con 40, 46 y 14% respectivamente) tuvo una resistencia de 559.89 kg/cm<sup>2</sup>. Para el caso de la resina-calcita-arena (con 30, 30 y 40% respectivamente) ya no se pudo obtener resistencia porque no hubo fraguado. Es interesante observar que en las mezclas con igual cantidad de resina de 30%, RCCA304624 y RCCA303040, la primera tuvo resistencia de 274.6 kg/cm<sup>2</sup> y la otra no tuvo fraguado y por ende la resistencia fue de cero; lo anterior muestra que la resistencia del material se debe al incremento de calcita y a la disminución de arena. También se observa que, en las mezclas con igual cantidad de calcita, RCCA304624 y RCCA404614, la resistencia mayor se observa en la RCCA404614, por lo que la resistencia aumenta casi al doble cuando aumenta la resina en un 10%.

## 5. Conclusiones

El mortero de fraguado rápido propuesto en esta investigación cumple con resistencias altas a un día de fraguado, lo que optimiza tiempos de procedimientos de construcción y genera resistencias considerablemente altas respecto al mortero tradicional. El mortero propuesto tuvo como material base una resina resistente mezclada con diferentes materiales como cal, calcita y arena. Se concluye que las resistencias de los morteros varían dependiendo de las cantidades utilizadas en las dosificaciones de los materiales propuestos en donde se observa que la mezcla de resina con calcita se potencializa el material mostrando las mayores resistencias de todas las obtenidas.

Otra conclusión es que las mezclas que utilizan el mismo porcentaje, pero con diferente material sus mezclas presentan ciertas similitudes con porcentajes utilizados de resina en 30% y 40%.

Los especímenes cambian su consistencia en 50 % cambiando el material, con cal es más pastoso y con calcita es una mezcla más fluida.

Para terminar los aspectos visuales y estéticos que deja el material tras ser desmoldado es como un acabado liso, pulido que para una posible reparación pudiera ser una característica en la cual podría destacar.

Por último podemos mencionar que se cumple la hipótesis al afirmar que se obtuvo más de un 30% en la resistencia a compresión entre cualquier combinación de resina con algún otro material de refuerzo, contra la de una mezcla de mortero tradicional de cemento arena y agua, teniendo en cuenta que comparando las distintas edades de fraguado a 1, 3 y 7 días, la diferencia de resistencias es muy notable, ya que por apariencia se siente más resistente un el mortero de resina en cualquier presentación que la del mortero tradicional, ya que este se sentía de manera muy tierrosa, que se desmorona con el tacto, aparte de probarlo mecánicamente en donde se probó esta resistencia bajo las mismas condiciones sobre especímenes y máquina para hacer la experimentación.

## Bibliografía

- Aattache, A., & Soltani, R. (2019). Durability-related properties of early-age and long-term resistant laboratory elaborated polymer-based repair mortars. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117494>
- Ahsan, M., Siddique, M., Farooq, S. H., Usman, M., Ul Aleem, M. A., Hussain, M., & Hanif, A. (2022). Mechanical behavior of high-strength concrete incorporating seashell powder at elevated temperatures. *Journal of Building Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104226>
- Albudah, A., Abadel, A., Alrshoudi, F., Altheeb, A., & Abbas, H. (2020). Bond strength between concrete substrate and metakaolin geopolymer repair mortar at ambient and elevated temperatures. *Journal of Materials Research and Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.092>
- Al-Salloum, Y. (2006). Flexural Performance of RC Beams Repaired with Commercial Repair Materials. *Elsevier*.
- Antoni, Chandra, L., & Hardjito, D. (2015). The impact of using fly ash, silica fume and calcium car the workability and compressive strength of mortar. *Science Direct*. doi:[doi:10.1016/j.proeng.2015.11.132](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.132)
- ASTMC109. (s.f.). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar. *ASTM*.
- Bang, J., Prabhu, G., Jang, Y., & Kim, Y. (2015). Development of Ecoefficient Engineered Cementitious Composites Using Supplementary Cementitious Materials as a Binder and Bottom Ash Aggregate as Fine Aggregate. *International Journal of Polymer Science*, 12.
- Barlow, P., Darwin, D., Liu, T. C., & Scanlon, A. (1993). *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón*.
- Barth, F., & Frosch, R. (2008). *Control of cracking in concrete structures*.
- Callister, W. D. (1985). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*.

- Carpio Lopez , V., & Viera Arroba, L. (2019). Materiales Cementantes Compuestos (ccm): estado del arte, situación actual y aplicaciones en la Ingeniería Civil. *INGENIO*, 2(2), 12.
- García R., J. (2008). *Manual Técnico de Construcción*.
- Hansen, W., & Schindler, A. K. (2010). *Report on Early-Age Cracking: Causes, Measurement and Mitigation*.
- Hernández Zaragoza, J. B., Delgado Hernández, J., López Lara, T., López Cajún, C., Delgado Salgado, R., & García Hernández , E. (2015). Mortero Reparador Base Poliéster y su Uso en Estructuras de Concreto Dañadas. En *Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción*.
- Jiang, W., Xhu, H., Haruna, S. I., Zhao, B., Shao, J., & Yu, Y. (2021). Effect of crumb rubber powder on mechanical properties and pore structure of polyurethane-based polymer mortar for repair. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125169>
- Kiani, B., Liang, R. Y., & Gross, J. (2018). Material selection for repair of structural concrete using VIKOR. *Elseiver*.
- Kumar, M. H., Saikrishnamacharyulu, I., Mohanta, N. R., Ashutosh, A., Mishra, P., & Samantaray, S. (2022). Mechanical behaviour of high strength concrete modified with triple blend of fly ash, silica fume and steel fibers. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.528>
- Lucas, S. S., Moaxham, C., Tziviloglou, E., & Jonkers, H. (2018). Study of self-healing properties in concrete with bacteria encapsulated in expanded clay. *Science and Technology of Materials*.
- Martines Angeles , H. (2020). *Manual de prácticas de Ingeniería de Materiales PLAN INGI4*. Queretaro .
- Martínez G., R., Sánchez de Rojas, M. I., Jagadesh, P., López G., F., Morán del Pozo, J., & Valdes, A. (2022). Effect of pores on the mechanical and durability properties on high

strength recycled fine aggregate mortar. *Case Studies in Construction Materials*.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01050>

Maruti , S. V., Radhakrishna, & Mounesh, M. (2018). Properties of Geopolymer Cement Mortar and Blocks with Calcium Carbonate. *Science Direct*.

Modesti, L., Silva de Vargas, A., & Schneider, E. L. (2020). Repairing concrete with epoxy adhesives . *International Journal of Adhesion and Adhesives* .

Olivares , M., Galan , C., & Roa, J. (2003). Los composites: características y aplicaciones en la edificación. *Informes de la Construcción*, 54(484).

ONNCE. (2016). *Industria de la construcción-Cementantes hidráulicos-Determinación del análisis químico NMX-C-131-ONNCCE-2016*. Mexico : SEGOB .

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco , G. (2014). *Manual del Concreto Estructural*.

Si-Yao, G., Xu, Z., Ji-Zhou, C., Ben, M., Huai-Shuai, S., Pan, W., . . . Jie, R. (2020). Mechanical and interface bonding properties of epoxy resin reinforced Portland cement repairing mortar. *Construction and Buildings Materials*.

Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física* .

Toirac C., J. (2004). *Patología de la Construcción y fisuras en obras de hormigón*.

Ushkov, V., Frigorvsky, O., & Nalbandyan, G. (2020). Performance of the materials used for repair of reinforced concrete structures of communication conduits. *Science Direct*.

Zhou, A., Ning, W., Tam, L.-h., & Yu, Z. (2021). Molecular insights into the weakening effect of water on cement/epoxy interface. *Elseiver*.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149493>