



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

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR,
ARENA DE RÍO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN**

Byron Samuel Fuentes López
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR,
ARENA DE RÍO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BYRON SAMUEL FUENTES LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos |
| VOCAL V | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

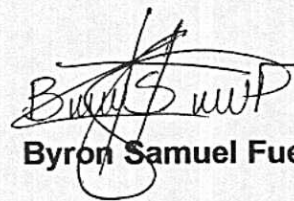
| | |
|------------|-----------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. José Gabriel Ordoñez Morales |
| EXAMINADOR | Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Manuel López Juárez |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR, ARENA DE RÍO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de mayo de 2012.



Byron Samuel Fuentes López

Guatemala, 13 de agosto del 2014

Guillermo Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero Melini

Por medio de la presente informo a usted, que como asesor del Trabajo de Graduación del estudiante universitario **BYRON SAMUEL FUENTES LÓPEZ**, quien se identifica con el carné universitario número **2006-30620**, procedí a revisar la tesis de cuatro capítulos, cuyo título es: "**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR, ARENA DE RIO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN**". El cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, **LA DOY POR APROBADA**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, es grato suscribirme de usted.

Atentamente,


Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila
Colegiado Activo No. 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
9 de septiembre de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR, ARENA DE RÍO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Byron Samuel Fuentes López quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Guillermo Melini

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Byron Samuel Fuentes López, titulado DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR, ARENA DE RÍO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POLIMÉRICO UTILIZANDO RESINA, CATALIZADOR, ARENA DE RÍO, POLVO DE MÁRMOL, PUZOLANA, BALASTRO, MÁRMOL Y PIEDRÍN**, presentado por el estudiante universitario: **Byron Samuel Fuentes López** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Gympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría y entendimiento, para culminar mis estudios profesionales, ya que Él es fuente de toda sabiduría y gracias a Él he llegado hasta este momento.
- Mis padres** Edgar Fuentes y Mayra de Fuentes, a quienes debo este éxito, gracias a los sacrificios y la confianza de creer en mí para llegar a cumplir este sueño que ellos empezaron.
- Mis hermanos** Gabriela y Vinicio Fuentes, por el cariño y el apoyo incondicional que siempre me brindaron.
- Mis cuñados** Elgin López y Guadalupe Velásquez, por el apoyo y por compartir este éxito conmigo.
- Mis abuelos** Por los consejos y apoyo brindado en el transcurso de mi vida.
- Mis tíos y primos** Por el apoyo incondicional y por compartir este éxito en mi vida.
- Mis sobrinos** Por el cariño y, porque son un impulso que me hace seguir cumpliendo mis metas.

Ing. Mario Corzo

Por su asesoría, el apoyo profesional y moral que siempre me brindó.

Mis amigos

Que de una u otra forma estuvieron involucrados en apoyarme en la culminación de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Mario Corzo

Por el apoyo incondicional y su asesoría en este trabajo de graduación, ya que sin su guía no hubiera podido realizar este trabajo.

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma máter que me abrió sus puertas; porque en ella forjé mis conocimientos.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los recursos humanos y equipo para realizar mi formación profesional.

**Mis amigos de la
Facultad**

Por el apoyo que me brindaron en el transcurso de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN..... | XVII |
| | |
| 1. MARCO CONCEPTUAL..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.1.1. Historia de los polímeros | 1 |
| 1.2. Definiciones | 2 |
| 1.2.1. Polímeros..... | 2 |
| 1.2.2. Plásticos | 3 |
| 1.2.3. Resina | 3 |
| 1.2.4. Catalizador..... | 3 |
| 1.2.5. Puzolana..... | 3 |
| 1.3. Ventajas de la utilización de concreto polimérico | 4 |
| 1.4. Reacción de la resina y el catalizador (polimerización) | 4 |
| 1.5. Normas empleadas en la evaluación de los materiales..... | 6 |
| | |
| 2. GENERALIDADES DE LOS MATERIALES A UTILIZAR Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS | 7 |
| 2.1. Clasificación de las puzolanas..... | 7 |
| 2.1.1. Puzolanas naturales | 7 |
| 2.1.2. Puzolanas artificiales | 8 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2. | Reacción puzolánica | 8 |
| 2.3. | Resina poliéster | 9 |
| 2.3.1. | Poliésteres no saturados | 9 |
| 2.3.2. | Alquidales..... | 9 |
| 2.3.3. | Plastificantes | 9 |
| 2.3.4. | Fibra y películas | 10 |
| 2.3.5. | Espumas de poliéster | 10 |
| 2.4. | Catalizadores aceleradores..... | 10 |
| 2.4.1. | Por medio de temperatura/rayos infrarrojos | 11 |
| 2.4.2. | Microondas..... | 11 |
| 2.4.3. | Radio frecuencia | 11 |
| 2.4.4. | Rayos ultravioleta..... | 12 |
| 2.4.5. | Empleo de compuestos químicos (temperatura ambiente) | 12 |
| 2.5. | Fibra de vidrio | 12 |
| 2.5.1. | Vidrio "A" o alcalino | 13 |
| 2.5.2. | Vidrio "E" | 13 |
| 2.5.3. | Vidrio "C" | 14 |
| 2.5.4. | Vidrio "S" | 14 |
| 2.5.5. | Zentron..... | 14 |
| 2.5.6. | Petatillo..... | 15 |
| 2.5.7. | Colchoneta de hilo cortado..... | 15 |
| 2.6. | Muestras | 15 |
| 2.6.1. | Nuevo espécimen..... | 16 |
| 2.7. | Realización de cubos de muestra | 16 |
| 2.7.1. | Mezclado..... | 16 |
| 2.7.2. | Fundición de muestras | 17 |
| 2.7.2.1. | Moldes..... | 17 |
| 2.7.2.2. | Métodos..... | 18 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3. | DESARROLLO EXPERIMENTAL | 19 |
| 3.1. | Diseño de mezclas | 19 |
| 3.2. | Ensayo de las muestras | 21 |
| 3.2.1. | Compresión | 21 |
| 3.2.2. | Flexión | 22 |
| 3.3. | Fundición de tapadera de concreto polimérico | 22 |
| 3.4. | Ensayo de tapadera de concreto polimérico..... | 23 |
| 3.5. | Fundición de tapadera de concreto normal | 23 |
| 3.6. | Ensayo de tapadera de concreto normal | 24 |
| 4. | ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO | 27 |
| 4.1. | Procedimiento de cálculo..... | 27 |
| 4.2. | Análisis y determinación de resistencia | 28 |
| 4.2.1. | Proporción P | 30 |
| 4.2.2. | Proporción M | 30 |
| 4.2.3. | Proporción A..... | 31 |
| 4.2.4. | Proporción B..... | 32 |
| 4.2.5. | Proporción C..... | 33 |
| 4.2.6. | Proporción D..... | 34 |
| 4.2.7. | Proporción E | 35 |
| 4.2.8. | Proporción G..... | 36 |
| 4.2.9. | Proporción H..... | 37 |
| 4.2.10. | Proporción I | 38 |
| 4.2.11. | Proporción J..... | 39 |
| 4.2.12. | Proporción K..... | 40 |
| 4.2.13. | Proporción L | 41 |
| 4.2.14. | Proporción N..... | 42 |
| 4.2.15. | Proporción O..... | 43 |
| 4.3. | Resultados de ensayos por flexión..... | 44 |

| | | |
|-----------------------|---|----|
| 4.3.1. | Viga 1 | 45 |
| 4.3.2. | Viga 2 | 46 |
| 4.3.3. | Viga 3 | 46 |
| 4.3.4. | Viga 4 | 47 |
| 4.4. | Resultados de ensayos de tapaderas | 48 |
| 4.4.1. | Tapadera de concreto normal | 48 |
| 4.4.2. | Tapadera de concreto polimérico 1 | 50 |
| 4.4.3. | Tapadera concreto polimérico 2 | 52 |
| 4.4.4. | Tapadera de concreto polimérico 3 | 54 |
| 4.4.5. | Tapadera de concreto polimérico 4 y 5 | 55 |
| 4.4.6. | Tapadera de concreto polimérico 6 | 59 |
| 4.4.7. | Proporciones óptimas..... | 65 |
| CONCLUSIONES..... | | 67 |
| RECOMENDACIONES | | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 71 |
| APÉNDICES..... | | 73 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Molde para cubos (JDBlab)..... | 17 |
| 2. | Esquema de ensayo a compresión | 21 |
| 3. | Esquema de ensayo de tapadera de concreto polimérico..... | 24 |
| 4. | Esquema de ensayo de tapadera de concreto normal | 25 |
| 5. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción P | 30 |
| 6. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción M | 31 |
| 7. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción A | 32 |
| 8. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción B | 33 |
| 9. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción C | 34 |
| 10. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción D | 35 |
| 11. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción E | 36 |
| 12. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción G..... | 37 |
| 13. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción H..... | 38 |
| 14. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción I | 39 |
| 15. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción J..... | 40 |
| 16. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción K | 41 |
| 17. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción L | 42 |
| 18. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción N..... | 43 |
| 19. | Gráfico de resistencia <i>versus</i> tiempo, proporción O..... | 44 |
| 20. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, viga 1 | 45 |
| 21. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, viga 2 | 46 |
| 22. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, viga 3 | 47 |
| 23. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, viga 4 | 48 |

| | | |
|-----|--|----|
| 24. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, tapadera de concreto normal..... | 49 |
| 25. | Tapadera de concreto normal después del ensayo | 50 |
| 26. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, tapadera de concreto polimérico 1..... | 51 |
| 27. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, tapadera de concreto polimérico 2..... | 53 |
| 28. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, tapadera de concreto polimérico 3..... | 54 |
| 29. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, tapadera de concreto polimérico 4..... | 56 |
| 30. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación, tapadera de concreto polimérico 5..... | 57 |
| 31. | Tapadera, bajo el eje neutro | 58 |
| 32. | Tapadera, sobre el eje neutro..... | 58 |
| 33. | Distribución de capas de fibra de vidrio tapadera concreto polimérico 6..... | 60 |
| 34. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación de la primera aplicación de la carga | 60 |
| 35. | Diagrama de carga <i>versus</i> deformación de la segunda aplicación de la carga | 61 |
| 36. | Tapadera concreto polimérico 6 después del ensayo, lado inferior | 63 |
| 37. | Tapadera concreto polimérico 6 después del ensayo, lado superior | 64 |

TABLAS

| | | |
|-----|---|----|
| I. | Aspectos de pasta y agregados..... | 20 |
| II. | Datos de las proporciones que se realizaron para ensayar a compresión | 29 |

| | | |
|------|---|----|
| III. | Refuerzo y distribución en vigas de concreto polimérico..... | 44 |
| IV. | Datos de carga aplicada..... | 62 |
| V. | Deformaciones antes y después de aplicación de carga, tapadera concreto polimérico 6 | 62 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------------------|---------------------|
| Cm | Centímetro |
| Cm² | Centímetro cuadrado |
| °C | Grados centígrados |
| °F | Grados faringe |
| Kg | Kilogramos |
| m | Metro |
| ml | Mililitro |
| % | Porcentaje |
| X | Proporción |
| Pulg² | Pulgada cuadrada |

GLOSARIO

| | |
|---------------------|--|
| ASTM | Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (American Society for Testing and Materials). |
| Deformación | Diferencia de las dimensiones del elemento ensayado, antes y después del ensayo. |
| Deformómetro | Instrumentos para medir desplazamientos lineales. La medida se lee en una carátula que contiene una aguja principal que recorre 100 unidades para completar una vuelta, y una aguja pequeña que recorre 10 unidades. |
| Proporción | Cantidad de cada material incluida en la mezcla. Resina, agregado fino, agregado grueso. |
| PVC | Poli cloruro de vinilo. |
| Tenacidad | Capacidad del material que tiene de absorber energía. |
| Viscosidad | Propiedad del fluido, este ofrece resistencia al esfuerzo cortante. |

Zona elástica

Región de la gráfica que indica que el elemento ensayado puede recuperarse de la deformación ocasionada por la carga aplicada.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación pretende ampliar el tema del concreto polimérico y la utilización en tapaderas de pozos de visita en planta externa. El cual es un material de poco uso en el país, y de esta forma aumentar el interés en nuevos materiales de construcción y hacer otras pruebas a partir de lo experimentado.

En el primer capítulo se describe el marco conceptual, las definiciones de los materiales utilizados para los ensayos y cómo actúan entre ellos; así como algunas ventajas de la utilización de este material en comparación con el concreto normal.

En el segundo capítulo se presentan las generalidades de los materiales, la clasificación de los mismos. El tamaño y número de muestras a ensayar, cómo se realizaron, ya que se realizaron un número significativo de ellos para poder obtener una mayor experiencia en la elaboración del concreto polimérico.

Los capítulos tres y cuatro contienen el desarrollo experimental y el análisis de los resultados, es decir la descripción de lo que se realizó en el campo, cómo se llevaron a cabo las muestras y los ensayos que se les hicieron para poder interpretarlos y cada vez mejorarlos para alcanzar el objetivo principal, encontrar una proporción que satisfaga todas las necesidades y los factores de seguridad exigidos, optimizando todos los recursos.

OBJETIVOS

General

Diseñar la mezcla más eficiente de acuerdo a los materiales utilizados en la realización del concreto polimérico.

Específicos

1. Comparar el concreto polimérico y el concreto normal, en cuanto a sus propiedades.
2. Realizar y comprobar los diseños de mezclas con diferentes proporciones de materiales y diferentes métodos.
3. Estimar el comportamiento del concreto polimérico con las diferentes proporciones y los diferentes materiales.

INTRODUCCIÓN

El concreto polimérico es en esencia, una mezcla constituida por una resina sintética que trabaja como el aglomerante para los agregados; este material fragua en muy poco tiempo en comparación a los concretos tradicionales hidráulicos, esto se da a través de la aplicación de un catalizador químico que permite este endurecimiento rápido y, de esta manera, obtener (en algunas horas) un material sólido de muy alta resistencia a la compresión, durable, resistente a los ataques químicos, además es un buen aislante térmico y dieléctrico.

Con el presente trabajo de graduación se pretende comprobar las propiedades de dicho concreto, usando los agregados finos y gruesos de bancos en el área, desarrollando para el efecto un uso determinado que será tapadera para pozo de visita en planta externa.

Para elaborar un concreto polimérico, debe tomarse en cuenta que se utilizan los mismos materiales que en el concreto normal tipo Portland, la diferencia estiva en el elemento cementante: ahora el polímero funge de la misma manera que la pasta de agua y cemento Portland en el concreto clásico.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

La construcción, actualmente, viene exigiendo materiales que superen las propiedades habituales y las limitaciones existentes. Por lo que la tendencia es crear materiales de construcción más livianos, de menor tamaño, de rápida construcción, con altas resistencias mecánicas, etc.

1.1.1. Historia de los polímeros

En el transcurso de la década de 1920, Herman Staudinger fue el primero en instituir que los polímeros eran compuestos de gran peso molecular que se encontraban unidos mediante la formación de enlaces covalentes. Tal idea fue apoyada años más tarde por Wallace Carothers, de DuPont, los cuales llegaron a establecer concepciones similares. Estos conceptos dieron paso al desarrollo de la química de los polímeros tanto sintéticos como naturales.

Los polímeros naturales, por ejemplo la lana, la seda, la celulosa, etcétera, se han empleado profusamente y han tenido mucha importancia a lo largo de la historia. Sin embargo, hasta finales del siglo XIX no aparecieron los primeros polímeros sintéticos, como por ejemplo el celuloide.

Los primeros polímeros que se sintetizaron se obtenían a través de transformaciones de polímeros naturales. En 1839 Charles Goodyear realiza el vulcanizado del caucho.

El nitrato de celulosa se sintetizó accidentalmente en 1846, por el químico Christian Friedrich Schönbein y en 1868, John W. Hyatt sintetizó el celuloide a partir de nitrato de celulosa.

El primer polímero totalmente sintético se obtuvo en 1907, cuando el químico belga Leo Hendrik Baekeland fabrica la baquelita a partir de formaldehído y fenol.

Otros polímeros importantes se sintetizaron en años siguientes, por ejemplo el poliestireno (PS) en 1911 o el poli (cloruro de vinilo) (PVC) en 1912.

En 1922, el químico alemán Hermann Staudinger comienza a estudiar los polímeros y en 1926 expone su hipótesis de que se trata de largas cadenas de unidades pequeñas unidas por enlaces covalentes.

1.2. Definiciones

La definición de cada uno de los materiales que se piensan utilizar en los ensayos de este trabajo de graduación es de gran importancia, ya que algunos de ellos son poco usuales en el campo de la construcción.

1.2.1. Polímeros

Son materiales de origen tanto natural como sintético, formados por moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas.

1.2.2. Plásticos

Son los materiales que resultan de mezclar uno o más polímeros con varios aditivos que mejoran sus propiedades. Pero el componente principal de un plástico, el que le da nombre y determina sus propiedades es el polímero.

1.2.3. Resina

Son sustancias líquidas que pueden pasar a estado sólido mediante una reacción química provocada por un agente externo. Existen diferentes tipos de resinas en las que se encuentran las llamadas poliéster, vinylester y epoxi. Estas últimas presentan mejores características de adición y resistencia al agua.

1.2.4. Catalizador

Un catalizador, propiamente dicho es una sustancia que está presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos, y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma.

1.2.5. Puzolana

Roca volcánica silíceo de estructura alveolar que se encuentra en puzol y se emplea para mortero hidráulico.

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, dice: "las puzolanas son materiales silíceos o, que por sí solos posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente divididos y en medio húmedo a temperatura ambiente, reaccionan químicamente con la cal, formando un compuesto con propiedades cementantes".

1.3. Ventajas de la utilización de concreto polimérico

- Muy alta resistencia a la compresión
- Alta resistencia al rayado
- Impermeable
- Gran rapidez de endurecimiento (horas)
- Excelente durabilidad frente a agentes químicos agresivos
- Curva carga-deformación del tipo usual en concretos
- Peso más liviano

1.4. Reacción de la resina y el catalizador (polimerización)

La polimerización es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

La reacción de polimerización para obtener el gelado y curado de la resina poliéster, tiene tres pasos o etapas, que son los siguientes:

Iniciación: el sistema molecular está siempre en movimiento y en el caso de la resina poliéster, este movimiento origina que en ciertas ocasiones y debido al calor, la luz solar, etcétera, alguna molécula de monómero de estireno rompa o abra su doble ligadura, y esta molécula activada ocasiona, a su vez, el rompimiento de otras dobles ligaduras, ya sea en el monómero de estireno o en la parte no saturada de la molécula del poliéster, ocasionando que si la actividad no se controla el producto aumente su viscosidad y posteriormente gele lo que impedirá su aprovechamiento.

Propagación: una vez que los radicales libres del catalizador han reaccionado con los inhibidores, la reacción de polimerización se efectúa en el sistema monómero en donde se pueden lograr tres posibles reacciones.

- Homopolimerización de las moléculas del monómero (monómero - monómero).
- Homopolimerización de la cadena poliéster en la molécula no saturada (alquidal - alquidal).
- Copolimerización del monómero y la cadena poliéster. Ocurre en el sistema dónde, una molécula de estireno puentea o une dos moléculas de poliéster a través de ácido no saturado (ácido - monómero - ácido).

Terminación: al propagarse la reacción de polimerización, las dobles ligaduras continúan uniéndose hasta que ocurre una de varias posibles reacciones que terminan con el crecimiento del polímero son:

- Reacción de adición: la unión de dos cadenas en crecimiento, reaccionan entre sí para dar lugar a una cadena continua.

- Transferencia de cadena: una cadena en crecimiento choca con otra, transfiriéndole energía, pero sin unirse a ella. La molécula activada origina una nueva cadena.
- Agotamiento: esta reacción, que es la más aceptada, tiene lugar cuando se han terminado todas las moléculas reaccionables, ya sea porque han reaccionado con otras moléculas. O bien debido a que la inmovilidad en el sistema no permite que moléculas aún activas, se unan con otros grupos reactivos se considera agotada a una conversión de 90 – 92 por ciento.

1.5. Normas empleadas en la evaluación de los materiales

Clasificación (Norma ASTM C 618):

Agregados finos (arena de río): este material estará formado por arena de río o por arena de trituración, que sea consistente, libre de cantidades dañinas de arcilla, cieno, desechos orgánicos, sales minerales la calidad de concreto.

En general, los agregados finos deben cumplir con las especificaciones de agregados para concreto COGUANOR NGO 41007 o ASTM C33.

Agregados gruesos (piedrín): este material estará formado por grava o piedrín y deberá estar libre de cantidades dañinas de materiales suaves o desmenuzables, terrones de arcilla, polvo y otras materias nocivas. Deberá cumplir con Norma COGUANOR NGO 41007 o ASTM C 33.

2. GENERALIDADES DE LOS MATERIALES A UTILIZAR Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS

2.1. Clasificación de las puzolanas

Las puzolanas nos materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina. No son cementosas en sí, pero cuando son molidos finamente y mezcladas con cal, la mezcla fraguará y endurecerá a temperaturas normales en presencia de humedad, como el cemento. Se pueden dividir en:

2.1.1. Puzolanas naturales

Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos, uno puramente mineral y otro orgánico.

Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y cenizas volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas.

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas).

2.1.2. Puzolanas artificiales

Se definen estas como materiales que deben su condición de tales a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos, uno formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos.

El otro constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales, que, en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas.

2.2. Reacción puzolánica

La puzolana por si misma posee un valor cementante nulo o muy pequeño. Sin embargo, finamente molida y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido cálcico (activador) a temperatura ambiente, dando lugar a una nueva formación de compuestos estables, poco solubles en el agua y que poseen características cementantes, es decir capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico.

Bajo el nombre de puzolanas se incluyen productos que son bastante diferentes en cuanto a su origen, estructura, composición química y mineralógica y que tienen en común lo que se denomina actividad puzolánica.

2.3. Resina poliéster

Por definición química, un poliéster se forma al reaccionar un ácido dicarboxílico y un alcohol polihídrico, a temperaturas superiores a 100 grados centígrados, obteniéndose un poliéster y agua como resultado de la reacción anterior. De acuerdo con el tipo de ácidos y alcoholes empleados, así como las modificaciones que se hagan, se obtendrán distintos grupos de productos que los clasificarán de acuerdo con la siguiente lista.

2.3.1. Poliésteres no saturados

Son resinas poliéster lineales obtenidas al reaccionar ácido dicarboxílico y alcoholes polihídricos, que son capaces de polimerizar en forma reticulada o entrecruzada como monómeros de vinilo para formar un plástico termofijo.

2.3.2. Alquidales

Generalmente, con esta palabra se designa a los poliésteres modificados con aceite y que se emplean para recubrimientos decorativos y/o protectores, por ejemplo: pinturas, barnices, tintas de imprenta, etcétera.

2.3.3. Plastificantes

Poliésteres saturados que se emplean para ablandar o flexibilizar otros plásticos, se les conoce también como plastificantes poliméricos, se emplean en la fabricación de vinilo con o sin refuerzo.

2.3.4. Fibra y películas

Son poliésteres de alto peso molecular, orientados molecularmente y unidos entre sí, para los cuales se emplean ácidos y alcoholes específicos.

2.3.5. Espumas de poliéster

Son poliésteres con un alto número de grupos hidroxilo y que reaccionan con encadenamientos entrecruzados con grupos isocianato. Se conoce también, con el nombre genérico de poliuretanos, y en este grupo se encuentran los elastómeros.

2.4. Catalizadores aceleradores

El proceso para convertir una resina poliéster en estado líquido a un estado sólido, implica una reacción química llamada “polimerización” y en ésta, el monómero en el que se encuentra disuelta la resina, reacciona con los grupos no saturados para formar un compuesto termofijo. Esta reacción de polimerización, se clasifica como reacción de adición, debido a que no se forman subproductos, es decir su conversión es 100%, y se conoce o denomina en la industria del plástico reforzado como curado.

La reacción de polimerización o curado se puede lograr de distintas maneras, entre los que se citan los siguientes:

2.4.1. Por medio de temperatura/rayos infrarrojos

Un poliéster polimeriza en un lapso más o menos corto si se somete a las temperaturas, y en este caso, la velocidad de reacción es directamente proporcional a la temperatura, lo que implica menor tiempo para la conversión. Por ejemplo: una resina a 80 °C solidifica en 7 minutos. Y a 110 °C cura en 3 minutos sin adición de catalizador o compuestos químicos. Aprovechando este principio en ocasiones se emplean hornos con emisores de luz infrarroja, que al aumentar la temperatura promueve el curado.

2.4.2. Microondas

Esta técnica de polimerización están basadas en la excitación molecular, generadas por un campo eléctrico oscilante, que activa las moléculas haciéndolas rotar y oscilar a alta velocidad, produciendo de esta manera colisiones moleculares que aumenta la energía cinética, obteniéndose a su vez calor que es aprovechado en la polimerización.

2.4.3. Radio frecuencia

La radio frecuencia se origina entre dos placas que actúan como electrodos, y la excitación molecular se encuentra localizada en esta área.

Las microondas, que requieren mayor energía (alrededor de 25 veces) se genera en un tubo, y se conduce a través de una guía hasta una cavidad en la que la energía debe ser contenida para asegurar el calentamiento. Este tipo de técnicas de polimerización se emplean en algunos procesos de fabricación, por ejemplo: fabricación de molduras, barras y perfiles de plástico reforzado.

2.4.4. Rayos ultravioleta

Es de todos conocido que la luz solar produce el gelado y curado de la resina poliéster. Esta característica se encuentra originada por la longitud de onda de alguno de los componentes de la luz solar, principalmente los rayos ultravioleta.

2.4.5. Empleo de compuestos químicos (temperatura ambiente)

A este grupo pertenecen los catalizadores comúnmente usados en la industria del poliéster y plástico reforzado. Los compuestos químicos se descomponen activando el monómero contenido en la resina, originando una reacción con los grupos no saturados de la cadena del poliéster (ácido no saturado y monómeros), obteniéndose así un producto sólido termofijo. Aunque este tipo de compuestos se denominan con el término de catalizadores, no puede considerarse así desde el punto de vista químico, ya que se descomponen, y a diferencia de un verdadero catalizador, no son recuperables al final de la reacción, por los que en algunas ocasiones se denominan con el nombre genérico de iniciadores.

2.5. Fibra de vidrio

En la industria del plástico reforzado, el material empleado con mayor frecuencia es la fibra de vidrio, esta preferencia se debe entre otras, a las siguientes características:

- Alta resistencia a la tensión.
- Completamente incombustible.

- Biológicamente inerte.
- Excelente resistencia al intemperismo y a gran cantidad de agentes químicos.
- Excelente estabilidad dimensional.
- Baja conductividad térmica.

Existen diversos tipos de fibra de vidrio, acorde a sus formulaciones se pueden mencionar:

2.5.1. Vidrio “A” o alcalino

Con una formulación similar a la empleada a los envases y vidrios de ventana. No tienen una gran aceptación en el campo de los plástico reforzados, se emplea principalmente como refuerzo para impermeabilizantes (velo con acabado fenólico).

2.5.2. Vidrio “E”

Este tipo de vidrio (borosilicato) es comúnmente empleado en la fabricación de plásticos reforzados (termofijos o termoplásticos) y su acabado o aglutinante (apresto) nos mejora las características de unión físicoquímica con el polímero de tal forma que el compuesto satisface requerimientos mecánicos.

2.5.3. Vidrio “C”

Con este nombre se designa al vidrio de resistencia química, generalmente se emplea solo en velos de superficie utilizado en la fabricación de equipo de proceso que contiene o conduce reactivos químicos, aun cuando en algunos casos ha sido sustituido por velos de fibra sintética (que tiene una resistencia química más amplia) principalmente cuando existe ácido fluorhídrico (HF) en el compuesto químico, pues el HF ataca al vidrio.

2.5.4. Vidrio “S”

Su principal característica estriba en la alta resistencia mecánica, sin embargo, ha sido sustituido por otros materiales como fibras o refuerzos poliamídicos, de carbono, etcétera.

2.5.5. Zentron

Nombre comercial de fibra de vidrio con alto contenido de sílice y alta resistencia se emplea con resina epóxica esteres vinílicas o fenólicas. Se utiliza básicamente en procesos de embobinado, extrusión en piezas de alta resistencia mecánica, telas tejidas (petatillo) para compuestos específicos.

Las principales formas de presentación del refuerzo de fibra de vidrio son:

- Mecha (*roving*)
- Colchoneta-filtro (*Mat*)
- Petatillo (*Woven Roving*)
- Velo (*Surfacing Mat*)

- Filamento cortado (*Chopped Strand*)
- Tejidos multidireccionales
- Fibra molida
- Hojuela de vidrio

2.5.6. Petatillo

Esta forma de presentación de la fibra de vidrio consiste en cabos de *roving* tejidos en forma entrecruzada y en ángulos de 90 grados con respecto a sus ejes longitudinales. Debido a su forma, este material tiene la característica de repartir las cargas y esfuerzos en sentidos transversales (90 grados).

2.5.7. Colchoneta de hilo cortado

Es la forma o presentación más popular y conocida de fibra de vidrio en la industria del plástico reforzado, está compuesta por monofilamentos de fibra, cuya longitud es aproximadamente de 5 centímetros.

2.6. Muestras

A cada proporción de materiales se le realizaron muestras, para posteriormente ensayarlos dependiendo el tipo, compresión o flexión. Y de esta manera poder interpretar los resultados y mejorar esto en la investigación.

2.6.1. Nuevo espécimen

Normalmente se mide la resistencia para garantizar que el concreto cumple con los requisitos especificados y con el control de calidad. Para la realización del ensayo a compresión del concreto se moldearán tres especímenes cúbicos de ensayo de 5 x 5 x 5 centímetros.

2.7. Realización de cubos de muestra

Los cubos de muestra se realizaron con diferentes proporciones y diversos materiales, tomando en cuenta para cada uno de estos el tiempo de fraguado y de ensayo, para comprobar si la resistencia aumentaba o disminuía de acuerdo a las diferentes proporciones y circunstancias.

2.7.1. Mezclado

Para fabricar el concreto polimérico, se mezclan los agregados finos (en diferentes proporciones), y luego con la resina poliéster.

Hasta este momento, la mezcla se mantiene estable, pero cuando se le añade el catalizador para producir el entre cruzamiento, comienza una reacción química que produce un fraguado muy rápido.

Si la mezcla se mantiene a temperatura ambiente, el fraguado se presenta en unas cuantas horas (dependiendo de la proporción de los ingredientes de la mezcla), pero si se desea acelerar la reacción se puede someter la mezcla a mayores temperaturas.

2.7.2. Fundición de muestras

La fundición de las muestras se realizó una proporción a la vez, pues solo se contaba con dos moldes. Ya mezclados los materiales se procede a depositarlo en los moldes con diferentes métodos que se presentan a continuación.

2.7.2.1. Moldes

Molde para cubos (JDBlab)

Molde de latón de tres muestras. Se utiliza para formar muestras cúbicas para ensayos de resistencia a la compresión.

Figura 1. **Molde para cubos (JDBlab)**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.7.2.2. Métodos

Se tomará en cuenta las Normas ASTM, ya que como se mencionó anteriormente el concreto tiene que cumplir con normas de calidad, pero en este caso también hará unas pruebas compactando el concreto con fuerza, ya que la mezcla del mismo no tiene la misma trabajabilidad que el concreto normal.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Por cuestiones económicas se decidió realizar los ensayos a compresión con cubos de 5 x 5 x 5 centímetros. Con el molde para cubos JDBlab y los ensayos a flexión con pequeñas vigas de 5 x 7 x 80 centímetros, ya que la cantidad de ensayos era significativa.

3.1. Diseño de mezclas

Diseñar una mezcla de concreto polimérico consiste en determinar la cantidad de materiales (resina, pedrín o mármol, arena, etcétera) que deben emplearse para construir un volumen unitario de concreto polimérico, cuya calidad sea tal que cumpla con los requisitos especificados para la estructura que se pretende fabricar (en este caso tapaderas para pozos de visita en planta externa). El diseño de mezclas se realiza con diferentes proporciones y materiales ya que de esta forma se busca encontrar un diseño o una proporción que de la resistencia requerida o más alta y al mismo tiempo económico. Con las mejores características, que puede ser fraguado más rápido, menos peso, etcétera.

Para establecer los conceptos fundamentales que se aplican al diseño de mezclas de concreto polimérico, conviene considerar al concreto fresco integrado por dos componentes principales: La resina que ahora funge como aglomerante y los agregados.

En mezclas comunes, sin aire incluido, los agregados pueden representar hasta el 80 % del volumen, y el aglomerante el 20 % restante, sin embargo puede decirse, con ciertas restricciones, que si los agregados son densos, resistentes y bien graduados, las principales propiedades del concreto endurecido dependen de las características del aglomerante, por otra parte resulta aceptable suponer que las propiedades de los agregados influyen en la cantidad de aglomerante (con cierta viscosidad) que se requiere por volumen unitario.

Los principales aspectos de la pasta y de los agregados que influyen en el comportamiento del concreto son:

Tabla I. **Aspectos de pasta y agregados**

| Resina | Agregados |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Composición química de la resina | Tamaño |
| Cantidad de catalizador | Forma y textura de partículas |
| Cantidad de vacíos | Composición granulométrica |
| | Porcentaje de humedad |

Fuente: elaboración propia.

Se realizaron muestras con distintas proporciones y diferentes materiales, de manera que al ensayarlas a compresión se obtuviera el comportamiento de las mismas, y de esta forma ir mejorando las propiedades hasta encontrar las de mayor resistencia.

Una de las peculiaridades del concreto polimérico con respecto a los concretos tradicionales es que su asentamiento es cero.

3.2. Ensayo de las muestras

Cada una de las muestras realizadas, de compresión y flexión fueron ensayadas una a la vez. De acuerdo a los resultados obtenidos se trató de mejorar la nueva muestra y de esta forma aumentar la resistencia en cada ensayo, que es el objetivo principal de estos.

3.2.1. Compresión

Los prismas son colocados de tal forma que se le aplica una carga distribuida equivalente, induciendo para este efecto, esfuerzos de compresión por medio del gato de 10 toneladas (RC 53/ área efectiva de 2,24 pulg²). Se colocó a un costado del prisma un deformómetro para registrar las lecturas de la deformación. Los esfuerzos son incrementados de 100 en 100 kg/cm² hasta lograr la falla del elemento ensayado.

Figura 2. **Esquema de ensayo a compresión**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2.2. Flexión

Los prismas en forma de pequeñas vigas de 5 x 7 x 80 centímetros son colocados de tal forma que se le aplican una carga en el centro geométrico. Con dos apoyos en 1/3 de su longitud, uno en cada extremo, induciendo de esta forma esfuerzos a flexión.

3.3. Fundición de tapadera de concreto polimérico

Se usó para el mezclado de los materiales un contenedor de latón de 1,5 x 0,5 x 0,5 metros aproximadamente. Se vertieron los agregados finos junto con los agregados gruesos y se procedió a mezclarlos hasta lograr una homogeneidad de estos, sin adicionar la resina.

Al momento de obtener una mezcla lo bastante homogénea se agregó la resina; posteriormente incluir el catalizador.

Se hizo utilización de cucharas de metal para realizar el mezclado de un volumen considerablemente grande, lo cual permitió una fácil manipulación de los materiales.

El molde fue previamente cubierto con aceite de motor ya quemado, con el objetivo que proporcionara una capa de separación entre este y el concreto polimérico, a manera de evitar que estos se pegaran y se complicará su desencofrado.

Se colocaron lienzos de fibra de vidrio tipo petatillo, en diferentes ubicaciones o espesores y en diferentes cantidades (lienzos) de la fundición, haciendo un análisis por cada tapadera y tratando de mejorar cada vez.

La fundición se hizo en un lugar donde no recibiera luz solar, ya que la reacción química del catalizador con el polímero, es exotérmica; y así finalizar el proceso antes de que fraguara. Se procedió a las cuatro horas de realizada la fundición un control de la temperatura y se registró una temperatura de 90 °F aproximadamente.

Luego de veintidós horas de fraguado se procedió a desencofrar la tapa. Se pudo ver al momento del desencofrar que la mezcla había separado del molde en la parte lateral en algunos puntos únicamente, pero a pesar de esta situación fue un poco complicado el desencofrado pues se tuvo que aplicar algunos golpes suaves para que esta cediera.

3.4. Ensayo de tapadera de concreto polimérico

Se colocó la tapa sobre una base de acero de forma circular a manera de cubrir perimetralmente la tapa, que es la manera en la cual esta se pondrá a trabajar finalmente. Esta base circular se colocó sobre bloques de concreto a manera de elevar su posición y le permitiera al gato hidráulico tener el suficiente espacio para aplicar la carga; esta carga fue transmitida a la tapa a través de un yunque de acero de forma cuadrada colocado en el centro de la misma.

Se hizo medición de la deformación de la tapa cada cinco mil (5 000) libras de carga, registrando estas deformaciones con deformómetros colocados a las orillas de la tapa.

3.5. Fundición de tapadera de concreto normal

Para la tapadera de concreto normal se utilizó la proporción 1:2:3 con un refuerzo de 1 varilla número 3 a cada N centímetros en ambos sentidos.

Se utilizó el mismo molde para la fundición de la tapadera de concreto normal que para la de concreto polimérico, con las mismas dimensiones.

Figura 3. **Esquema de ensayo de tapadera de concreto polimérico**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.6. Ensayo de tapadera de concreto normal

Se colocó la tapa sobre una base de acero de forma circular a manera de cubrir perimetralmente la tapa, que es la manera en la cual esta se pondrá a trabajar finalmente. Esta base circular se colocó sobre bloques de concreto a manera de elevar su posición y le permitiera al gato hidráulico tener el suficiente espacio para aplicar la carga; esta carga fue transmitida a la tapa a través de un yunque de acero de forma cuadrada colocado en él.

Se hizo medición de la deformación, registrando estas deformaciones con deformómetros colocados a las orillas de la tapadera.

Figura 4. **Esquema de ensayo de tapadera de concreto normal**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

El procedimiento para la dosificación de los materiales se realizó a partir de hacer una prueba con la proporción más común en el concreto Portland normal, pero con los materiales mencionados para el concreto polimérico, y a partir de ahí analizar los resultados y tratar de mejorar según lo observado y experimentado en los ensayos.

4.1. Procedimiento de cálculo

Cada proporción se hizo para un volumen de 1 000 mililitros. Encontrando de esta forma la cantidad de resina, agregado fino y agregado grueso. Se utilizó un 0,1 por ciento del volumen total de catalizador.

- Proporción 1:2:3

Volumen total de 1 000 ml

$$1x + 2x + 3x = 1\ 000$$

$$6x = 1\ 000$$

$$x = \frac{1\ 000}{6}$$

$$x = 166,67$$

$$\text{Resina} = 166,67 \text{ ml}$$

$$\text{Arena} = 333,33 \text{ ml} * 2,1 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} = 700 \text{ kg}$$

$$\text{Piedrin} = 500 \text{ ml} * 2,8 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} = 1\,400 \text{ kg}$$

Catalizador = 0,1 % del volumen total

- Proporción 1:2,5:3

Volumen total 1 000 ml

$$1x + 2,5x + 3x = 1\,000$$

$$6,5x = 1\,000$$

$$x = \frac{1\,000}{6,5}$$

$$x = 153,85$$

$$\text{Resina} = 153,85$$

$$\text{Arena} = 384,63 * 2,1 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} = 807,72 \text{ kg}$$

$$\text{Piedrin} = 461,55 * 2,8 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} = 1\,292,34 \text{ kg}$$

Catalizador = 0,1 % del volumen total

4.2. Análisis y determinación de resistencia

Con los resultados de los ensayos realizados se procedió a calcular la resistencia a compresión de cada proporción y la resistencia a flexión según el refuerzo y la distribución del mismo, buscando cada vez una proporción óptima para la tapadera de pozos de visita en planta externa.

Procedimiento de cálculo

$$P_{\text{max}} = 2\,000 \text{ psi}$$

Gato de 10 toneladas, área efectiva = 2,24 pulg²

Área del prisma = 3,87 pulg²

F = 2 000 psi * 2,24 pulg²

F = 4 480 lb

Resistencia = $\frac{4\,480\text{ lb}}{3,875\text{ plg}^2}$

Resistencia = 1 156,13 psi

Resistencia = 81,45 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Tabla II. **Datos de las proporciones que se realizaron para ensayar a compresión**

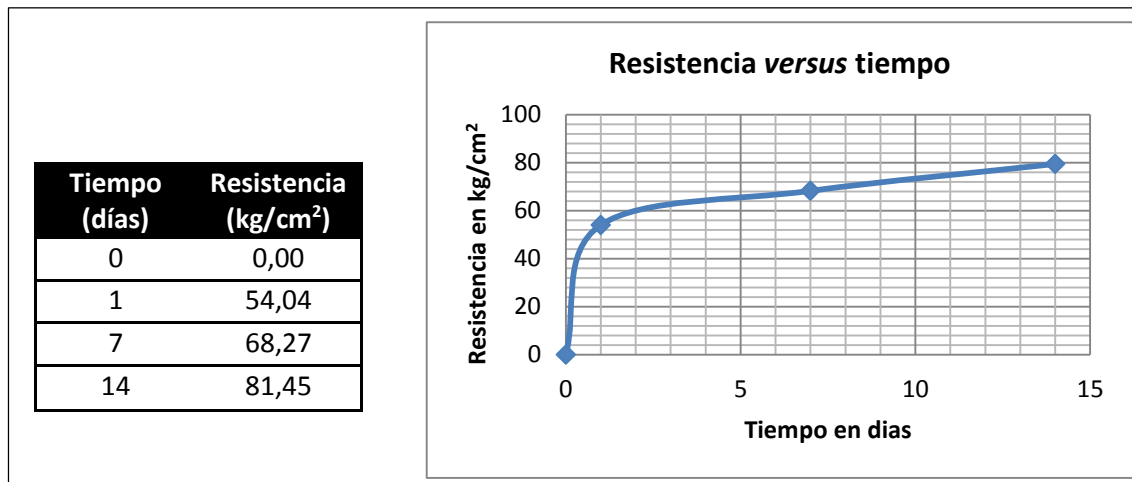
| | Proporción | X | Resina (ml) | Arena (kg) | Piedrín (kg) | Polvo de mármol (kg) | Mármol (kg) | Puzolana (kg) | Balastro (Kg) |
|----------|-------------|--------|-------------|------------|--------------|----------------------|-------------|---------------|---------------|
| P | 1:2:3 | 166,67 | 166,67 | 700,01 | 1 400,030 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| M | 1:2:3 | 166,67 | 166,67 | 466,68 | 0,000 | 233,3380 | 1 250,03 | 0,00 | 0,00 |
| A | 1:2,5:3 | 153,85 | 153,85 | 538,48 | 1 292,340 | 269,2375 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| B | 1:2:2 | 200,00 | 200,00 | 840,00 | 0,000 | 0,0000 | 1 000,00 | 0,00 | 0,00 |
| C | 1:2,5:1,5 | 200,00 | 200,00 | 700,00 | 560,000 | 350,0000 | 250,00 | 0,00 | 0,00 |
| D | 1:2,5:1,5 | 200,00 | 200,00 | 350,00 | 280,000 | 700,0000 | 500,00 | 0,00 | 0,00 |
| E | 1:2:2=1:4 | 200,00 | 200,00 | 1 680,00 | 0,000 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| F | 1:2,5:1,5 | 200,00 | 200,00 | 1 050,00 | 840,000 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| G | 1:2,5:2 | 181,82 | 181,82 | 318,19 | 1 018,190 | 636,3700 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H | 1:2,5:2,5 | 166,67 | 166,67 | 875,02 | 1 166,690 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| I | 1,5:1,5:2 | 200,00 | 300,00 | 0,00 | 1 120,000 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 | 900,00 |
| J | 1,5:1,5:2 | 200,00 | 300,00 | 0,00 | 1 120,000 | 0,0000 | 0,00 | 450,00 | 450,00 |
| K | 1:1,5:1,5 | 200,00 | 200,00 | 0,00 | 840,000 | 0,0000 | 0,00 | 450,00 | 450,00 |
| L | 3:1,5:1 | 181,82 | 545,46 | 0,00 | 509,096 | 0,0000 | 0,00 | 204,55 | 613,64 |
| N | 2:1,5:3 | 181,82 | 363,64 | 0,00 | 1 527,290 | 0,0000 | 0,00 | 204,55 | 613,64 |
| O | 3:2:1 | 166,67 | 500,00 | 0,00 | 466,676 | 0,0000 | 0,00 | 250,01 | 750,02 |
| Q | 3:2:2 = 3:4 | 142,86 | 428,57 | 0,00 | 0,000 | 0,0000 | 0,00 | 428,58 | 642,87 |

Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Proporción P

De acuerdo con la tabla de proporciones y las gráficas de resistencia, se puede observar que la resistencia del concreto varía significativamente. La mezcla que contiene mármol y polvo de mármol es más resistente que la mezcla que contiene piedrín, ya que la proporción es la misma, lo que varía es el cambio de mármol por piedrín y la inclusión de polvo de mármol en la proporción de arena.

Figura 5. Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción P

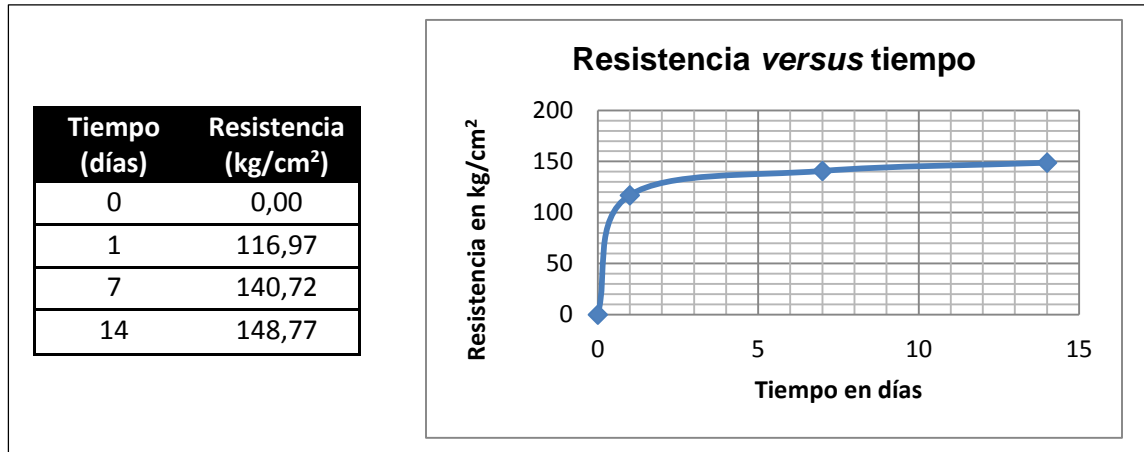


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.2. Proporción M

La proporción M varía con respecto a la proporción P en la inclusión de polvo de mármol en la parte del agregado fino y la sustitución del piedrín por el mármol, obteniendo un resultado satisfactorio, ya que la resistencia a la compresión aumentó.

Figura 6. **Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción M**

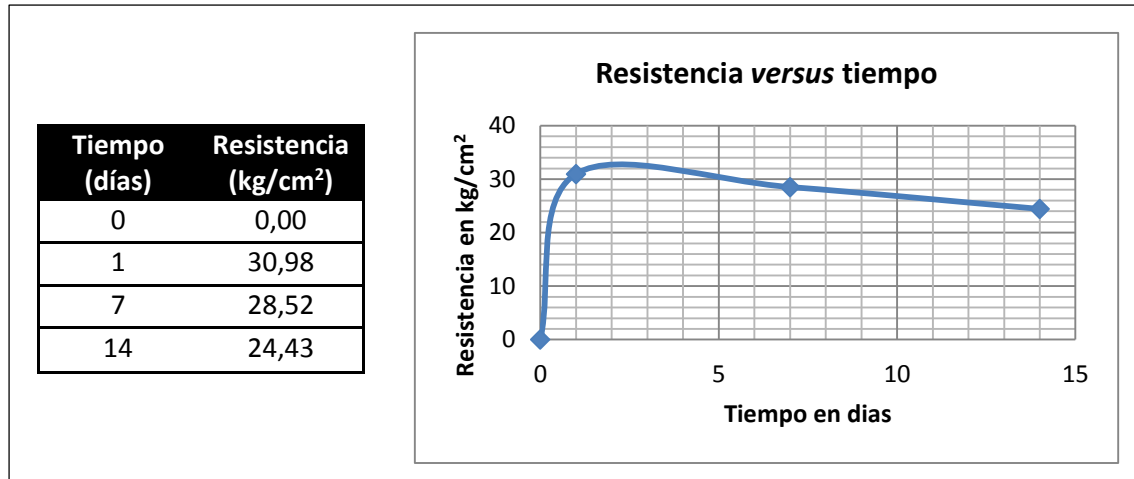


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.3. Proporción A

De acuerdo a los resultados de los ensayos anteriores se pretendió que un porcentaje de polvo de mármol incluido en la arena podría aumentar la resistencia, en la mezcla P, esto buscando una proporción más económica.

Figura 7. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción A**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

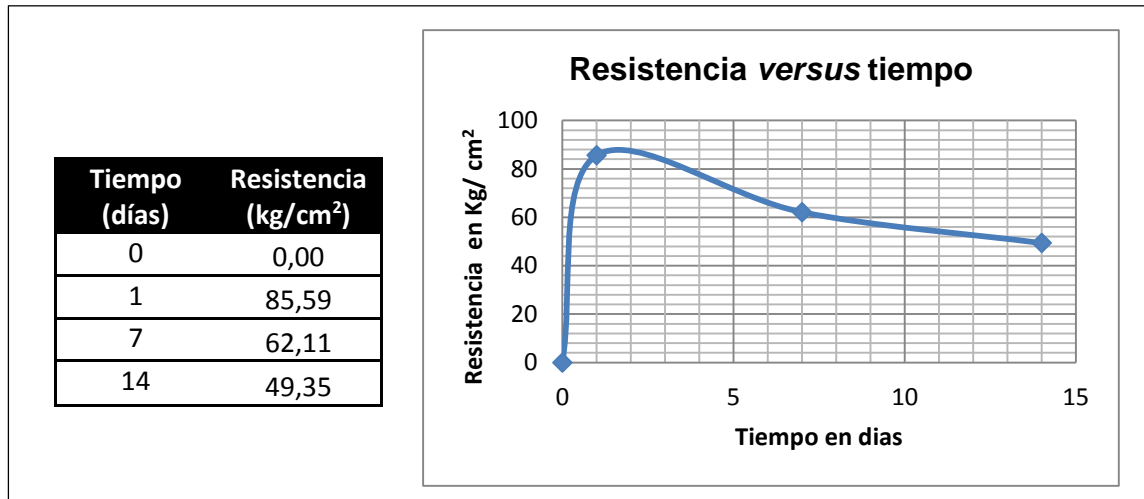
El resultado de la inclusión de polvo de mármol en la proporción de arena es negativo o se podría decir que el polvo de mármol no funciona o no trabaja bien con el pedrín, ya que en la proporción M si trabajó bien con el mármol.

Se puede observar en la gráfica que la resistencia es menor e incluso disminuye con el tiempo.

4.2.4. Proporción B

La proporción B tampoco tuvo resultados positivos, ya que al inicio obtiene una alta resistencia, pero disminuye con el tiempo, como se puede observar en la figura 8.

Figura 8. **Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción B**

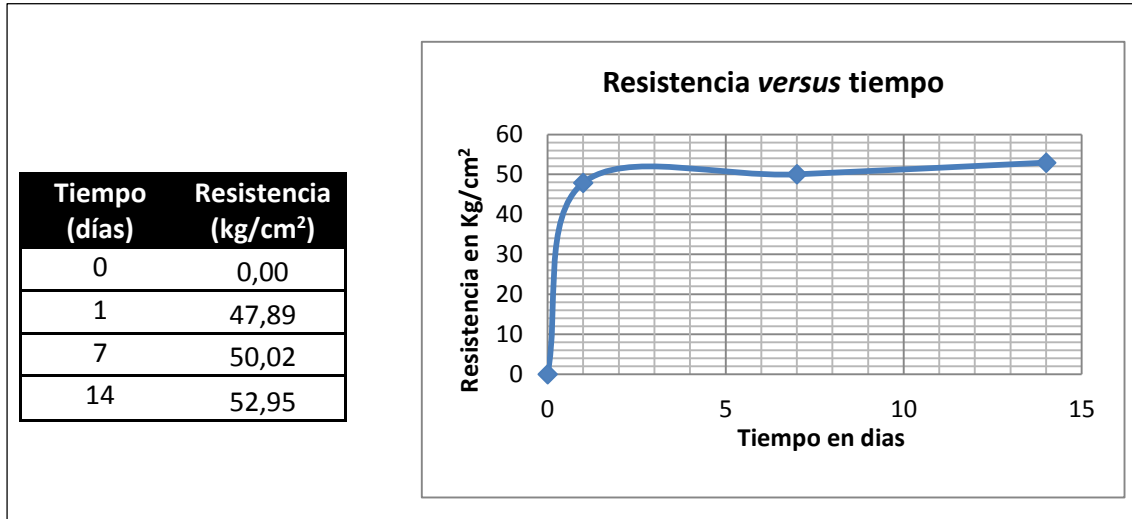


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.5. **Proporción C**

De acuerdo a lo observado en los ensayos anteriores se trató de hacer una mezcla que combinará todos los materiales usados anteriormente buscando una proporción resistente y económica.

Figura 9. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción C**



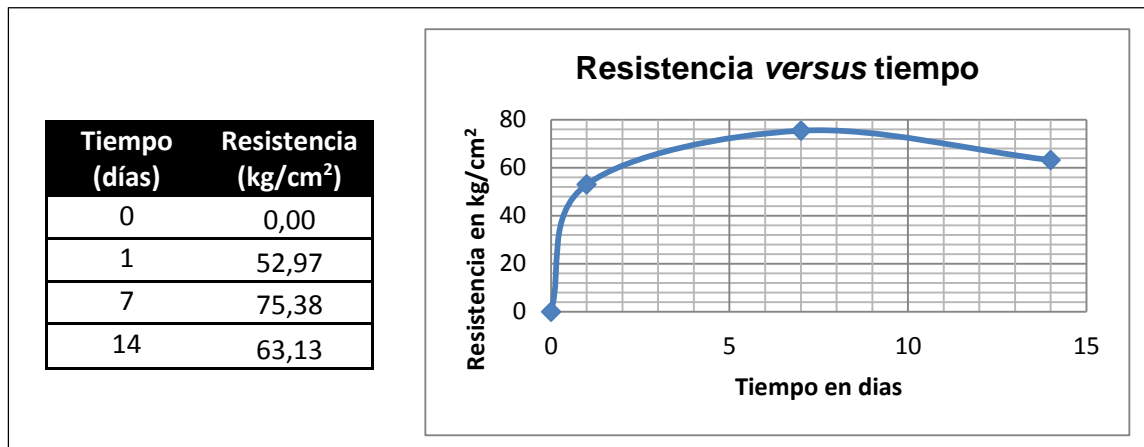
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Se obtuvo un resultado no satisfactorio, ya que no aumentó o no superó la resistencia de la proporción M y de acuerdo a la proporción se observa que incluye un porcentaje mayor de piedrín que el mármol, y con esto se corrobora que la resistencia aumenta con el uso del mármol.

4.2.6. Proporción D

Se vuelve a corroborar que el mármol trabaja mejor en el concreto polimérico, ya que la resistencia aumentó, comparada con la proporción C, porque la actual tiene un porcentaje mayor de mármol comparado con el piedrín.

Figura 10. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción D**



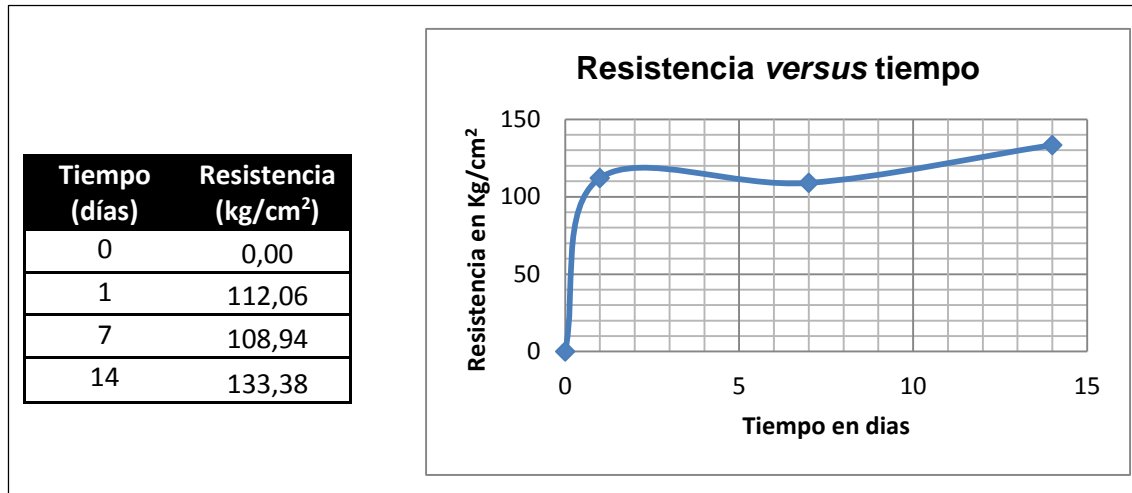
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.7. Proporción E

Se hizo una prueba utilizando solo agregado fino.

Los resultados obtenidos con esta proporción fueron buenos, en el sentido que estéticamente se ve mejor. La resistencia no es tan baja comparada con las demás, a excepción de la proporción M, pero es más económica.

Figura 11. Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción E

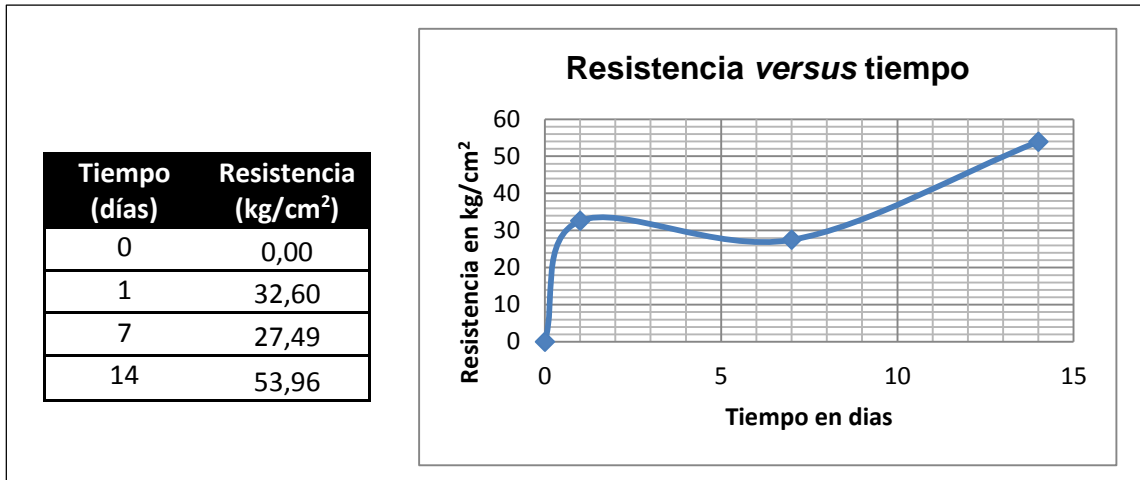


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.8. Proporción G

Con estos resultados se vuelve a comprobar que el polvo de mármol no trabaja bien con el pedrín en el concreto polimérico, pero comparado con la proporción A, que es semejante a la proporción G, la resistencia aumentó, con la diferencia que la proporción de agregado grueso es menor en la proporción G.

Figura 12. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción G**

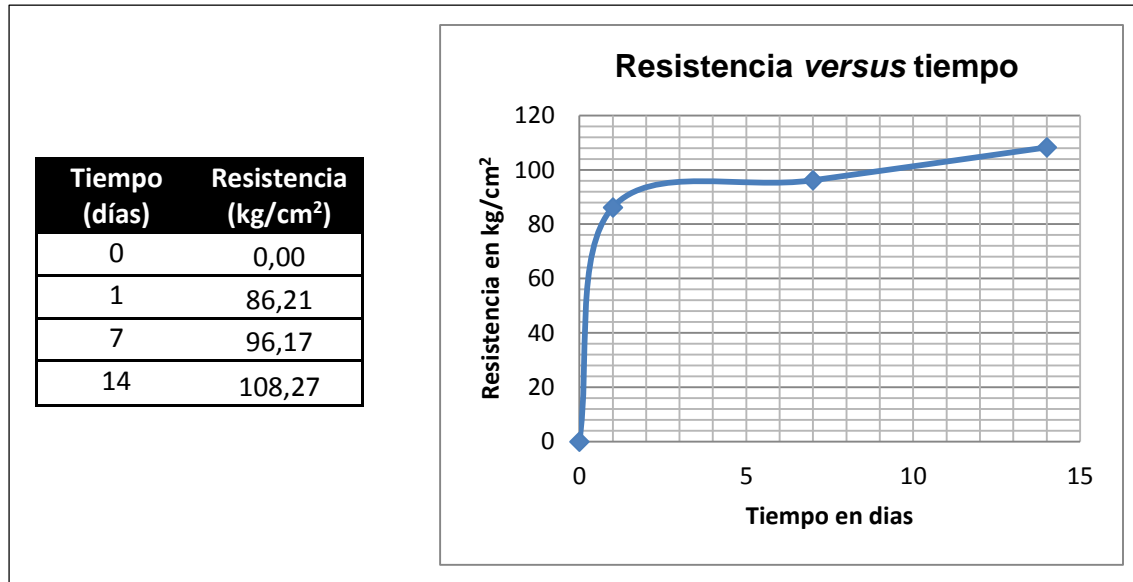


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.9. Proporción H

Se vuelve a comprobar con estos resultados que la resistencia es inversamente proporcional a la cantidad de agregado grueso que hay en la mezcla, ya que comparando la proporción H y la proporción P, que solo varían en la cantidad de agregado grueso. La resistencia es mayor en la que tiene menor cantidad de agregado grueso.

Figura 13. Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción H

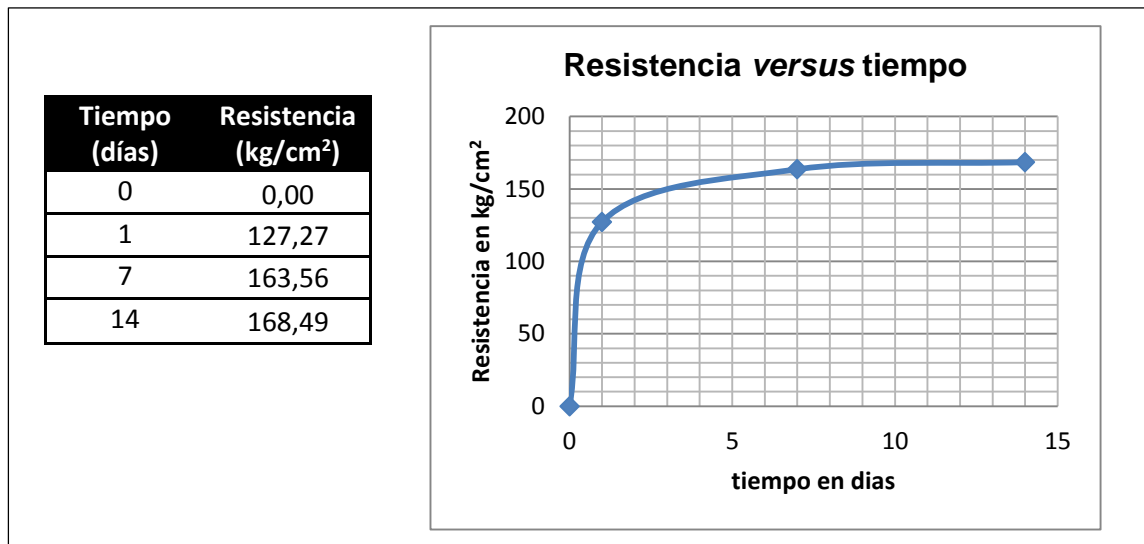


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.10. Proporción I

Esta proporción contiene materiales que no se habían incluido en las proporciones anteriores, como el balastro.

Figura 14. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción I**



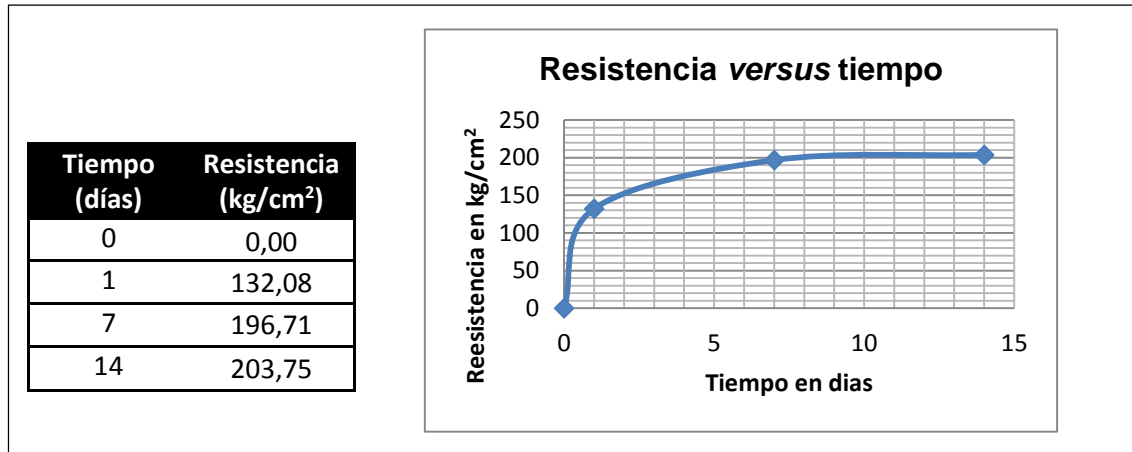
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Se observa los resultados en la gráfica y según el cuadro de proporciones, esta mezcla nos proporciona una resistencia máxima de 168,5 kg/cm², este es un aumento significativo, indicando que el balastro y el aumento en la proporción de la resina proporcionan una mayor resistencia.

4.2.11. Proporción J

En esta nueva proporción se vuelve a incluir un nuevo material: la puzolana, un porcentaje en la parte del balastro.

Figura 15. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción J**



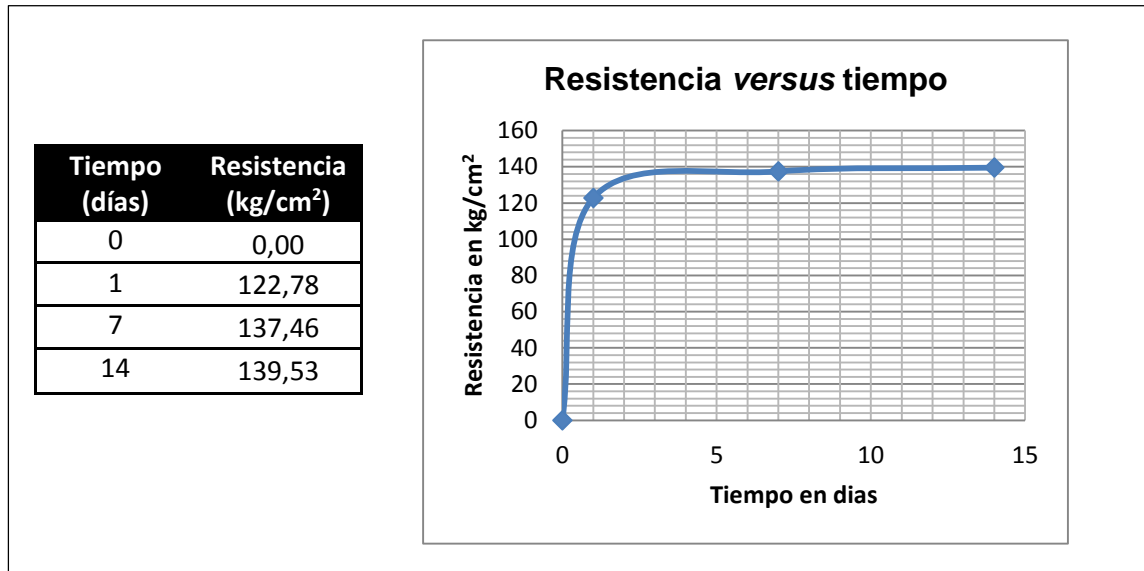
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Se obtuvo resultados favorables, como se puede observar, la resistencia aumentó a 203,75 kg/cm², y por ende se afirma que la inclusión de puzolana en la mezcla aumenta la resistencia del concreto.

4.2.12. Proporción K

Con esta mezcla se buscó una proporción más económica, reduciendo la cantidad de resina, pero se vuelve a comprobar que la cantidad de resina en la mezcla es proporcional a la resistencia del concreto.

Figura 16. Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción K

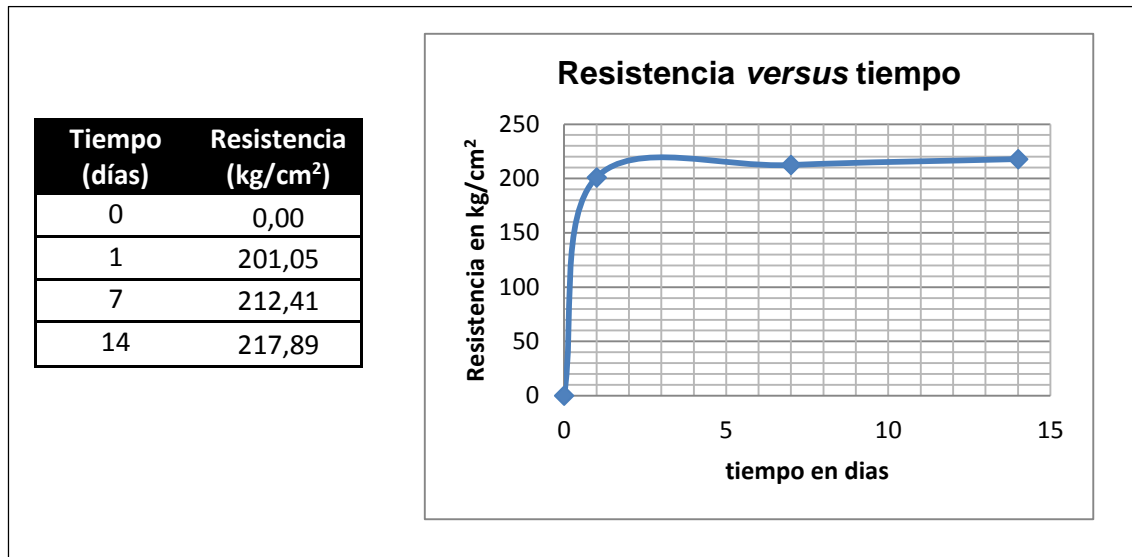


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.13. Proporción L

Se buscó con esta proporción un concreto más económico, obteniendo un resultado desfavorable en este sentido. Como se puede observar en la gráfica, ya que el costo de la resina poliéster es muy elevado de acuerdo a lo que rinde.

Figura 17. Gráfico de resistencia *versus* tiempo, proporción L

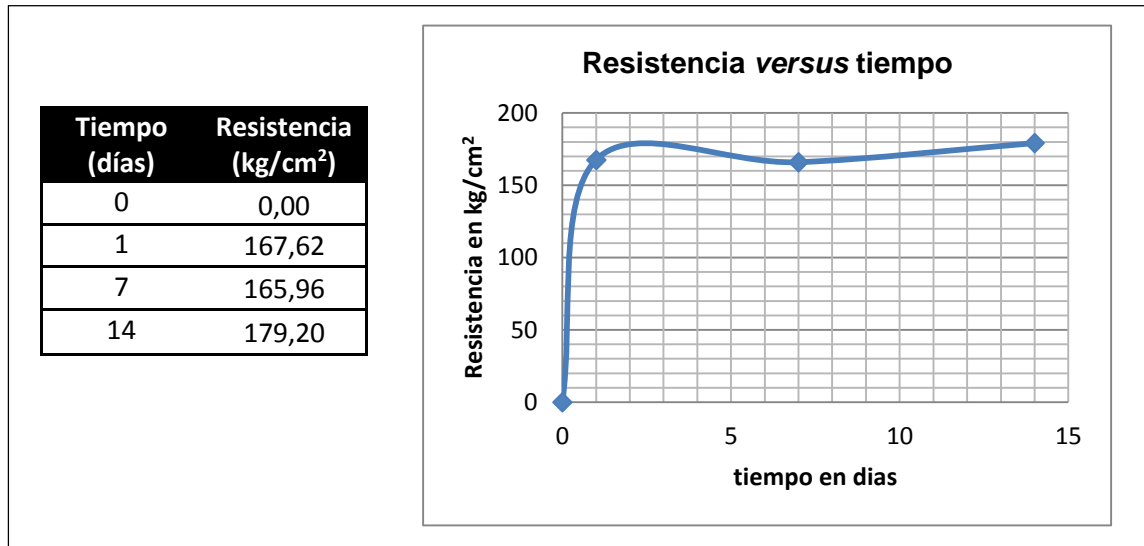


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.14. Proporción N

Con este resultado se vuelve a corroborar la teoría que se obtuvo de acuerdo a los ensayos anteriores, que la cantidad de resina en la mezcla es proporcional a la resistencia del concreto polimérico y que la cantidad de pedrín en la mezcla es inversamente proporcional a la resistencia del concreto mismo.

Figura 18. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción N**

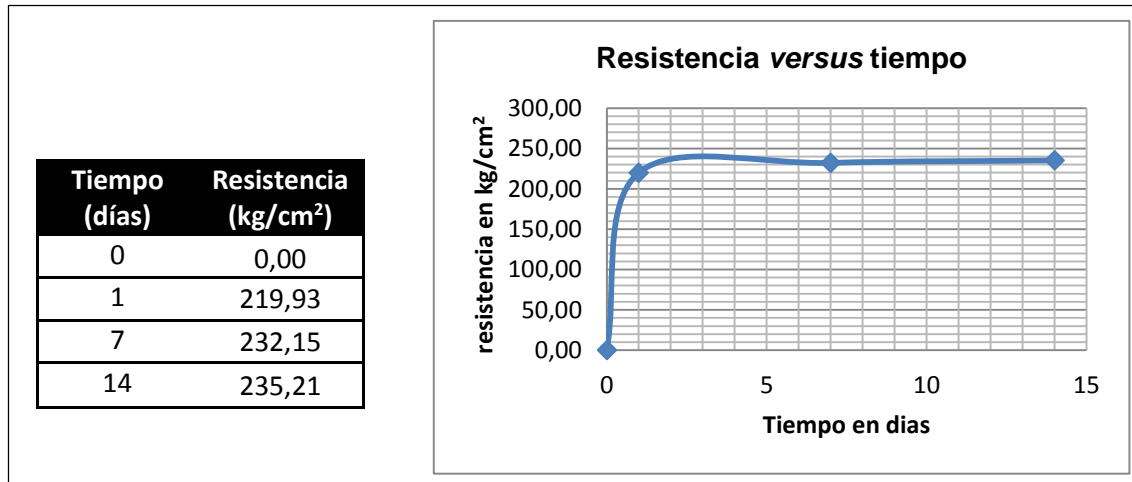


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2.15. Proporción O

Con los resultados de esta proporción se procedió a realizar los ensayos a flexión, ya que con esta resistencia a compresión y con la teoría que se obtuvo en los ensayos anteriores se podría llegar a encontrar las proporciones óptimas para la tapadera de concreto polimérico.

Figura 19. **Gráfico de resistencia versus tiempo, proporción O**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.3. Resultados de ensayos por flexión

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en las vigas 1, 2, 3 y 4, variando el refuerzo y la distribución del mismo, como se observa en la tabla III.

Tabla III. **Refuerzo y distribución en vigas de concreto polimérico**

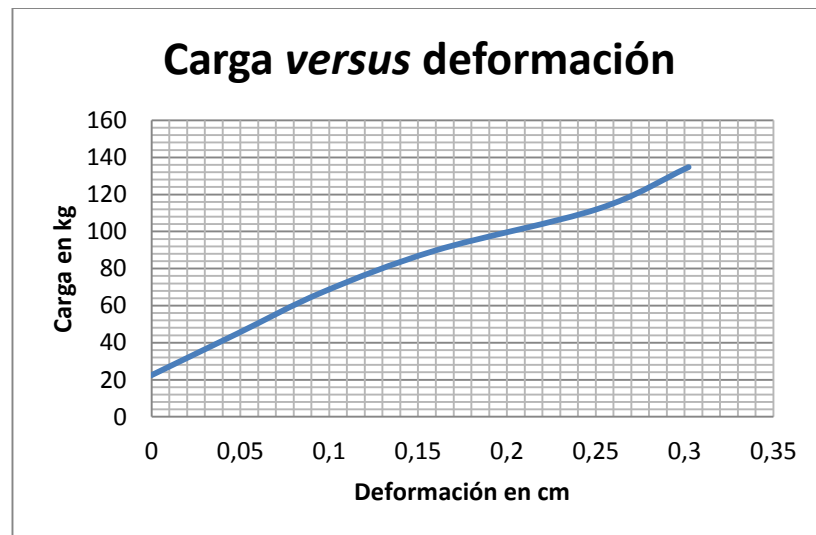
| | Refuerzo | Distribución |
|---------------|---------------------------|--|
| Viga 1 | Malla de gallinero | Una capa a 3 cm de la parte inferior |
| Viga 2 | Fibra de vidrio pelitos | Homogénea en la mezcla |
| Viga 3 | Fibra de vidrio petatillo | Una capa a 3 cm de la parte inferior |
| Viga 4 | Fibra de vidrio petatillo | Tres capas dobles distribuidas proporcionalmente |

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Viga 1

Se observó que la malla de gallinero no tuvo buena adherencia, lo que puede provocar que no fluya y ocurra una falla brusca. Esto se dio, ya que a poca aplicación de carga el concreto falló, rompiendo fácilmente la malla de gallinero, provocando que la viga se hiciera en dos, en la parte central.

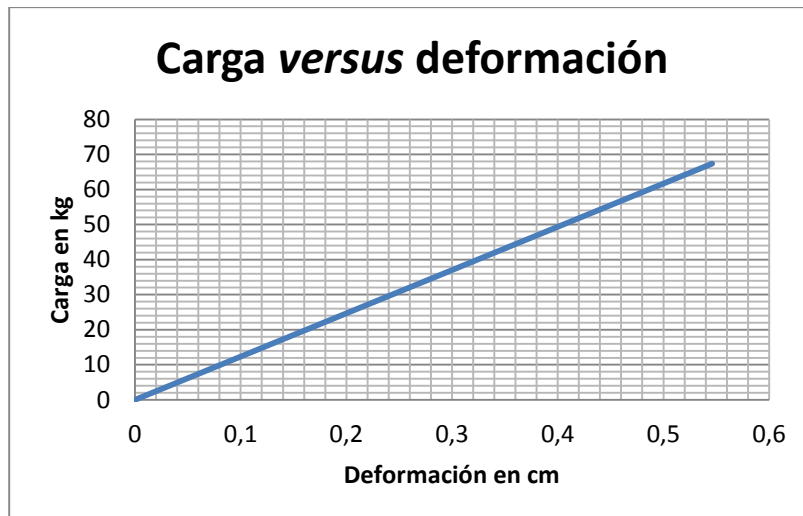
Figura 20. Diagrama de carga *versus* deformación, viga 1



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.3.2. Viga 2

Figura 21. Diagrama de carga *versus* deformación, viga 2



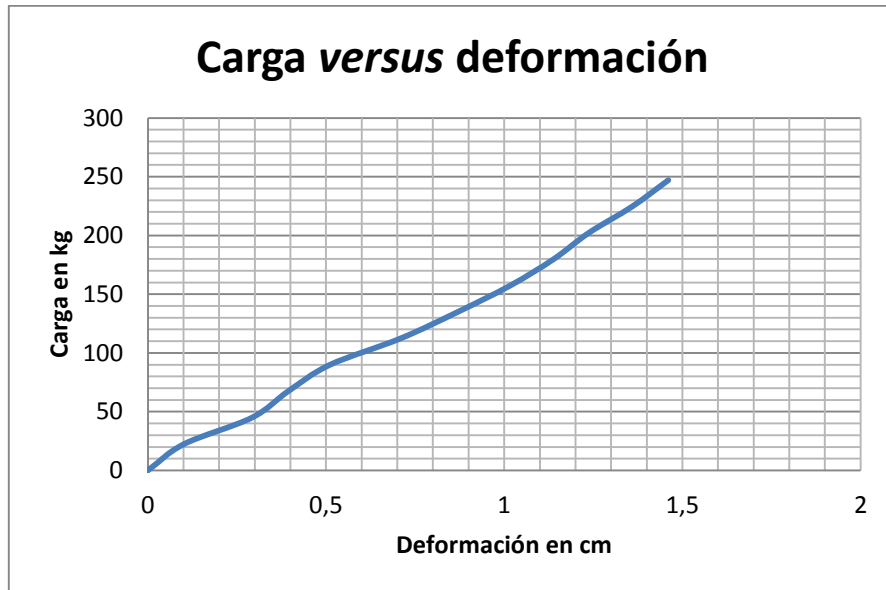
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Con este ensayo se observó que la fibra de vidrio de tipo pelito (pequeñas franjas) no proporciona ninguna resistencia a la flexión pues a poca aplicación de carga la viga se hizo en dos en la parte central, sin poder tomar más de dos lecturas de deformación.

4.3.3. Viga 3

La fibra de vidrio de tipo petatillo sí proporciona buena adherencia al concreto y proporciona resistencia a la flexión, según los resultados que se presentan en la figura 22.

Figura 22. Diagrama de carga *versus* deformación, viga 3

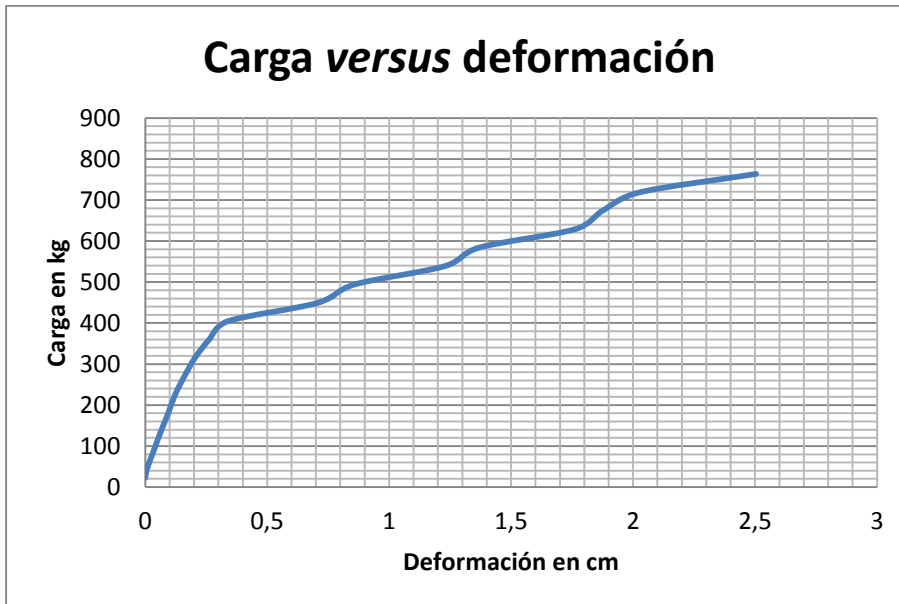


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.3.4. Viga 4

Con los resultados obtenidos se puede observar que es más resistente la fibra de vidrio de tipo petatillo. También, que la fibra de vidrio es más adherible al concreto polimérico en comparación con la malla de gallinero.

Figura 23. **Diagrama de carga versus deformación, viga 4**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

De esta forma se decidió utilizar fibra de vidrio de tipo petatillo y variar el número de capas y la distribución.

4.4. Resultados de ensayos de tapaderas

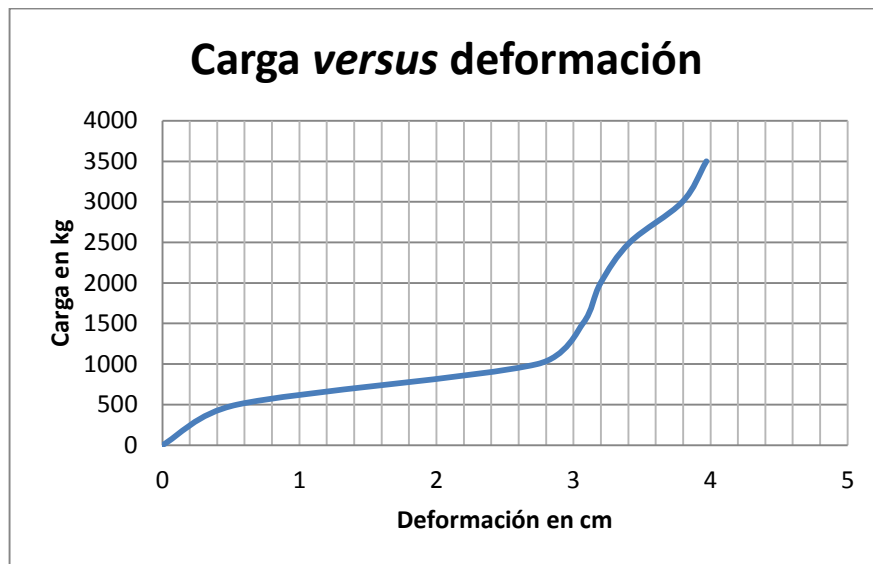
A continuación se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de las diferentes tapaderas, también las proporciones utilizadas, el refuerzo y la distribución del mismo.

4.4.1. Tapadera de concreto normal

- Proporción: 1:2:3
- Espesor: 5 centímetros

- Refuerzo: Una varilla de 3/8 a cada 5 centímetros en ambos sentidos

Figura 24. **Diagrama de carga *versus* deformación, tapadera de concreto normal**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Los resultados del ensayo de concreto normal muestran un comportamiento frágil, ya que la falla fue brusca, su deformación es notable y no tiene recuperación, lo que indica y se puede observar en la gráfica, que el módulo de elasticidad es muy pequeño, es de 250 kilogramos. La carga máxima alcanzada es de 3 500 kilogramos.

El tiempo de fraguado del concreto fue de aproximadamente 4 días para quitarle la formaleta y se ensayó a los 28 días de la fundición, obteniendo estos resultados. La tapadera no pudo ser manipulada por una sola persona, ya que el peso era aproximadamente de 150 libras.

La tapadera presenta un número significativo de grietas que no permitirían seguir funcionando de ninguna manera pues, además de no cumplir con la carga mínima requerida, no tiene recuperación de la deformación ocasionada por la carga aplicada.

Figura 25. **Tapadera de concreto normal después del ensayo**

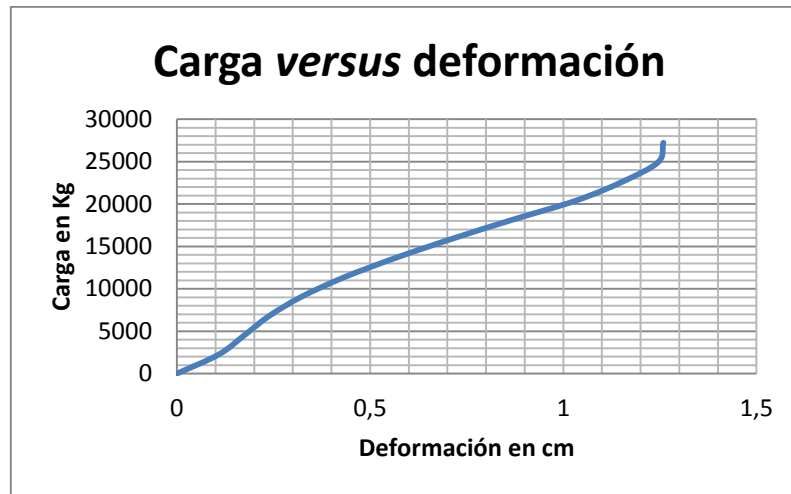


Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.4.2. Tapadera de concreto polimérico 1

- Proporción: O (3:2:1).
- Espesor: 7 centímetros.
- Refuerzo: a partir de la primera pulgada de espesor se colocó un lienzo simple de fibra de vidrio tipo petatillo, luego de esta, a cada centímetro de separación se colocó doble lienzo.

Figura 26. **Diagrama de carga *versus* deformación, tapadera de concreto polimérico 1**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Como se muestra en la gráfica de carga contra deformación, se puede observar que la zona elástica es muy pequeña comparada con la carga total aplicada, y se ubica hasta las 2 500 kilogramos de carga presentando una deformación de 0,109 centímetros. Esto debido a la propiedad de tenacidad del material, sus fallas son del tipo: frágil y abruptas; sin embargo, la resistencia es alta y los lienzos de fibra de vidrio le confieren al elemento mayor capacidad de soportar esfuerzos de tensión.

La carga máxima alcanzada cubre hasta un factor de seguridad de 2,2 veces la carga mínima requerida. Es decir, se cubre por mucho las cargas de servicio requeridas.

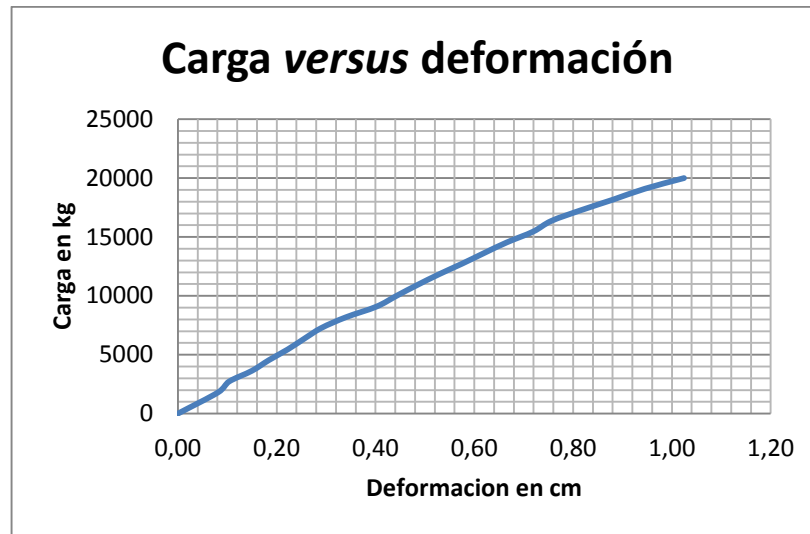
Se buscó que la tapadera fuera manipulada por una sola persona, poniendo un peso aproximado de manipulación de (90 - 95) libras. No se cumple con este peso requerido, pues se sobrepasó en 70 libras aproximadamente.

El tiempo de fraguado fue de aproximadamente 4 horas a partir de la última capa de concreto en la tapadera (12:00 PM – 4:00 PM), generando ésta una temperatura de 90 °F debido a la reacción de polimerización.

4.4.3. Tapadera concreto polimérico 2

- Proporción: O (3:2:1).
- Espesor: 5 centímetros.
- Refuerzo: a partir del primer centímetro de espesor se colocó un lienzo simple de fibra de vidrio tipo petatillo, luego de esta a cada centímetro de separación se colocó doble lienzo.

Figura 27. **Diagrama de carga *versus* deformación, tapadera de concreto polimérico 2**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

La zona elástica es muy pequeña comparada con la carga total aplicada, y se ubica hasta las 800 kilogramos. De carga, presentando una deformación de 0,3 centímetros.

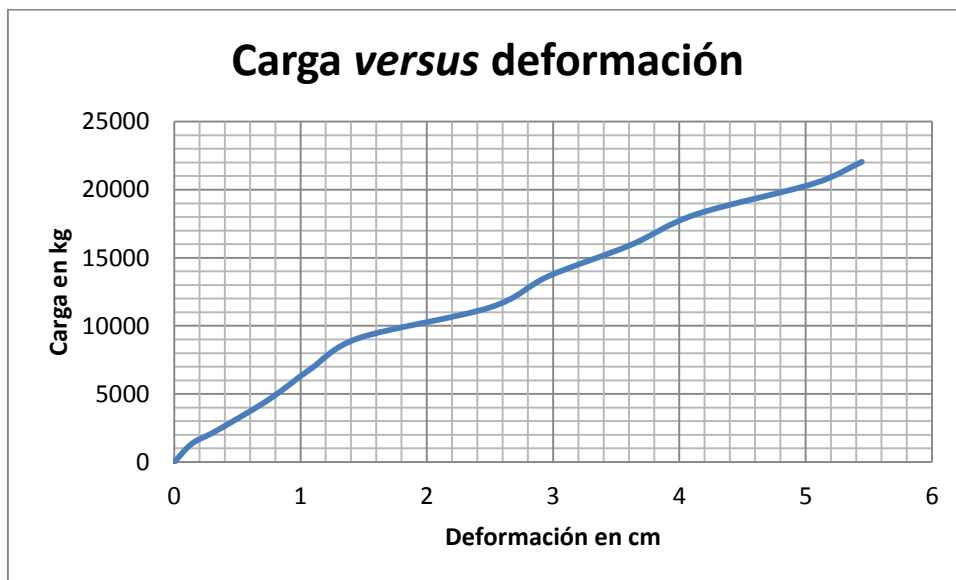
Con este ensayo se cumplió con el requerimiento del peso de la tapadera 93,5 libras. Pero lo más importante, que es la resistencia, bajó demasiado; esto debido a la disminución del espesor y otras características que se trataron de corregir en el ensayo de la tapadera posterior.

El tiempo de fraguado fue aproximadamente de 3 a 4 horas, debido a que la cantidad de material era menor al igual que la cantidad de catalizador.

4.4.4. Tapadera de concreto polimérico 3

- Proporción: O (3:2:1), en este caso se decidió intentar o comprobar la teoría en los ensayos de compresión, por lo que se realizó solo con agregado fino.
- Espesor: 5 centímetros.
- Refuerzo: a partir del primer centímetro de espesor se colocó un lienzo simple de fibra de vidrio tipo petatillo, luego de esta, a cada centímetro de separación se colocó doble lienzo.

Figura 28. **Diagrama de carga *versus* deformación, tapadera de concreto polimérico 3**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Los resultados no son satisfactorios para la resistencia, ya que no aumentó significativamente, como se puede observar en la figura 28, de 22 000 kilogramos.

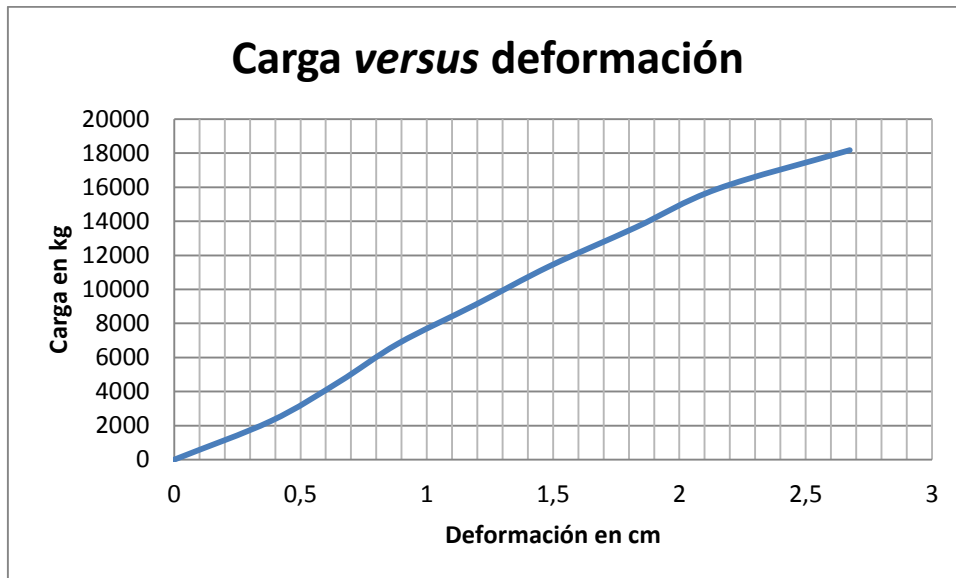
Pero la teoría sigue vigente, ya que aumenta la resistencia en la ausencia del agregado grueso.

Ahora es necesario hacer cambios en la parte de la tensión que es resistida por la fibra de vidrio, aumentando el número de capas de fibra.

4.4.5. Tapadera de concreto polimérico 4 y 5

- Proporción: O (3, 2,1), en este caso se decidió continuar con la teoría de utilizar solo agregado fino.
- Espesor: 5 centímetros.
- Refuerzo: se realizaron dos tapaderas con diferentes distribuciones de la fibra de vidrio.
 - A partir del primer centímetro de espesor se colocó un lienzo simple, en el eje neutro una capa doble y posteriormente una capa triple.

Figura 29. **Diagrama de carga versus deformación, tapadera de concreto polimérico 4**

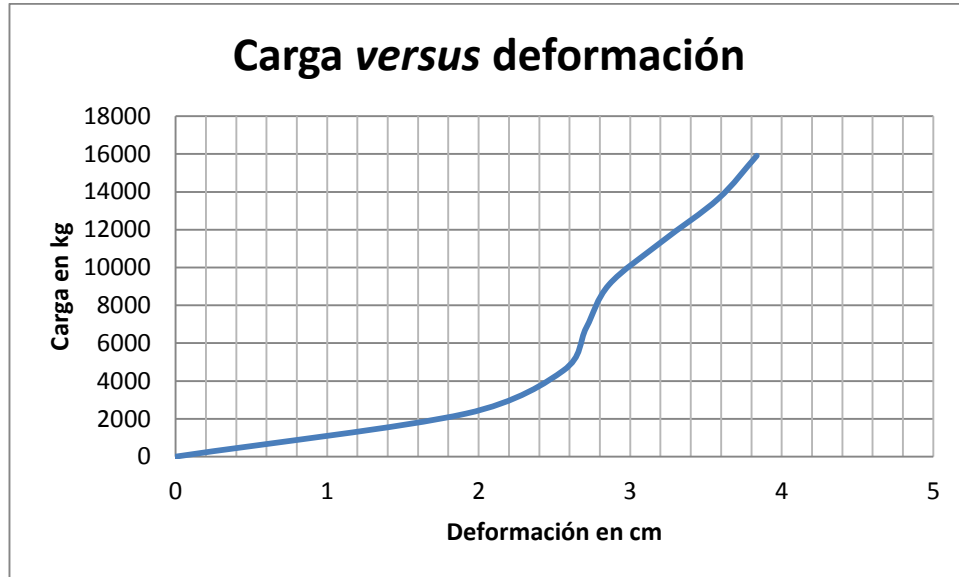


Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

El ensayo no muestra resultados satisfactorios, ya que la resistencia disminuye, pero con lo observado de este ensayo se puede decir que la distribución de la fibra de vidrio sí influye en el comportamiento y resistencia de la tapadera.

- Seis capas individuales, distribuidas uniformemente en la tapadera quedando la última al ras.

Figura 30. **Diagrama de carga versus deformación, tapadera de concreto polimérico 5**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

De nuevo se obtuvieron resultados negativos, la resistencia disminuye aún más en este ensayo.

Al terminar el ensayo de las últimas dos tapaderas se observó que la tapadera actúa como una viga simplemente apoyada y que el refuerzo colocado por encima del eje neutro no desarrolla mayor esfuerzo, ya que al examinar las tapaderas ya ensayadas se pudo observar que las capas de fibra ubicada por encima del eje neutro no sufrió ruptura alguna, como las que están por debajo del eje neutro.

Figura 31. **Tapadera, bajo el eje neutro**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 32. **Tapadera, sobre el eje neutro**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

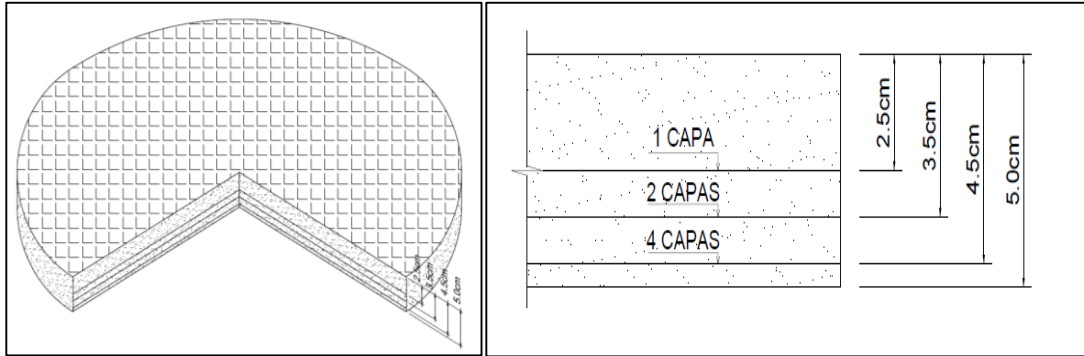
Se utilizó una tijera de lámina para examinar las otras capas, ya que esta no sufrió rompimiento, por lo cual se puede decir que estas no sufren ningún esfuerzo y por ende se dice que: el refuerzo hay que colocarlo por debajo del eje neutro.

También se observó que la humedad en los agregados afecta significativamente la resistencia del concreto polimérico, el agua hace que la resina no proporcione la adherencia que se requiere, ya que al generarse la reacción química cuando se agrega el catalizador, esta genera una temperatura elevada que hace que la humedad se evapore y no le permite la adherencia.

4.4.6. Tapadera de concreto polimérico 6

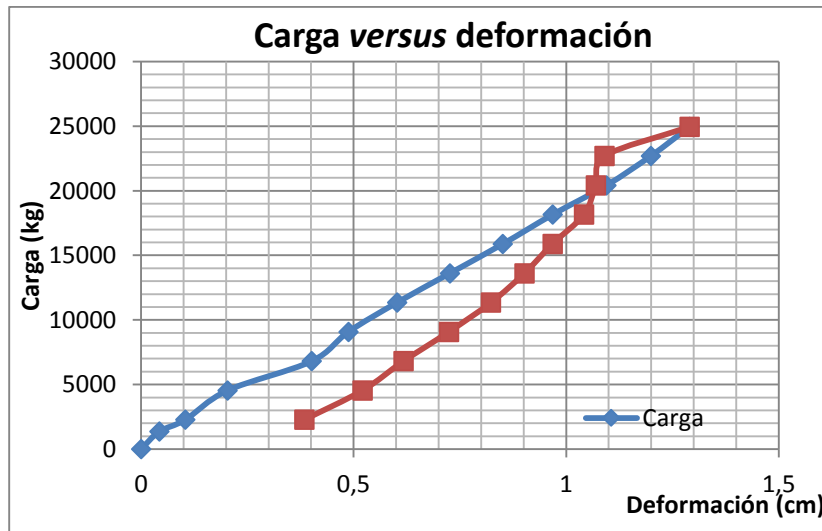
- Proporción: O (3:2:1), en este caso se decidió continuar con la teoría de utilizar solo agregado fino y tomando en cuenta que el ensayo de la mezcla E no se previno la humedad en los agregados, se pone nuevamente arena de río como agregado fino.
- Espesor: 5 centímetros.
- Peso de la tapadera 95 libras.
- Refuerzo: esta cuenta con siete capas de fibra de vidrio, colocadas como se muestra a continuación:

Figura 33. **Distribución de capas de fibra de vidrio tapadera concreto polimérico 6**



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD.

Figura 34. **Diagrama de carga *versus* deformación de la primera aplicación de la carga**



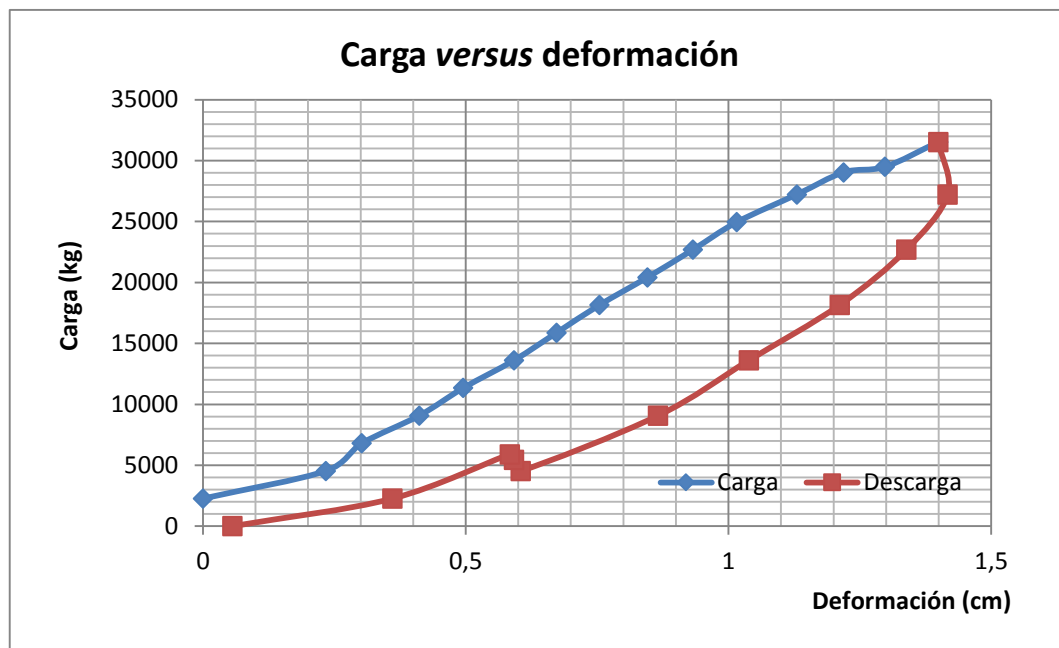
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Primero se aplicó carga gradualmente hasta cumplir con el factor de seguridad. En seguida se descargó para observar la recuperación de la muestra.

Obteniendo un resultado satisfactorio al alcanzar la capacidad de carga solicitada con un factor de seguridad de 2.

Al momento de llegar a la carga de 24,95 toneladas, se obtuvo una deformación de 1,29 centímetros. En este punto la tapadera no presentó fisuras.

Figura 35. **Diagrama de carga *versus* deformación de la segunda aplicación de la carga**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

En la segunda aplicación de carga se le llevó hasta el punto que la tapadera presento una deformación considerable. Lo notable fue la recuperación que tuvo, ya que aún presentaba resistencia a la carga aplicada.

En la segunda aplicación de carga se llegó hasta una capacidad de 31,53 toneladas obteniéndose una deformación de 1,40 centímetros. En este punto se escuchó un rompimiento en las fibras de vidrio, sin presentar fisuras visibles.

Del ensayo realizado se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla IV. **Datos de carga aplicada**

| Carga de diseño (kg) | Carga de trabajo (kg) |
|-----------------------------|------------------------------|
| 24 000 | 31 533,57 |

Fuente: elaboración propia.

El factor de seguridad de la tapadera es de 2,63.

Las deformaciones obtenidas en la carga y recuperación fueron las que se muestran en la tabla V:

Tabla V. **Deformaciones antes y después de aplicación de carga, tapadera concreto polimérico 6**

| | Carga (kg) | Deformaciones en la carga (cm). | Deformaciones en la recuperación (cm) |
|---------------------------|-------------------|--|--|
| Primera aplicación | 24 954,63 | 1,29 | 0,380 |
| Segunda aplicación | 31 533,57 | 1,40 | 0,056 |

Fuente: elaboración propia.

La tendencia lineal de la curva en el primer ciclo de carga, indica que la tapadera trabajo como un sistema, sin llegar al rompimiento de sus componentes: concreto polimérico y fibra de vidrio.

En el segundo ciclo de carga, su comportamiento hasta la carga del orden de las 29 toneladas, al igual que en el primer ciclo de carga fue lineal, al pasar los 29 000 kilogramos, la gráfica muestra la fluencia de la fibra de vidrio más extrema.

El tiempo de fraguado de esta tapadera fue aproximadamente de 2 horas pues al terminar la fundición de la misma, ya el concreto estaba endureciendo.

El peso específico del concreto polimérico es de 1 205 kg/m³ comparado con los 2 400 kg/m³ del concreto normal.

Figura 36. **Tapadera concreto polimérico 6 después del ensayo, lado inferior**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 37. **Tapadera concreto polimérico 6 después del ensayo, lado superior**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La recuperación para la primera aplicación de carga fue del 71 %, a 1 minuto de sesada la carga.

La recuperación de la segunda aplicación de carga, fue del 96 %, posterior a 4 minutos de sesada la carga.

La tapadera presentó un comportamiento dúctil satisfactorio.

4.4.7. Proporciones óptimas

Las proporciones óptimas son 3, 2, 1 y tomando en cuenta las teorías encontradas en los ensayos se utilizó solo agregado fino. Utilizando catalizador un 0,1 por ciento del volumen total. Refuerzo de fibra de vidrio tipo petatillo a partir del eje neutro hacia abajo.

CONCLUSIONES

1. El concreto polimérico en comparación con el normal es más liviano, fraguan en muy poco tiempo, alta resistencia a la compresión, es resistente a los ataques químicos, es impermeable.
2. Una mezcla de concreto polimérico es más resistente en la ausencia de humedad en los materiales incluidos. O podría decirse que es inversamente proporcional a la humedad en los materiales.
3. Según los ensayos realizados, la resistencia del concreto polimérico es inversamente proporcional a la cantidad de agregado grueso, es decir, que mientras más agregado grueso se incluya en la mezcla, disminuye la resistencia del concreto. Y es directamente proporcional a la cantidad de resina en la misma, es decir, que cuanto más resina se incluya en la mezcla, aumenta la resistencia del concreto.
4. Según lo observado en los ensayos, la tapadera trabaja como una viga simplemente apoyada; en la parte inferior al eje neutro trabaja a tensión y por encima del eje neutro trabaja a compresión.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que los materiales a utilizar estén completamente secos, ya que la presencia de humedad perjudica la adherencia de los materiales, así como su resistencia.
2. Colocar el refuerzo por debajo del eje neutro de la tapadera, pues esta actúa como una viga simplemente apoyada.
3. Utilizar si está en las posibilidades económicas la mayor cantidad de agregado fino y resina para obtener una resistencia más alta, pero no excederse en la cantidad de resina, ya que dejaría de ser un concreto.
4. Antes de agregar el catalizador a la mezcla de agregados y resina, verificar que la mezcla esté homogénea y tener preparadas las demás cosas como el refuerzo, molde, etc. Pues este acelera el endurecimiento del concreto.
5. El concreto polimérico es recomendable utilizarlo en tapaderas de cajas de visita en planta externa, pisos industriales, muebles, registros eléctricos, etc.
6. Es importante que los agregados cumplan con la Norma COGUANOR NGO 41007 o ASTM C 33.
7. Tomar en cuenta la temperatura ambiente, pues a temperaturas más elevadas la reacción de polimerización es más acelerada.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVELLÁN CRUZ, Martha Dina. *Asfaltos modificados con polímeros*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 124 p.
2. CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião Vicente. *Ciencia dos polímeros*. Brasil: Artliber Editora, 2006. 280 p.
3. PARRILLA CORZAS, Felipe. *Resinas poliéster: plásticos reforzados*. México: Felipe Parrilla Corzas, 1998. 232 p.
4. PÉREZ GODÍNEZ, Fernando. *Concreto polimérico comparado con el portland*. España: Académica Española, 2011. 180 p.
5. ROBINSON, HL. *Polymers in asphalt*. Reino Unido: Rapra Technology's Limited, vol. 15. 2004. 128 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Preparación del material después del secado**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 2. **Estimación de material por peso según el cálculo de la proporción**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 3. **Mezclado de los agregados en el recipiente**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 4. **Inclusión de la resina en los agregados**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 5. **Mezclado de la resina con los agregados**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 6. **Preparación del molde para la fundición de la tapadera**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 7. **Fundición de la tapadera**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 8. **Implementación del refuerzo**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 9. **Fundición posterior al refuerzo**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 10. **Detalles finales de la fundición**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 11. **Ensayo de tapadera**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 12. **Ensayo de tapadera, tomando lectura de la deformación**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 13. **Fundición de tapadera de concreto normal**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 14. **Análisis físico de los resultados de los ensayos**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 15. **Muestras ensayadas a compresión**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.