

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

ESTUDIO DE CONCRETO POLIMÉRICO CON CAUCHO DE DESECHO

Tesis Profesional para la obtención del Título de Ingeniero en Diseño

Presenta:

Estefania Espiritu Juárez

Con la dirección de:

Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez

LOMA BONITA, OAXACA, OCTUBRE 2021



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN INGENIERÍA EN DISEÑO

LA PRESENTE TESIS TITULADA "ESTUDIO DE CONCRETO POLIMÉRICO CON CAUCHO DE DESECHO", PRESENTADA POR LA PASANTE ESTEFANIA ESPÍRITU JUÁREZ, BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. LAURA PATRICIA RIVAS VAZQUEZ, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO.

JURADO EXAMINADOR

Laura Patricia Rivas Vázquez
DRA. LAURA PATRICIA RIVAS VÁZQUEZ
DIRECTOR

DR. ROBERTO SUAREZ ORDUÑA

REVISOR

DR. AXEL VILLÁVICENCIO TORRES

REVISOR



Universidad del Papaloapan

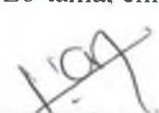
FECHA:	05 de Octubre del 2021
AREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NUMERO:	UNPA/VRA/083/2021
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

**C. ESTEFANIA ESPIRITU JUAREZ
P R E S E N T E:**

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Estudio de concreto polimérico con caucho de desecho”** así como la programación del examen profesional bajo la dirección de la Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,
terra ubérrima. mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú


MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vice-Rector Académico.



C.c.p. Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez. Jefa de Carrera de la Ing. en Diseño
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Archivo.

OAXACA



Universidad del Papaloapan

Campus Loma Bonita

Jefatura de la Carrera de Ingeniería en Diseño

Loma Bonita, Oaxaca a 1 de octubre de 2021

Clave: ID/05SE/2021

Asunto: Asignación de Sinodales para Examen de Titulación

Lic. Yesenia Barrientos Arenal
Jefa de Departamento de Servicios Escolares
Campus Loma Bonita
Presente

Por medio de la presente le informo la asignación de sinodales para el examen de titulación de Estefanía Espíritu Juárez egresada de la carrera de ingeniería en diseño que presenta su tema de tesis titulado: "Estudio de concreto polimérico con caucho de desecho".

Sinodales

Dr. Roberto Suárez Orduña (presidente), Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez (vocal) y Dr. Axel Villavicencio Torres (secretario)

Suplentes:

M.C. José Benjamín Vergara Rodríguez (primer suplente), M.M.P. Carol Castro Reyes (segundo suplente).

Sin otro particular me despido quedando a sus órdenes para cualquier aclaración.

*Terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chí jí jú
Atentamente*

Laura Patricia Rivas Vázquez
Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez
Jefa de la Carrera de Ingeniería en Diseño



Vo.Bo.

M.C. Héctor López Arjona
Vice-rector académico

c.c.p. M.C. Héctor López Arjona, Vice-rector académico
c.c.p. Archivo

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en todo momento y por darme la salud y las bendiciones que necesitaba para poder llegar hasta esta etapa de mi vida.

A mi hijo Cristian, por ser el motor que me impulsa día con día a seguir adelante y poder superarme, este logro es por y para ti.

A mi esposo Gerardo, por ser mi apoyo en los buenos y malos momentos, por alentarme día a día a seguir adelante y por creer en mí siempre.

A mi madre Griselda, por enseñarme a luchar por mis sueños y a nunca darme por vencida, y por demostrarme que nunca es tarde para volver a brillar.

A mi padre Luis Manuel, por esforzarse día con día para que pudiera llegar hasta este momento y por enseñarme que siempre debemos aprender cosas nuevas.

A mi hermano Luis, por ser mi compañero y mi amigo desde siempre, y que a pesar de todo sé que siempre estaremos ahí para cuando nos necesitemos.

A mis tíos Beatriz y Eleazar, por su gran apoyo a lo largo de mi vida y de mi carrera, gracias por la fe y confianza depositada en mí.

Fany

AGRADECIMIENTOS

A la Dr. Laura, por su gran apoyo, paciencia y confianza, por transmitirme sus conocimientos en el área de investigación; ya que sin su apoyo este trabajo de investigación no hubiera resultado.

A la Universidad del Papaloapan y a todos los maestros de la carrera, por permitirme desarrollarme como estudiante, por brindarme todo lo necesario para poder culminar mis estudios y por forjarme como una futura profesional.

RESUMEN

El concreto polimérico es un material compuesto que consta de la mezcla de una resina termoestable y agregados minerales, para el cual sus propiedades mecánicas dependen de las propiedades físicas y químicas de la resina y los agregados minerales.

En el presente trabajo de tesis se realizó un concreto polimérico, utilizando agregados como cero fino, cero grueso, calcita y caucho de desecho.

El caucho de desecho se obtuvo de la empresa Genbrugger S. A. de C. V. la cual recolecta llantas de desecho a nivel mundial y posteriormente las tritura y muele en dos tamaños diferentes de partículas (polvo y fibra).

En el concreto polimérico se empleó en su elaboración cinco variaciones en composición, variando el porcentaje de caucho de desecho como sustitución del cero fino en un 0%, 5%, 10% y 25% para el caucho en polvo y 10% con el caucho en fibra.

En las muestras de concreto polimérico elaboradas se llevó a cabo ensayos de compresión, ensayo de flexión, observación macroscópica, determinación de porcentaje de absorción de agua, densidad y coeficiente de conductividad térmica.

Los resultados obtenidos en este trabajo de tesis fueron los siguientes:

En la prueba de absorción de agua se encontró que conforme aumenta el porcentaje de agregado de caucho en polvo, aumenta el porcentaje de absorción. Obteniendo un mejor resultado en la muestra con un 5% de caucho de desecho en polvo con un valor de 0.286%.

Para la densidad existieron variaciones en los resultados respecto al porcentaje de agregado de caucho, obteniendo un mejor acomodo de agregado en la muestra con un 5% de caucho de desecho en polvo, dando un valor de 2.40 g/cm^3 .

En los resultados de la prueba de resistencia a la compresión se observó inestabilidad en las muestras con caucho de desecho en polvo, este al ir aumentando la resistencia aumentaba, pero al llegar al porcentaje máximo de caucho perdía resistencia considerablemente. Obteniendo un mejor resultado la muestra con 10% de caucho de desecho en polvo con un valor de 403.10 Kg/cm^2 . No obstante, la muestra con 10% de caucho de desecho en fibra obtuvo un valor considerable a comparación con las demás muestras de 345.81 Kg/cm^2 .

Para el ensayo de flexión se obtuvo un resultado mayor a los datos de literatura, demostrando que el concreto polimérico con caucho de desecho tiene mejor resistencia a la flexión con un valor de 662.4 Kg/cm^2 .

En la prueba de conductividad térmica el coeficiente aumentó conforme se incrementó el porcentaje de agregado de caucho, sin embargo, en la muestra con 10% de agregado de caucho en polvo obtuvo una ligera disminución, lo cual indicó que el material es más aislante, obteniendo un valor de 0.93 W/mK .

En conclusión, el concreto polimérico sustituido con caucho de desecho es una alternativa para generar este tipo de materiales compuestos, dando como mejor resultado las muestras que contienen un 5% y 10% de agregado de caucho de desecho en polvo, y así dejar este proceso de investigación como un adelanto a futuros ensayos.

ABSTRACT

Polymer concrete is a composite material consisting of a mixture of a thermosetting resin and mineral aggregates, for which its mechanical properties depend on the physical and chemical properties of the resin and the mineral aggregates.

In the present thesis work a polymer concrete was made, using aggregates such as fine zero, coarse zero, calcite and waste rubber.

The waste rubber was obtained from the company Genbruger S. A. de C. V., which collects waste tires worldwide and subsequently crushes and grinds them into two different particle sizes (powder and fiber).

Five variations in composition were used in the preparation of the polymer concrete, varying the percentage of scrap rubber as a substitute for the fine zero by 0%, 5%, 10% and 25% for the powdered rubber and 10% for the fiber rubber.

Compression tests, flexural tests, macroscopic observation, determination of water absorption percentage, density and thermal conductivity coefficient were carried out on the polymer concrete samples.

The results obtained in this thesis work were as follows:

In the water absorption test it was found that as the percentage of rubber powder aggregate increases, the percentage of absorption increases. A better result was obtained in the sample with 5% of powdered waste rubber with a value of 0.286%.

For the density, there were variations in the results with respect to the percentage of rubber aggregate, obtaining a better arrangement of aggregate in the sample with 5% of powdered waste rubber, giving a value of 2.40 g/cm³.

In the results of the compressive strength test, instability was observed in the samples with powdered waste rubber, which increased in strength as it increased, but when it reached the maximum percentage of rubber, it lost strength considerably. The sample with 10% of powdered waste rubber obtained a better result with a value of 403.10 Kgf/cm². However, the sample with 10% of waste rubber in fiber obtained a considerable value of 345.81 Kgf/cm² compared to the other samples.

For the flexural test, a result higher than the literature data was obtained, showing that the polymer concrete with waste rubber has better flexural strength with a value of 662.4 Kg/cm².

In the thermal conductivity test, the coefficient increased as the percentage of rubber aggregate increased, however, in the sample with 10% rubber powder aggregate, it obtained a slight decrease, which indicated that the material is more insulating, obtaining a value of 0.93 W/mk.

In conclusion, polymer concrete substituted with waste rubber is an alternative to generate this type of composite materials, giving as a better result the samples containing 5% and 10% of waste rubber powder aggregate, and thus leaving this research process as an advance to future tests.

CONTENIDO

RESUMEN	III
ABSTRACT	V
LISTA DE FIGURAS	IIX
LISTA DE TABLAS.....	XIIII
CAPITULO 1	1
Planteamiento del Problema	1
Objetivos	1
Objetivo General:.....	1
Objetivos Específicos:.....	1
Hipótesis	2
CAPITULO 2	3
2.1 Concreto polimérico	3
Antecedentes.....	3
2.2 Aplicaciones del concreto polimérico.....	6
2.3 Pruebas Físicas	8
2.3.1 Prueba de porcentaje de absorción de agua.....	8
2.3.2 Prueba de Resistencia a la Compresión.....	8
2.3.3 Ensayo de Flexión.....	8
2.3.4 Prueba de Densidad.....	9
2.3.5 Prueba de Conductividad Térmica.....	9
CAPITULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	10
3.1. Materias Primas	10
3.2 Elaboración de muestras de concreto polimérico.....	11
3.3 Prueba de porcentaje de absorción de agua.....	25

3.4 Prueba de Resistencia a la Compresión	28
3.5 Ensayo de Flexión.....	31
3.6 Observación macroestructural de las muestras de concreto polimérico.	32
3.7 Prueba de Conductividad Térmica.	35
CAPITULO 4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	36
4.1 Resultados de la prueba de porcentaje de absorción de agua.	36
4.2 Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.	37
4.3 Resultados del Ensayo a la Flexión.	38
4.4 Resultados de la prueba de densidad.....	39
4.5 Resultados de la prueba de conductividad térmica.....	40
CONCLUSION	42
REFERENCIAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Registro de concreto polimérico.....	7
Figura 2. Marco y tapa de concreto polimérico.....	7
Figura 3. Canal compacto de concreto polimérico.....	8
Figura 4. Tamizado de caucho en fibra.....	10
Figura 5. Tamizado de caucho en polvo.....	10
Figura 6. Peso de cero grueso.....	13
Figura 7. Cero grueso, cero fino, caucho y calcita.....	13
Figura 8. Resina.....	13
Figura 9. Molde de cilindro.....	14
Figura 10. Moldes de PVC de 5 cm de diámetro.....	14
Figura 11. Resina con cero grueso y cero fino.....	14
Figura 12. Resina, cero grueso, cero fino y caucho.....	14
Figura 13. Resina, cero grueso, cero fino, caucho y calcita.....	15
Figura 14. Concreto polimérico con caucho reciclado en molde cilíndrico.....	15
Figura 15. Concreto polimérico con caucho reciclado en molde de PVC de 5 cm de diámetro.....	15
Figura 16. Muestra de concreto polimérico con caucho.....	16
Figura 17. Muestra de 5 cm de diámetro.....	16
Figura 18. Peso de cero fino.....	17
Figura 19. Peso de caucho en polvo.....	17
Figura 20. Vaciado de cero grueso.....	17
Figura 21. Vaciado cero fino.....	18
Figura 22. Vaciado de calcita.....	18
Figura 23. Vaciado de caucho.....	18

Figura 24. Mezcla de los materiales.....	19
Figura 25. Concreto polimérico con caucho reciclado a un 10% en molde cilíndrico.....	19
Figura 26. Concreto polimérico con caucho reciclado a un 10% en molde de PVC de 5 cm de diámetro.....	19
Figura 27. Peso de cero fino.....	20
Figura 28. Mezcla de materiales.....	20
Figura 29. Vaciado de calcita a la mezcla.....	21
Figura 30. Mezcla de todos los materiales.....	21
Figura 31. Vaciado de la mezcla de concreto polimérico con caucho de desecho a un 5%.....	21
Figura 32. Concreto polimérico con caucho de desecho a un 5% en molde cilíndrico.....	22
Figura 33. Peso de cero fino.....	22
Figura 34. Peso de caucho de desecho en fibra.....	23
Figura 35. Vaciado de los materiales.....	23
Figura 36. Vaciado de caucho de desecho en fibra.....	23
Figura 37. Mezcla de los materiales con caucho en fibra.....	24
Figura 38. Concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% en molde cilíndrico.....	24
Figura 39. Concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% en molde de PVC de 5 cm de diámetro.....	24
Figura 40. Muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en diferentes proporciones.....	25
Figura 41. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto	

de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10%.....	25
Figura 42. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto	
de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 5%.....	26
Figura 43. Muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto	
polimérico con caucho de desecho en diferentes proporciones dentro de	
recipientes con agua.....	26
Figura 44. Muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto	
polimérico con caucho de desecho en diferentes proporciones después	
de 24 horas dentro de agua.....	26
Figura 45. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de	
concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 25% después	
de estar en agua 24 horas.....	27
Figura 46. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto	
de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10%	
después de estar en agua 24 horas.....	27
Figura 47. Muestras cilíndricas de concreto polimérico	
con caucho de desecho.....	28
Figura 48. Calentamiento de azufre.....	28
Figura 49. Vaciado de azufre en plato para cabeceo.....	28
Figura 50. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de	
desecho en plato de cabeceo con azufre.....	29
Figura 51. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho	
de desecho a un 25% en plato de cabeceo con azufre.....	29
Figura 52. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de	
desecho en fibra a un 10% en plato de cabeceo con azufre.....	29

Figura 53. Prensa hidráulica marca DAVI.....	30
Figura 54. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho a un 5% dentro de la prensa hidráulica.....	30
Figura 55. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% dentro de la prensa hidráulica.....	30
Figura 56. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 10% dentro de la prensa hidráulica.....	31
Figura 57. Muestra de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10%.....	31
Figura 58. Muestra de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% dentro de la prensa hidráulica.....	32
Figura 59. Muestra de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% con quiebre transversal.....	32
Figura 60. Estereoscopio Fisher Sciese Education y cámara para microscopio motic.....	33
Figura 61. Estructura de sección transversal de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a) 0.0% b) 5.0% c) 10.0% d) 25.0%.....	33
Figura 62. Comparacion de la estructura de seccion transversal de concreto polimerico con caucho de desecho e) polvo 10.0% f) fibra 10.0%.....	34
Figura 63. Medidor de conductividad térmica Quickline 10.....	35
Figura 64. Muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 25% dentro del medidor de conductividad térmica.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje en peso de granulometría de caucho en polvo.....	11
Tabla 2. Porcentaje en peso de granulometría de caucho en fibra.....	11
Tabla 3. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico.....	12
Tabla 4. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 25% de caucho en polvo de desecho.....	12
Tabla 5. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 10% de caucho en polvo de desecho.....	16
Tabla 6. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 5% de caucho en polvo de desecho.....	20
Tabla 7. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 10% de caucho en fibra de desecho.....	22
Tabla 8. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 10% de caucho en fibra de desecho para viga.....	25
Tabla 9. Pesos de muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto.....	27
Tabla 10. Pesos obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión.....	31
Tabla 11. Resultados de la prueba de absorción de agua.....	36
Tabla 12. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.....	37
Tabla 13. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.....	39
Tabla 14. Resultados de la prueba de conductividad térmica.....	40

CAPITULO 1

Planteamiento del Problema

En la actualidad existen muchos problemas con el medio ambiente y las formas de reciclar ciertos objetos que, al terminar su tiempo de vida, son tirados a la basura sin darles mayor utilización. Las llantas para autos son un claro ejemplo de este tipo de desechos, no son biodegradables y solo son tirados sin darles un uso funcional después de su tiempo de vida. Por este motivo, se buscó el poder agregar el caucho resultado de la molienda de llantas recicladas a un concreto polimérico para poder emplearlo en la industria de la construcción y así poder generar un concreto polimérico con mayores propiedades de flexibilidad.

Objetivos

Objetivo General:

- Desarrollar concreto polimérico empleando caucho de desecho como agregado.

Objetivos Específicos:

- Elaborar diversas composiciones de concreto polimérico empleando caucho.
- Realizar ensayos de compresión y flexión en muestras de concreto.
- Determinar conductividad térmica en las diversas composiciones de concreto polimérico.
- Determinar propiedades físicas como porcentaje de absorción de agua, densidad aparente y permeabilidad.

Hipótesis

- El desarrollo de un concreto polimérico con caucho como agregado puede mantener o mejorar las propiedades mecánicas (resistencia a la flexión y resistencia a la compresión) acordes al concreto polimérico convencional.

CAPITULO 2

2.1 Concreto polimérico

El concreto es una mezcla de diferentes agregados que pueden ser provenientes de rocas, arenas y piedras calizas, las cuales se clasifican en gruesos o finos, de igual manera desde los años 60 una de las opciones que se han llevado a cabo con diferentes pruebas son los concretos poliméricos (PC) que tratan de una composición de concreto combinado con polímeros.

Gracias al descubrimiento de los polímeros y los plásticos, el ser humano se ha encargado de realizar evoluciones hacia la tecnología y todo lo que nos rodea con ellos, ya que aportan diversas propiedades químicas y mecánicas que atribuyen su utilización, así como una viable durabilidad a través del tiempo (Freites y Sánchez 2016). Existe una gran diferencia entre el concreto hecho a base de cemento (Portland) y el concreto polimérico ya que este último es más fuerte, más resistente y con menor requerimiento de mantenimiento a comparación del concreto tradicional. El concreto polimérico tiene grandes ventajas tales como la resistencia mecánica que es mayor al concreto normal de 4 hasta 5 veces, su módulo de elasticidad se mantiene en valores similares, tiene buena resistencia química y de impermeabilidad al agua (Hameed y Hamza 2019).

Antecedentes.

Ghosh y Bera (2016) realizaron una investigación donde muestran que los agregados de neumáticos de caucho de desecho se pueden usar en concreto como reemplazo parcial de agregados gruesos y finos, obteniendo en los resultados que se encuentran en el límite aceptable. Thomas y Gupta (2015) concluyen que el caucho como desecho puede ser un sustituto parcial del agregado del concreto, mostrando una alta resistencia a la congelación-descongelación, al ataque ácido y penetración de iones de cloruro. Issa y Salem (2013) utilizaron caucho molido como agregado fino en hormigón logrando resultados positivos en la resistencia a la compresión cuando el contenido de caucho es menor al 25%, de igual manera se encontraron mejoras en la ductilidad. (Farfán y Leonardo (2018)).

Pérez y Arrieta (2017) en su investigación realizada en su tema de tesis llamada "Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% de peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 PSI", obtuvieron una conclusión favorecedora en cuanto a la resistencia a la compresión fue en la mezcla de C30%/70% la cual se caracterizó por tener más reemplazo de caucho fino por agregado fino, con un valor de 2244 PSI lo cual es un 39% menos que las mezclas tradicionales a los 28 días de edad, no presentó segregación del agregado y el caucho logró distribuirse uniformemente en los compuestos que se analizaron. También lograron determinar un peso menor en comparación con el concreto tradicional (3.90Kg) con el que tiene adicción de caucho fino y grueso (3.50Kg), logrando el concreto más liviano para posibles usos en cimentaciones y estructuras.

Suárez y Mujica (2016) realizaron un estudio en el cual se quiso demostrar que el caucho granulado es apto para su utilización como sustituto de agregado fino en las mezclas de concreto. Como conclusiones obtuvieron que para una resistencia óptima en cuanto a la relación agua/cemento el porcentaje de caucho que mejor se comportó fue de un 15% de caucho granulado en volumen sustituyendo al agregado fino dando una resistencia de 39.92 kg/cm². La variación dimensional y el alabeo se incrementan a mayor porcentaje de caucho debido a que este intenta recuperar su forma después de ser vibro-compactado. El caucho reemplazado en el concreto a un 15% presenta mejor aislamiento acústico que un bloque convencional de concreto, los bloques fueron expuestos a niveles de ruido comprendidos entre 47.4 dB a 65.1 dB. Obteniendo una diferencia del 94.74% del nivel de sonido recibido entre un bloque convencional y el de 15% de caucho.

De igual manera se determinó que con agregado de caucho granulado reemplazando el agregado fino en un 15% presentaba mejor aislamiento térmico que un bloque convencional, las pruebas fueron expuestas a temperatura ambiente por un periodo de 4 días dando como resultado una diferencia de 5.26°C.

Al analizar los ensayos de compresión axial el cilindro con un agregado de caucho en un 15% obtuvo un decremento del 15.48% en la resistencia. (Ledezma y Yauri (2018)).

Cabanillas (2017) tras su investigación acerca del comportamiento físico mecánico del concreto hidráulico adicionado con caucho reciclado llegó a las siguientes

conclusiones: el concreto diseñado con una sustitución del 10% de caucho en agregado fino, tuvo una disminución en la resistencia a la compresión de un 8.47% con respecto a un concreto patrón, el concreto con una sustitución de un 15% de agregado fino con caucho reciclado fue de 38.15% de disminución y el concreto con 20% de agregado de caucho reciclado fue de 46.13% con respecto al concreto patrón.

Por lo cual se llegó a una conclusión final la cual fue que el porcentaje óptimo de sustitución de agregado fino por caucho reciclado es de 10%, ya que se obtuvo el mayor valor de la resistencia mecánica a la compresión que fue de 191.65 kg/cm². Pero a pesar de esto se determinó que la sustitución del agregado fino por partículas de caucho reciclado influye negativamente en la resistencia mecánica del concreto.

Estrada (2016) concluyó que la sustitución de caucho en las proporciones de un 5%, 10% y 15% en agregado fino, provocan disminución en las propiedades mecánicas y físicas del concreto, por lo cual recomienda que el uso de polvo de neumático solo debe limitarse a funciones no estructurales como barreras de sonido, anti choques, andenes, etc.

La falta de resistencia mecánica se debe a que las partículas del polvo de caucho son más deformables elásticamente por lo cual cuando el concreto recibe una carga las fisuras se inician rápidamente alrededor de las partículas de caucho lo cual acelera la falla en la matriz cemento- caucho.

Sosoi, G., et al. (2018) prepararon mezclas de concreto polimérico con resina epóxica en dosis de 12.4% con cenizas volantes como material de relleno en dosis de 12.8% y dos tipos de residuos (polvo sierra y PET picado) como sustitución de agregados. Esta sustitución influyó en las propiedades del concreto polimérico, ya que ambos tipos de desechos disminuyeron la densidad del CP endurecido en menos de 2000 kg/m³.

Martínez, E. (2016) estudio los efectos de la incorporación de fibras de llantas recicladas en las propiedades mecánicas del concreto polimérico elaborado con resina poliéster insaturada y arena sílice. Se utilizaron 2783.5 gr de arena, 506.9 gr de resina, 4.27 gr de fibra, en los cuales se observó que la resistencia a la compresión tuvo dependencia a la cantidad de fibra añadida, en una primera etapa la compresión disminuyó en concentraciones de fibra de 0.3 a 0.6% y en una

segunda etapa incremento progresivamente en concentraciones de 1.0% a 1.2%. El máximo valor se obtuvo al añadir 1.2% de fibra dando una resistencia de 42.5MPa, siendo un 41% mayor que un concreto polimérico convencional.

Martínez, et al. (2012) adicionaron fibras de polipropileno al concreto polimérico en relación adecuada con la resina, estos presentaron incrementos notables en la resistencia a la compresión y los módulos elásticos fueron mayores ya que las fibras proporcionan soporte al concreto por su distribución homogénea. El concreto se elaboró usando un 30% de resina y 70% de mármol en volumen, las fibras de polipropileno sustituyeron al 0.1, 0.2 y 0.3% parcialmente al volumen original del mármol.

Shen Y., et al. (2020) desarrollaron un concreto polimérico con agregados de polvo de caucho y ceramite, en sus conclusiones demuestran que la resistencia a la compresión y a la flexión disminuyen linealmente con el aumento de polvo de caucho y ceramite de 0% a 7.5%, se mantienen aproximadamente en 45MPa y 10MPa. El polvo de caucho retrasa el proceso de curado del concreto polimérico y aumenta la contracción libre.

Morales, R., et al. (2013) utilizaron materiales de fibra de vidrio y resina poliéster considerados de fin de vida pulverizados como cargas en concreto polimérico en la prueba con un 89% de cargas, 11% de resina poliéster y 2% de material reciclado las propiedades mecánicas son relativamente altas y presentan un ahorro de más del 8% del consumo de resina.

Martínez, G., et al. (2013) elaboraron concreto polimérico con fibras de luffa, en probetas de concreto polimérico con 30% de volumen de resina poliéster y 70% restante con arena sílice y con concentraciones de fibra de luffa en 0.3%, 0.6% y 0.9% en volumen. Al ir agregando la fibra de luffa se genera un concreto polimérico con mayor grado de elasticidad, pero menos resistente.

2.2 Aplicaciones del concreto polimérico.

El concreto polimérico tiene diferentes aplicaciones las cuales pueden ser:

Pisos industriales.

Losetas para piso.

Reparaciones.

Soportes de postes.

Soportes de cabinas eléctricas.

Soportes para señalización de tránsito.

Paneles para fachadas.

Registros para drenado de agua.

Alcantarillado.

Canales de sistemas de drenaje para tráfico intenso.

A continuación, en las figuras 1, 2 y 3 se muestran algunas aplicaciones del concreto polimérico.



Figura1.Registro de concreto polimérico.

Fuente:https://www.cenmex.com/index.php?route=product/product&path=1_9_93_108&product_id=2914



Figura 2. Marco y tapa de concreto polimérico.

Fuente:<http://antarespolimericos.com/category/productos/concreto-polimerico/#>



Figura 3. Canal compacto de concreto polimérico. Fuente: <https://inovadren.com/>

2.3 Pruebas Físicas

2.3.1 Prueba de porcentaje de absorción de agua.

Esta prueba consiste en cuantificar el agua retenida por el termoplástico en condiciones normalizadas, las piezas absorben agua en una cantidad que depende de la estructura y composición del plástico.

La velocidad con que absorbe el agua depende de la relación superficie/volumen de la pieza, la absorción puede provocar hinchamiento y alteración de las dimensiones.

2.3.2 Prueba de Resistencia a la Compresión.

Prueba mecánica la cual se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, se expresa en términos de esfuerzo. Los resultados de esta prueba se usan para determinar que la mezcla de concreto cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada en el proyecto, de igual manera se emplean para tener un control de calidad.

2.3.3 Ensayo de Flexión.

Método de prueba para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto polimérico, usando una viga con cargas concentradas en los tercios del claro.

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto, mide la resistencia a la falla por momento de viga de concreto polimérico (IMCYC, 2008).

2.3.4 Prueba de Densidad.

Consiste en determinar la masa por unidad de volumen que se expresa en g/cm^3 . Es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga.

2.3.5 Prueba de Conductividad Térmica.

Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor, al imponerle una gradiente de temperatura, por la cual el calor es transportado desde las regiones de alta temperatura a las regiones de baja temperatura (Callister, W. 1985)

CAPITULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Materias Primas

En la presente tesis se empleó como materias primas para el desarrollo experimental los siguientes materiales: Dolomita (cero fino, cero grueso), calcita, caucho de desecho y resina poliéster.

Inicialmente se contactó a la empresa Genbrugger, S. A. de C. V., específicamente la planta que está en México para obtener caucho de desecho proveniente de llantas, cabe hacer mención que esta empresa recolecta materiales de desecho a nivel mundial. Las llantas son previamente trituradas y molidas en la empresa a dos tamaños diferentes de partícula. Una vez que se obtuvo la llanta de desecho molida, se le realizó un análisis granulométrico del caucho que venía en forma de polvo y en forma de fibra como se muestra en las Figuras 4 y 5.



Figura 4. Tamizado de caucho en fibra. Fuente propia



Figura 5. Tamizado de caucho en polvo. Fuente propia

En la Tabla 1 y 2 se indica el número de malla empleado, con la abertura y el peso correspondiente de la muestra seleccionada de caucho en polvo y fibra, respectivamente.

Posteriormente se procedió a seleccionar la granulometría adecuada para formular concreto polimérico con agregado de caucho.

Tabla 1. Porcentaje en peso de granulometría de caucho en polvo

N° de malla	Tamaño de abertura (cm)	Peso (g)	Peso retenido en tamiz (%)
4	4.75	146	18.85
8	2.36	230	29.70
16	1.18	398.4	51.44

Tabla 2. Porcentaje en peso de granulometría de caucho en fibra.

N° de malla	Tamaño de abertura (cm)	Peso (g)	Peso retenido en tamiz (%)
4	4.75	718.6	97.23
12.5	1.27	20.4	2.76

3.2 Elaboración de muestras de concreto polimérico

Se formularon cinco composiciones diferentes de concreto polimérico variando el contenido de caucho.

Una vez pesada la proporción de los materiales (resina poliéster, cero fino, cero grueso y caucho reciclado) y calculado el porcentaje de catalizador (etil vinil cetona) se procedió a hacer las mezclas y vaciarlas en moldes cilíndricos (10cm de diámetro x 15cm de alto)

Así mismo de cada composición se prepararon dos muestras de 5cm de diámetro x 0.5cm de altura.

Para la formulación del concreto y elaboración de las muestras cilíndricas se emplearon los porcentajes en peso de las materias primas como se indica en la tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico

Porcentaje en peso	Material	Peso (g)
21%	Resina	725.7078
29%	Calcita	1002.1796
25%	Cero fino	863.9479
25%	Cero grueso	863.9479

Para la elaboración del primer cilindro con caucho se tomó como el 100% el peso correspondiente al cero fino y se calculó un 25% de este para poder sustituir con caucho en polvo de desecho obteniendo los pesos que se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 25% de caucho en polvo de desecho.

Porcentaje en peso	Material	Peso (g)	Caucho 25%	Peso total (g)
21%	Resina	725.7078		
29%	Calcita	1002.1796		
25%	Cero fino	863.9479	215.98	647.9679
25%	Cero grueso	863.9479		

A continuación, se muestran en las figuras 6, 7 y 8 el pesaje de las materias primas.



Figura 6. Peso de cero fino. Fuente propia



Figura 7. Cero grueso, cero fino, caucho y calcita. Fuente propia



Figura 8. Resina. Fuente propia

Una vez que se pesó las materias primas, se enceraron los moldes con cera desmoldante, en los cuales posteriormente se vació la mezcla muestra de concreto polimérico (ver moldes empleados en Figura 9 y 10).



Figura 9. Molde de cilindro. Fuente propia



Figura 10. Moldes de PVC de 5 cm de diámetro. Fuente propia

Para empezar a mezclar se vació la resina y el cero grueso, posteriormente el cero fino, el caucho y la calcita (ver Figuras 11, 12 y 13).



Figura 11. Resina con cero grueso y cero fino. Fuente propia



Figura 12. Resina, cero grueso, cero fino y caucho. Fuente propia



Figura 13. Resina, cero grueso, cero fino, caucho y calcita. Fuente propia

Para el mezclado se empleó una propela, la catalización de las muestras se realizó con etil vinil cetona al 1%.

Al terminar de mezclar todos los materiales se vaciaron en los moldes y se dejan catalizar (ver Figuras 14 y 15).



Figura 14. Concreto polimérico con caucho reciclado a un 25% en molde cilíndrico. Fuente propia



Figura 15. Concreto polimérico con caucho reciclado a un 25% en molde de PVC de 5 cm de diámetro. Fuente propia

Después de que endureció el concreto polimérico se desmoldo el cilindro y se puede observar la muestra en las Figuras 16 y 17.



Figura 16. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho. Fuente propia



Figura 17. Muestra de 5 cm de diámetro. Fuente propia

Elaboración de la segunda muestra con caucho de desecho, para este se tomó como el 100% el peso correspondiente al cero fino y se calculó un 10% de este para poder sustituir con caucho en polvo de desecho obteniendo los pesos que se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 10% de caucho en polvo de desecho.

Porcentaje en peso	Material	Peso (g)	Caucho 10%	Peso total (g)
21%	Resina	725.7078		
29%	Calcita	1002.1796		
25%	Cero fino	863.9479	86.3947	777.5532
25%	Cero grueso	863.9479		

A continuación, se muestra el pesaje de la muestra 2 en las figuras 18 y 19.



Figura 18. Peso de cero fino. Fuente propia



Figura 19. Peso de caucho en polvo. Fuente propia

Una vez pesados los materiales y encerado previamente los moldes, se prosiguió a mezclar en el siguiente orden: resina, cero grueso, cero fino, calcita, caucho y catalizador. Figuras 20, 21, 22, 23 y 24.



Figura 20. Vaciado de cero grueso. Fuente propia



Figura 21. Vaciado cero fino. Fuente propia



Figura 22. Vaciado de calcita. Fuente propia



Figura 23. Vaciado de caucho. Fuente propia



Figura 24. Mezcla de los materiales. Fuente propia

Una vez mezclados los materiales y agregado el catalizador, se vaciaron a los moldes cilíndricos y de PVC y se dejan catalizar. (ver Figuras 25 y 26)



Figura 25. Concreto polimérico con caucho reciclado a un 10% en molde cilíndrico. Fuente propia



Figura 26. Concreto polimérico con caucho reciclado a un 10% en molde de PVC de 5 cm de diámetro. Fuente propia

Para la tercera muestra de concreto polimérico con caucho de desecho se tomó el cero fino como un 100% y se calculó un 5% de este para sustituirlo con el caucho en polvo, quedando de la siguiente manera las proporciones, véase tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 5% de caucho en polvo de desecho.

Porcentaje en peso	Material	Peso (g)	Caucho 5%	Peso total (g)
21%	Resina	725.7078		
29%	Calcita	1002.1796		
25%	Cero fino	863.9479	43.1973	820.7506
25%	Cero grueso	863.9479		

Se peso el material y se hizo la mezcla de este. (ver Figuras 27, 28, 29 y 30)



Figura 27. Peso de cero fino. Fuente propia



Figura 28. Mezcla de materiales. Fuente propia



Figura 29. Vaciado de calcita a la mezcla. Fuente propia



Figura 30. Mezcla de todos los materiales. Fuente propia

Una vez que se mezclaron los materiales correspondientes se vaciaron a los moldes (ver figuras 31 y 32).



Figura 31. Vaciado de la mezcla de concreto polimérico con caucho de desecho a un 5%.
Fuente propia



Figura 32. Concreto polimérico con caucho de desecho a un 5% en molde cilíndrico. Fuente propia

En nuestra cuarta muestra de concreto polimérico con caucho de desecho se utilizó caucho en fibra sustituyendo un 10% del cero fino quedando de la siguiente manera las proporciones, ver tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 10% de caucho en fibra de desecho.

Porcentaje en peso	Material	Peso (g)	Caucho 10%	Peso total (g)
21%	Resina	725.7078		
29%	Calcita	1002.1796		
25%	Cero fino	863.9479	86.3947	777.5532
25%	Cero grueso	863.9479		

Comenzamos con el pesaje del material y la mezcla del mismo. (ver figuras 33 a 37).



Figura 33. Peso de cero fino. Fuente propia



Figura 34. Peso de caucho de desecho en fibra. Fuente propia



Figura 35. Vaciado de los materiales. Fuente propia



Figura 36. Vaciado de caucho de desecho en fibra. Fuente propia



Figura 37. Mezcla de los materiales con caucho en fibra. Fuente propia

Ya mezclados todos los materiales se vaciaron en los moldes correspondientes. (ver figuras 38 y 39)



Figura 38. Concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% en molde cilíndrico. Fuente propia



Figura 39. Concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% en molde de PVC de 5 cm de diámetro. Fuente propia

Por otro lado, se fabricó una viga de concreto polimérico con caucho de desecho utilizando caucho en fibra sustituyendo un 10% del cero fino quedando de la siguiente manera las proporciones, ver tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje en peso para la formulación de concreto polimérico con 10% de caucho en fibra de desecho para viga.

Porcentaje en peso	Material	Peso (g)	Caucho 10%	Peso total (g)
21%	Resina	1000		
29%	Calcita	1380.9523		
25%	Cero fino	1190.4761	119.047	1071.4291
25%	Cero grueso	1190.4761		

3.3 Prueba de porcentaje de absorción de agua.

La prueba del porcentaje de absorción de agua consistió en lo siguiente. Se tomaron las muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto y se pesaron. (véase figuras 40, 41 y 42).



Figura 40. Muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en diferentes proporciones. Fuente propia



Figura 41. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10%. Fuente propia

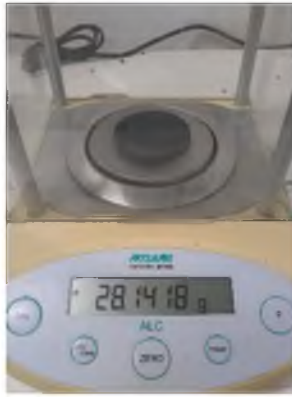


Figura 42. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 5%. Fuente propia

Después de pesarlas se vaciaron en recipientes con agua y se dejaron ahí por 24 horas, ver figura 43.



Figura 43. Muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en diferentes proporciones dentro de recipientes con agua. Fuente propia

Pasadas las 24 horas se sacaron de los recipientes con agua y se volvieron a pesar, ver figura 44.



Figura 44. Muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en diferentes proporciones después de 24 horas dentro de agua. Fuente propia

Posteriormente se pesaron las muestras (ver figuras 45 y 46) y se obtuvieron los pesos mostrados en la tabla 9.



Figura 45. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 25% después de estar en agua 24 horas. Fuente propia



Figura 46. Peso de muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% después de estar en agua 24 horas. Fuente propia

Tabla 9. Pesos de muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto.

Porcentaje de caucho	Peso inicial (g)	Peso saturado de agua (g)
25%	30.4414	31.2136
10%	27.7156	27.8285
10% fibra	21.8935	32.1221
5%	28.1418	28.2223
0%	31.6737	31.7627

3.4 Prueba de Resistencia a la Compresión

Para poder realizar la prueba de resistencia a la compresión se utilizaron las muestras cilíndricas de concreto polimérico con caucho de desecho (ver figura 47) las cuales previamente se cabecearon para que tuvieran sus dos caras paralelas, este proceso se realizó con un compuesto químico que contiene azufre el cual se calentó previamente (ver figura 48) y posteriormente se vació en el plato para cabeceo poniendo la muestra cilíndrica de concreto polimérico en este para que se pudiera adherir el compuesto de azufre a la muestra. (ver figuras 49, 50, 51 y 52)



Figura 47. Muestras cilíndricas de concreto polimérico con caucho de desecho. Fuente propia



Figura 48. Calentamiento de azufre. Fuente propia.



Figura 49. Vaciado de azufre en plato para cabeceo. Fuente propia



Figura 50. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho en plato de cabeceo con azufre. Fuente propia



Figura 51. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho a un 25% en plato de cabeceo con azufre. Fuente propia



Figura 52. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% en plato de cabeceo con azufre. Fuente propia

Posteriormente para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la compresión se utilizó una prensa hidráulica marca DAVI con capacidad de 120 toneladas (ver figura 53) y se comenzaron a meter los cilindros para hacer la prueba a la compresión (ver figuras y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 10.



Figura 53. Prensa hidráulica marca DAVI. Fuente propia



Figura 54. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho a un 5% dentro de la prensa hidráulica. Fuente propia



Figura 55. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% dentro de la prensa hidráulica. Fuente propia



Figura 56. Muestra cilíndrica de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 10% dentro de la prensa hidráulica. Fuente propia

Tabla 10. Pesos obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión.

Porcentaje de caucho	Altura (cm)	Carga (ton)	Peso (Kg)
0%	20	39.27	39270
5%	20.1	1.96	1960
10%	20.1	31.66	31660
10% fibra	20	27.16	27160
25%	20	4.86	4860

3.5 Ensayo de Flexión.

Para la prueba de resistencia a la flexión se utilizó la muestra de viga con dimensiones de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho a un 10% en fibra (Figura 60). Se utilizó una prensa hidráulica marca DAVI con capacidad de 120 toneladas la cual aplicó presión constante en 3 puntos (Figura 61), provocando un quiebre transversal en la barra dando como resultado 0.92 ton.



Figura 57. Muestra de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10%. Fuente propia



Figura 58. Muestra de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% dentro de la prensa hidráulica. Fuente propia



Figura 59. Muestra de 50 cm de largo x 10 cm de ancho x 2.5cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en fibra a un 10% con fractura transversal. Fuente propia

3.6 Observación macroestructural de las muestras de concreto polimérico.

La observación macroestructural de las muestras de concreto polimérico se hicieron en un estereoscopio Fisher Sciese Education (figura 57) y se apoyó en la toma de captura de imagen con una cámara para microscopio motic. Las muestras fueron observadas a 10 aumentos (10X).



Figura 60. Estereoscopio Fisher Sciese Education y cámara para microscopio motic. Fuente propia

A continuación, se presentarán las fotografías tomadas a las muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto.

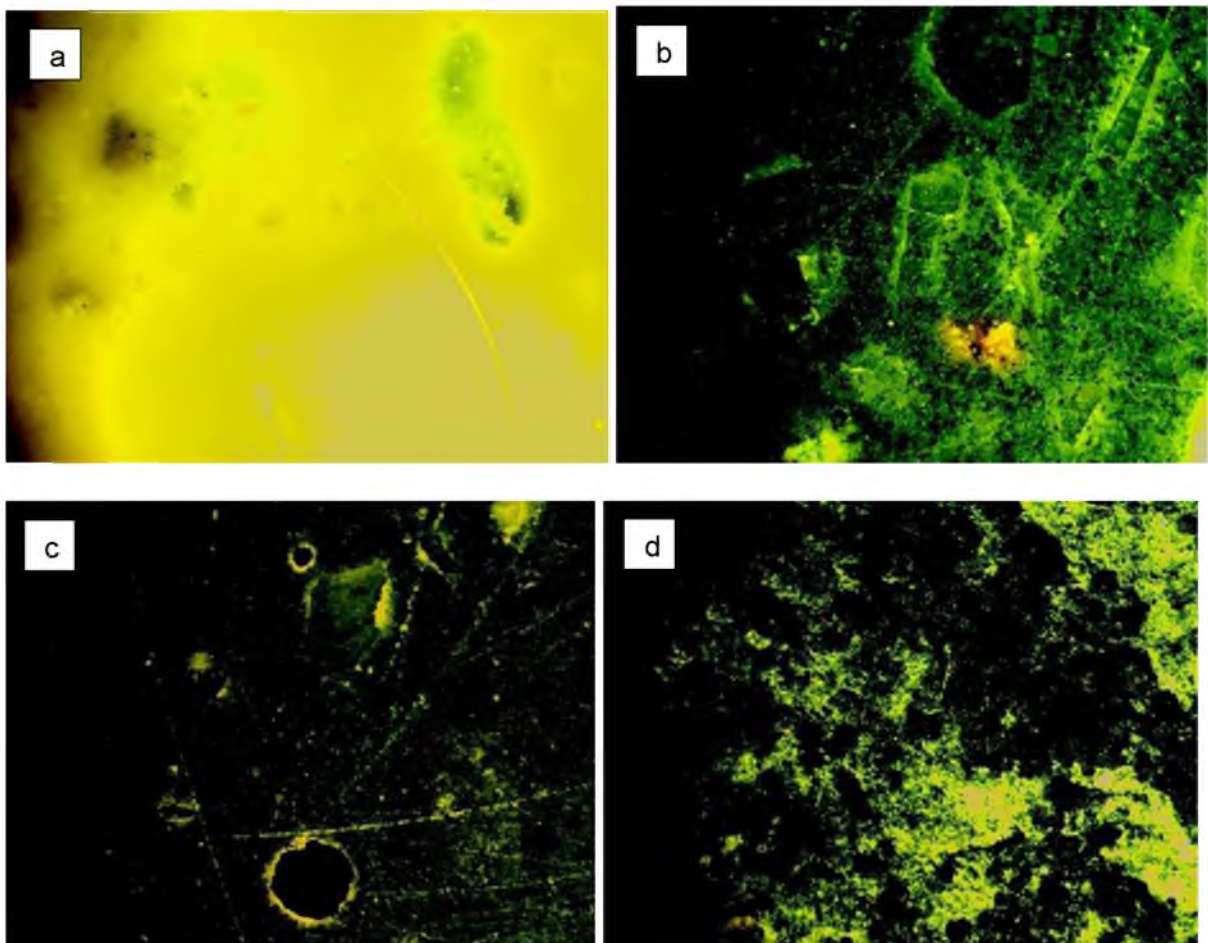


Figura 61. Estructura de sección transversal de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a) 0.0% b) 5.0% c) 10.0% d) 25.0%. Fuente propia.

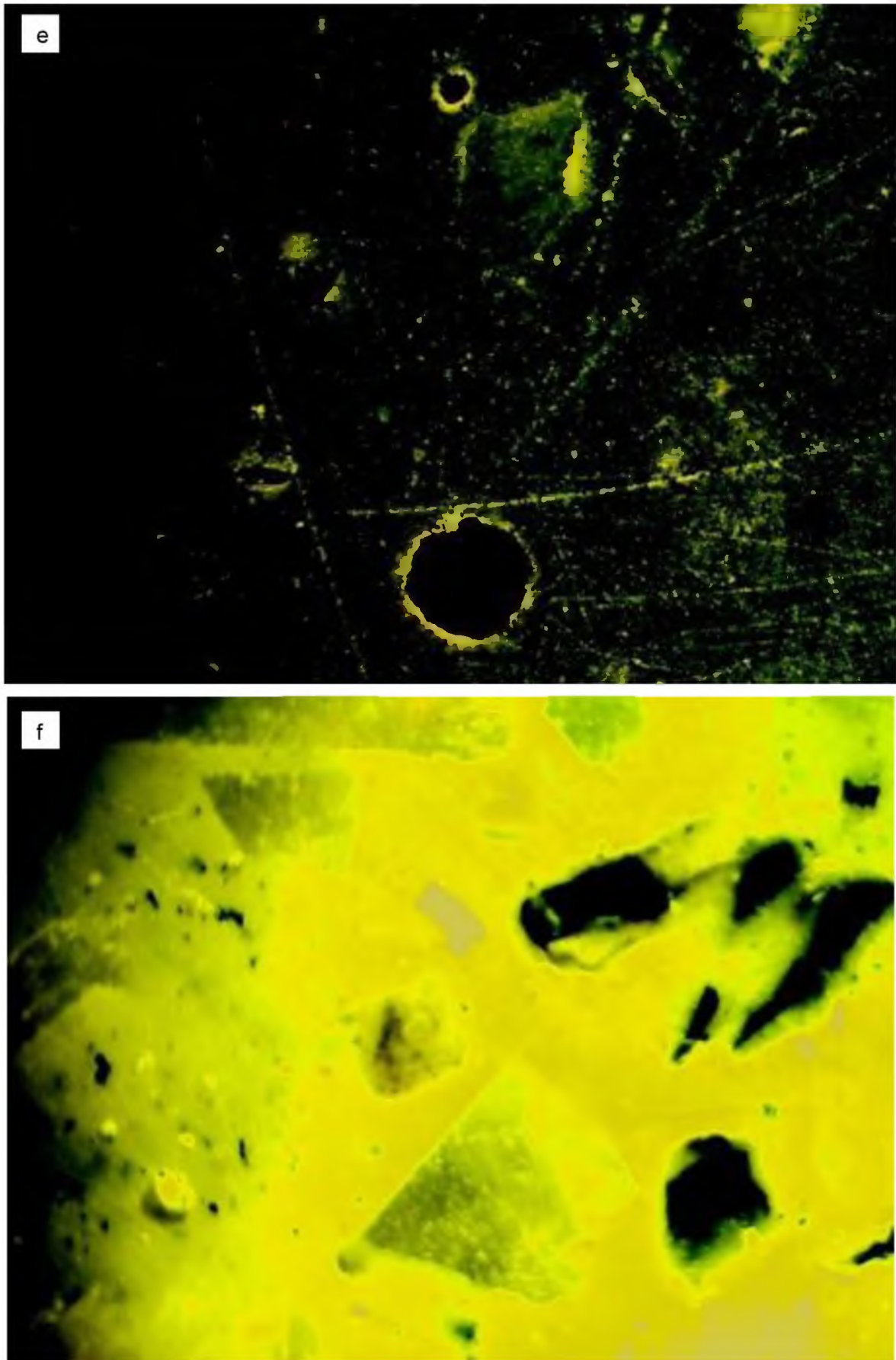


Figura 62. Comparación de la estructura de sección transversal de concreto polimérico con caucho de desecho e) polvo 10.0% f) fibra 10.0%. Fuente propia.

3.7 Prueba de Conductividad Térmica.

Para poder realizar la prueba de conductividad térmica se utilizaron las muestras de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto y el medidor de conductividad térmica Quickline 10 (Figura 58), el equipo cuenta con un plato caliente, para determinar el coeficiente de conductividad térmica, previamente se calibro el equipo con el estándar de acero inoxidable y un polímero vespel (poliamida de alto rendimiento). y se prosiguió a introducir las muestras de concreto polimérico con caucho de desecho (Figura 59)

Se observo que el gradiente de temperatura vario en el lado de la placa fría de 10°C a la placa caliente de 45°C.



Figura 63. Medidor de conductividad térmica Quickline 10. Fuente propia



Figura 64. Muestra de 5 cm de diámetro x 0.5 cm de alto de concreto polimérico con caucho de desecho en polvo a un 25% dentro del medidor de conductividad térmica. Fuente propia

CAPITULO 4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de la prueba de porcentaje de absorción de agua.

Para poder obtener los resultados de la prueba de porcentaje de agua se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ de absorción de agua} = \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{seco}}}{P_{\text{seco}}} \times 100$$

Donde:

P_{sat} = Peso saturado

P_{seco} = Peso seco

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 11.

Tabla 11. Resultados de la prueba de absorción de agua.

Porcentaje de caucho	Peso inicial (g)	Peso saturado de agua (g)	% de absorción de agua
0%	31.6737	31.7627	0.280
5%	28.1418	28.2223	0.286
10%	27.7156	27.8285	0.407
10% fibra	31.8935	32.1221	0.716
25%	30.4414	31. 2136	2.53

Analizando la tabla anterior podemos darnos cuenta que con forme aumenta el porcentaje de agregado de caucho en polvo aumenta el porcentaje de absorción de agua, alcanzándose valores de 2.53%, obteniendo una mejor absorción la muestra que contiene 5% de caucho de desecho en polvo con un valor de 0.286%.

Al comparar las muestras con el mismo porcentaje de caucho, pero en diferente morfología, podemos darnos cuenta que existe un incremento no proporcional en estos. Comparando con el concreto polimérico normal que demuestra una nula absorción de agua, podemos darnos cuenta que al sustituir un tipo de agregado, la nula absorción se ve modificada por este. Se estima que este cambio en la absorción se debe al acomodo del agregado en la matriz polimérica, considerándose que posiblemente se genera mayor porosidad.

4.2 Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.

Para el análisis de los resultados de la prueba de resistencia a la compresión se utilizó la siguiente fórmula:

$$G = F/A$$

Donde:

F= Fuerza

A= Área

Obteniendo los siguientes resultados, ver tabla 12.

Tabla 12. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.

Porcentaje de caucho	Altura (cm)	Carga (Ton)	Peso (Kg)	G (Kgf/cm ²)
0%	20	39.27	39270	500
5%	20.1	1.96	1960	24.95
10%	20.1	31.66	31660	403.10
10% fibra	20	27.16	27160	345.81
25%	20	4.86	4860	61.87

Comparando los resultados de la prueba de resistencia a la compresión, podemos notar una inestabilidad en las muestras de caucho de desecho en polvo, ya que al ir aumentando el porcentaje de este comienza a ascender la resistencia a la compresión, lo cual se le puede atribuir a no tener una buena incorporación del polvo

de caucho por ser muy fino, y una vez que se agregaron partículas más grandes como es el caso del 10% de agregado en polvo y en 10% de agregado en fibra, estas tuvieron una mejor incorporación con la mezcla de resina y los demás agregados lo cual originó que tuvieran una mejor resistencia a la compresión. Sin embargo, al llegar al valor del 25% pierde resistencia bajando considerablemente, obteniendo un mejor resultado en la muestra de 10% de caucho de desecho en polvo con un valor de 403.10Kgf/cm². La disminución de la resistencia puede ocurrir debido a que al tener un mayor porcentaje de agregado este tiene menos adherencia con la matriz polimérica y esto origina que haya fracturas más rápido de lo que se espera en un concreto polimérico. Los resultados van de acuerdo a lo encontrado con el porcentaje de absorción realizadas en el presente trabajo, por otro lado, Martínez, G., et. al. (2013) observaron que los poros actúan como fallas en el concreto durante los ensayos de compresión, lo que disminuye la resistencia.

4.3 Resultados del Ensayo a la Flexión.

Para la el análisis de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión se utilizó la siguiente formula:

$$d \text{ max} = 3P \times (L-T) / wh^2$$

Donde:

P= Carga de la máquina.

L= longitud de los puntos de apoyo.

T=Longitud de carga en puntos superiores.

w= Ancho de la muestra.

h= Espesor de la muestra.

Obteniendo el siguiente resultado:

$$d \text{ max} = 3(920\text{kg}) \times (30\text{cm} - 15\text{cm}) / ((10\text{cm}) (2.5\text{cm})^2)$$

$$d \text{ max} = 2760 \text{ kg} (15\text{cm}) / 62.5 \text{ cm}^3$$

$$d \text{ max} = 662.4 \text{ Kg/cm}^2$$

De acuerdo a datos de literatura el concreto polimérico tiene una resistencia a la flexión de 153-560 Kg/cm², dando como resultado que el concreto polimérico con caucho de desecho tiene una resistencia mayor obteniendo como resultado un valor de 662.4 Kg/cm². Esto podría deberse a que el material que se ocupo como sustituto presenta una mayor flexibilidad a los agregados comunes que se utilizan para crear el concreto polimérico.

4.4 Resultados de la prueba de densidad.

Para poder realizar el análisis de la densidad se ocuparon las muestras de concreto polimérico de 5 cm de ancho por 0.5 cm de alto.

Se utilizo la siguiente formula:

$$D= M/V$$

Donde:

M= Masa.

V= Volumen.

Se obtuvieron los siguientes resultados, ver tabla 13.

Tabla 13. Resultados de la prueba de densidad.

Porcentaje de caucho	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)
0%	15.2053	30.9457	2.03
5%	11.1475	26.7673	2.40
10%	13.0670	26.3407	2.01
10% fibra	15.2053	29.8150	1.96
25%	12.9717	28.594	2.20

En la tabla anterior podemos observar que existen variaciones en las densidades con respecto al porcentaje agregado de caucho de desecho a cada muestra de concreto polimérico, obteniendo un valor máximo de 2.40 en la muestra con un 5% de caucho de desecho en polvo y un mínimo de 2.01 en la muestra de 10% de caucho de desecho en polvo. Comparando los mismos porcentajes, pero con diferente morfología las muestras con 10% de caucho de desecho en polvo y en fibra, tienen una diferencia considerable contemplando que, a mayor densidad, mejor acomodo de agregado. La morfología del agregado esta directamente relacionada con la densidad del material, ya que de esta depende que las mezclas sean homogéneas o heterogéneas, y con esto se determine qué tan poroso sea el material. La densidad de los materiales disminuye conforme se incrementa el contenido de agregado en polvo, ya que la morfología afecta por la proporción de este, debido a que este se distribuye en algunos casos de forma heterogénea al formarse aglomerados de caucho. León y Ramírez (2010) mencionan que la morfología de los agregados influye en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con una mayor influencia en la manejabilidad que en las propiedades mecánicas.

4.5 Resultados de la prueba de conductividad térmica.

A continuación, se muestra la tabla 14 con los resultados de coeficiente de conductividad térmica del concreto polimérico con diferentes porcentajes de caucho de desecho.

Tabla 14. Resultados de la prueba de conductividad térmica.

Porcentaje de caucho	Coficiente de conductividad térmica (W/mk)
0%	0.50
5%	0.94
10% polvo	0.93
10% fibra	1.25
25%	1.06

De los resultados obtenidos se encontró que conforme se incrementa el porcentaje de agregado se incrementa el coeficiente de conductividad térmica, sin embargo, con 10% en polvo surgió una ligera disminución lo cual indica que el material es más aislante, obteniéndose el valor de 0.93 W/mk.

Para un mismo porcentaje de agregado (10%) y morfología diferente del caucho (polvo y fibra) se observó que es menos aislante la muestra que contiene el caucho en fibra encontrándose un valor de coeficiente de conductividad térmica de 1.25 W/mk.

El coeficiente de conductividad térmica aumenta conforme más porcentaje de agregado haya en la mezcla, ya que se genera mayor porosidad debido a la distribución de agregado

En el mismo porcentaje de agregado se observó que el coeficiente de conductividad térmica es mayor en la fibra que el polvo ya que este último crea una mezcla más homogénea a diferencia de la fibra, y empleando como agregado fibra genera que haya mayor porosidad en la muestra y por tanto haya una mayor conductividad térmica en el material compuesto. Campos (2014) menciona que la conductividad térmica del concreto depende de la humedad, contenido de vacíos, amorfismo del agregado, porosidad, entre otras.

CONCLUSION

El concreto polimérico sustituido con caucho de desecho, se encontró que es una alternativa para el desarrollo de este tipo de materiales compuestos.

Se encontraron los mejores resultados de resistencia mecánica en la muestra con 10% de caucho en polvo con un valor de 403.10 Kgf/cm² y en la muestra con una morfología diferente (fibra), para el mismo porcentaje con un valor de 345.81 Kgf/cm².

Se estima que según los resultados de la prueba de densidad la muestra que obtuvo un mejor acomodo de agregado fue la del 5% de caucho de desecho en polvo, obteniendo un valor de 2.40 g/cm³.

En cuanto a la absorción de agua se encontró que las muestras con agregado de caucho en polvo con un 5% y 10% son las que presentan una mejor absorción.

La muestra sustituida con 10% de caucho de desecho en polvo resultó con un coeficiente de conductividad térmica de 0.93 W/mk, y haciendo comparaciones con los otros porcentajes de sustitución resulta ser la muestra más aislante, recordando que, a menor coeficiente de conductividad térmica, el material se vuelve más aislante térmico.

REFERENCIAS

- Cabanillas, E. (2017), "Comportamiento físico mecánico del concreto hidráulico adicionado con caucho reciclado". Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Callister, W. (1985), "Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales". España, Editorial Reverte.
- Campos, J. (2014) "Desarrollo de morteros ligeros base cemento portland con propiedades térmicas optimizadas mediante la incorporación de un micro copolímero". México: Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ingeniería Civil.
- Estrada, J. (2016), "Estudio de propiedades físico mecánicas y de durabilidad del hormigón con caucho". España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Farfán, M. y Leonardo, E. (2018), "Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante". Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 33, No. 3, pp. 241-250.
- Freitas, A. y Sánchez, K. (2016), "Desarrollar un concreto de origen polimérico adaptado a la industria de construcción nacional". Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.
- Hameed, A y Hamza, M. (2019), "Characteristics of polymer concrete produced from wasted construction materials". Energy Procedia, Vol. 157, pp. 43-50.
- IMCY, (2008). "Determinación de la flexión del concreto". El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones. Vol. 16, pp. 60-63.
- Ledezma, F y Yauri, W. (2018), "Diseño de mezcla del concreto para elaboración de adoquines con material reciclado de neumático en la provincia de Huancavelica". Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- León, M y Ramírez, F. (2010), "Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes". Revista Ingeniería de construcción, Vol. 25 No.2, pp. 215-240.
- López, S. (2018), "Concreto estructural con agregado triturado de llantas usadas". Colombia; Universidad EIA.
- Martínez, et al. (2012), "Concreto polimérico reforzado con fibras: Efecto de la radiación gamma". Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 13 (4), pp. 169-178.

- Martínez, E. (2016), "Desarrollo y caracterización de concreto polimérico modificado con fibras recicladas: Efecto de la radiación gamma", México; Universidad Autónoma del Estado de México.
- Martínez, G., et. al. (2013), Concreto polimérico reforzado con fibras de luffa. Información Tecnológica, Vol. 24, N.º 4 – 2013, pp. 67-74.
- Morales, R., et. al. (2013), "Uso de materiales compuestos reciclados de fibra de vidrio poliéster como cargas en concreto polimérico". Ingenierías, Vol. 16 (61), pp. 48-53.
- Morales, J. (2010) "Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos" México, Trillas, pp. 162-172.
- Sosoi, G., et al. (2018), "Wastes as aggregate substitution in polymer concrete. Procedia Manufacturing", Vol. 22, pp. 347-351.
- Shen, Y., et. al. (2020), "Experimental Study on the Free Shrinkage of Lightweight Polymer Concrete Incorporating Waste Rubber Powder and ceramiste". Composite Structures, 112152.