





**Universidad Latina de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería y Arquitectura**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Caracterización de concreto polimérico elaborado con  
resina de poliéster y agregados nacionales**

**Trabajo final de graduación para optar al grado académico de licenciatura en  
Ingeniería Civil, modalidad tesis.**

**Juan Sebastián Sánchez Yosa**

**Heredia, mayo de 2017**

**COMITÉ ASESOR**

**ING. MINOR MURILLO CHACÓN**

**TUTOR**

**ING. ANDRÉS REYES BONILLA**

**LECTOR**

**ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTÍNEZ**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "Caracterización de concreto polimérico elaborado con resina de poliéster y agregados nacionales", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



---

ING. MINOR MURILLO CHACÓN

TUTOR



---

ING. ANDRÉS REYES BONILLA

LECTOR



---

ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTÍNEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

## **Declaración Jurada**

Yo, Juan Sebastián Sánchez Yosa, estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual de la Tesis de Grado titulada:

### **Caracterización de concreto polimérico elaborado con resina de poliéster y agregados nacionales**

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Es todo, firmo en Heredia, Costa Rica a los 2 días del mes de mayo del año 2017.



**Firma**

**Juan Sebastián Sánchez Yosa**

**Cédula 8 0099 0051**

# Agradecimientos

Este trabajo consta de una investigación que se realizó con gran esfuerzo, en la cual estuvieron presentes personas transcendentales para el buen desarrollo del trabajo de investigación. Ellos me acompañaron en los momentos de angustia y logros a lo largo de la presente investigación.

Primero quiero agradecer al Ing. Minor Murillo Chacón, por ayudarme, guiarme y motivarme a lo largo de toda la tesis, despejando dudas e inquietudes y por estar siempre anuente a buscar la manera de solucionar los problemas.

A los señores William Montero y Eduardo Artavia, técnicos del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa Productos de Concreto S.A, quienes me ayudaron en la realización de los ensayos.

Al Ing. Rolando Coto Alvarado por su colaboración y ayuda durante el proceso de aprendizaje de la carrera y por compartir su conocimiento.

A la empresa Productos de Concreto S.A. por su colaboración con los materiales utilizados en el proyecto y facilitar el uso del laboratorio y sus instalaciones.

A la Universidad Latina de Costa Rica, por su formación académica a lo largo de la carrera.

## **Dedicatoria**

A mis padres Javier Sánchez y Betty Yosa por la educación que me han brindado, su cariño, su gran esfuerzo por sacarnos a mi hermana y a mi adelante, su apoyo incondicional y ser percusores de convertirme en una persona de bien y llegar a concluir mis estudios.

A Dios por permitirme llegar hasta este punto y darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

# Resumen

Este trabajo aborda una investigación acerca de concreto polimérico en donde se caracterizará el material y las propiedades, como parte de un análisis experimental. Mediante este análisis, se podrá evaluar el comportamiento del material frente a esfuerzos de tensión, compresión y flexión en referencia a normas ASTM (American Society for Testing and Materials) en sus versiones referidas propiamente a ensayos para concreto hidráulico.

Los agregados proceden de fuentes como: Guápiles ubicado en la provincia de Limón y de Cerro Minas ubicado en la provincia de San José, cantón de Santa Ana, los cuales fueron caracterizados en base a las normas ASTM para agregados. La empresa Productos de Concreto S.A. contrató a la empresa CACISA S.A. para realizar la caracterización de los agregados de dichas fuentes. Respecto al material aglutinante del concreto polimérico, se utiliza una resina de poliéster insaturada que produce la empresa AOC líder mundial en producción de resinas no saturadas y que comercializa la empresa Fibrocentro S.A. ubicada en la provincia de San José.

El propósito de este trabajo es caracterizar el concreto polimérico mediante los resultados obtenidos de la experimentación. Debido a que el concreto es un material altamente utilizado en la industria de la construcción, surge la necesidad de investigar e innovar el uso de materiales alternativos en la construcción como lo es el concreto polimérico, y al mismo tiempo abrir una brecha de la investigación del material en el país, e incentivar el uso de este concreto en Costa Rica.

No se encontró una metodología de diseño, como tampoco investigaciones de relevancia nacional, sobre la elaboración del concreto polimérico. Se presenta un método empírico para utilizar la mínima cantidad de resina polimérica y con esto la mezcla pueda estar acorde a parámetros de trabajabilidad, consistencia y homogeneidad de los componentes del concreto. En la caracterización del concreto polimérico, la cantidad de resina polimérica influye en factores tales como: resistencia, precio, segregación, homogeneidad, consistencia, y trabajabilidad.



## **Abstract**

This work addresses a research on polymer concrete in which material and properties will be characterized as part of an experimental analysis. Through this analysis, it will be possible to evaluate the behavior of the material against tensile, compression and bending stress in reference to ASTM (American Society for Testing and Materials) standards in their versions referred to specifically for tests for hydraulic concrete.

The aggregates come from sources such as Guápiles located in the province of Limón and Cerro Minas located in the province of San José, canton of Santa Ana, which have previously been characterized based on ASTM standards for aggregates. The company Productos de Concreto S.A. contracted to the company CACISA S.A. to carry out the characterization of the aggregates of said sources. With respect to the binder material of the polymeric concrete, an unsaturated polyester resin is used that produces the world-wide AOC company in production of unsaturated resins and that commercializes the company Fibrocentro S.A. located in the province of San José.

The objective of this work is to characterize the polymer concrete by means of the results obtained from the experimentation. Concrete as a highly used material in the construction industry, arises the need to further investigate, and innovate the use of alternative materials in construction such as polymer concrete. At the same time open a gap of the investigation of the material in the country, and encourage the use of this concrete in Costa Rica.

In order to elaborate the polymeric concrete, a methodology of design was not found, neither was research of national relevance. An empirical method is presented to use the minimum amount of polymer resin, and in this way the mixture can be in accordance with the parameters of workability, consistency and homogeneity of the concrete components. In the characterization of polymeric concrete, the amount of polymer resin influences such factors as: strength, price, segregation, homogeneity, consistency, and workability.

# Tabla de contenido

1.	Capítulo I Introducción .....	20
1.1.	Antecedentes .....	20
1.2.	Planteamiento del problema.....	21
1.3.	Hipótesis .....	21
1.4.	Objetivos de la investigación .....	22
1.4.1.	Objetivo general.....	22
1.4.2.	Objetivos específicos .....	22
1.5.	Justificación .....	23
1.6.	Alcances y limitaciones de la investigación .....	24
1.6.1.	Alcances .....	24
1.6.2.	Limitaciones.....	25
1.7.	Impacto .....	25
2.	Capítulo II Fundamentación teórica .....	27
2.1.	Concreto hidráulico .....	27
2.2.	Caracterización del concreto hidráulico.....	29
2.2.1.	Resistencia a compresión del concreto hidráulico.....	30
2.2.2.	Resistencia a flexión del concreto hidráulico.....	32
2.2.3.	Resistencia a la tracción o tensión del concreto hidráulico.....	35

2.3.	Normas ASTM.....	37
2.3.1.	Norma ASTM C39.....	37
2.3.2.	Norma ASTM C293.....	38
2.3.3.	Norma ASTM C496.....	39
2.4.	Los polímeros.....	40
2.5.	Resinas utilizadas en concreto polimérico.....	41
2.6.	Concreto polimérico .....	44
2.7.	Desarrollo de los concretos poliméricos .....	47
2.8.	Contenido de humedad en los agregados .....	50
2.9.	Limitantes del concreto polimérico .....	51
2.10.	Aspectos de seguridad para el manejo de resinas poliméricas ...	52
2.11.	Marco situacional .....	53
2.11.1.	Concreto polimérico en Costa Rica .....	53
2.11.2.	Concreto polimérico en Colombia .....	55
2.11.3.	Concreto polimérico en México .....	58
2.11.4.	Concreto polimérico en Estados Unidos.....	61
2.11.5.	Concreto polimérico en España .....	64
2.11.6.	Algunos proyectos de la empresa Grupo ULMA.....	66
2.11.7.	Otras aplicaciones de concreto polimérico .....	69
3.	Capítulo III. Marco metodológico .....	72

3.1.	Tipo de investigación.....	72
3.2.	Finalidad de la investigación .....	73
3.3.	Dimensión temporal de la investigación .....	73
3.4.	Marco de la investigación.....	73
3.5.	Naturaleza de la investigación.....	73
3.6.	Carácter de la investigación .....	73
3.7.	Sujetos y métodos de información.....	74
3.8.	Equipo de laboratorio .....	74
4.	Capítulo IV Diagnóstico .....	84
4.1.	Matriz FODA .....	84
4.2.	Matriz MECA.....	85
5.	Capítulo V. Análisis e interpretación de resultados .....	88
5.1.	Consideraciones preliminares .....	88
5.1.1.	Combinación de agregados .....	89
5.2.	Pruebas iniciales .....	95
5.3.	Caracterización del concreto polimérico .....	111
5.3.1.	Resistencia a compresión de concreto polimérico.....	112
5.3.2.	Resistencia a la tracción indirecta de concreto polimérico .....	122
5.3.3.	Resistencia a la flexión del concreto polimérico .....	131
5.3.4.	Calorimetría del concreto polimérico .....	139

5.4.	Análisis de la caracterización del concreto polimérico .....	144
5.4.1.	Análisis de resistencia a la flexión.....	144
5.4.2.	Análisis de resistencia a la tracción indirecta .....	145
5.5.	Análisis económico del concreto polimérico .....	147
5.6.	Aplicaciones del concreto polimérico en Costa Rica .....	151
Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones .....		153
5.7.	Conclusiones.....	153
5.8.	Recomendaciones .....	155
Referencias bibliográficas.....		157
6.	ANEXOS .....	161

## Índice de Tablas

Tabla 1 Matriz FODA. ....	85
Tabla 2 Matriz MECA. ....	86
Tabla 3 Granulometría de arena natural de Guápiles. ....	90
Tabla 4 Granulometría de arena industrial de Santa Ana. ....	91
Tabla 5 Granulometría de piedra (16,0mm) de Guápiles ....	91
Tabla 6 Límites granulométricos ....	92
Tabla 7 Combinación de agregados que genera curva. ....	93
Tabla 8 Combinación 100 % de los agregados respecto a tabla 6. ....	93
Tabla 9 Cantidad de componentes en mezclas de concreto polimérico (1-6). ....	100
Tabla 10 Resistencia a compresión de primeras 6 pruebas. ....	101
Tabla 11 Cantidad de materiales en mezclas de concreto polimérico (7/11) ....	103
Tabla 12 Resistencia a compresión de pruebas (7/11) ....	104
Tabla 13 Dosificación de componentes en las pruebas (11-15). ....	106
Tabla 14 Incorporación de arena de mar para la combinación granulométrica. ..	106
Tabla 15 Combinación de agregados en relación con porcentajes de la tabla 14. .....	107
Tabla 16 Resistencia a compresión de pruebas (11-15) ....	109
Tabla 17 Densidad de cilindros de 100mm x 200mm de altura. ....	118
Tabla 18 Resumen de resistencia a compresión de cilindros de concreto. ....	121
Tabla 19 Determinación de la densidad de cilindros de ensayos a tracción indirecta. .....	129
Tabla 20 Resultados de resistencia a la tracción indirecta de cilindros de concreto polimérico. ....	130
Tabla 21 Cálculo de la densidad de vigas de concreto polimérico de ensayo a flexión. ....	135
Tabla 22 Dimensiones y parámetros para determinación del módulo de ruptura. .....	136
Tabla 23 Tabla de resumen de cálculo de módulo de ruptura del concreto polimérico. .....	136

Tabla 24 Dimensiones de vigas adicionales de ensayo a flexión. ....	138
Tabla 25 Determinación del módulo de ruptura de vigas adicionales. ....	138
Tabla 26 Temperatura del concreto polimérico, durante 1 hora y media .....	140
Tabla 27 Resistencia teórica de módulo de ruptura vs $f'_c$ .....	144
Tabla 28 Resistencia a la tracción indirecta del concreto polimérico. ....	146
Tabla 29 Resistencia a la tensión teórica. ....	146
Tabla 30 Valores teóricos en (%) de resistencia a la tensión del concreto polimérico .....	147
Tabla 31 Comparación del precio de concreto polimérico y concreto CAD 700. .	150

## Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de cortante y de momento respecto al ensayo de la norma ASTM C293 con carga en el punto medio. ....	33
Figura 2 Diagrama de cortante y de momento respecto al ensayo de norma ASTM C78 con carga a los tercios de la viga.....	34
Figura 3 Método de aplicación de carga norma ASTM C78 y ASTM C293 .....	34
Figura 4 Metodología de ensayo de tracción directa del concreto.....	36
Figura 5 Mecanismo de falla de ensayo a tracción indirecta .....	37
Figura 6 Curva exotérmica característica de una resina .....	43
Figura 7 Proceso de impregnación con un monómero .....	48
Figura 8 Modificación del concreto hidráulico mediante la adición de una resina o polímero.....	49
Figura 9 Esquema de elaboración del concreto polimérico .....	50
Figura 10 Tapa de pozo de visita de concreto polimérico. ....	54
Figura 11 Tapa de pozo de visita de concreto polimérico .....	54
Figura 12 Modelo de tapa pozo de visita (ICE) de concreto polimérico. ....	55
Figura 13 Tapas de registro de visita de agua potable.....	56
Figura 14 Rejilla de polyconcreto para alcantarillado. ....	56
Figura 15 Tapa de polyconcreto para pozo de visita.....	57
Figura 16 Láminas de concreto polimérico para pisos de transmilenio. ....	57
Figura 17 Tope de polyconcreto para parqueo.....	57
Figura 18 Escalones de polyconcreto para puente. ....	58
Figura 19 Tapa de concreto polimérico de paso vehicular. ....	58
Figura 20 Pozo cónico pequeño de concreto polimérico. ....	59
Figura 21 Caja de registro para fibra óptica. ....	59
Figura 22 Guías táctiles de concreto polimérico.....	60
Figura 23 Tapas para cisterna de concreto polimérico. ....	60
Figura 24 Tapas para trinchera de concreto polimérico reforzado.....	61
Figura 25 Tubo de carga de concreto polimérico reforzado. ....	62



Figura 26 Estructuras de pozos de aguas residuales de concreto polimérico reforzado. ....	62
Figura 27 Estructura de pozo de aguas residuales de concreto polimérico .....	62
Figura 28 Redes de tubería de agua residual. ....	63
Figura 29 Revestimiento de túneles de concreto polimérico. ....	63
Figura 30 Revestimiento de túneles de concreto polimérico. ....	63
Figura 31 Sistema de drenaje completo, prefabricado de concreto .....	64
Figura 32 Dinteles prefabricados de concreto polimérico. ....	65
Figura 33 Aplicación de dinteles prefabricados de concreto polimérico. ....	65
Figura 34 Aplicación de dinteles prefabricados de concreto polimérico .....	66
Figura 35 Aeropuerto Internacional de Rio de Janeiro. ....	66
Figura 36 Canales de drenaje de concreto polimérico utilizados en proyecto. ....	67
Figura 37 Cerramiento y fachada de concreto polimérico en Ceip Zelaieta, España. .....	67
Figura 38 Facha de Ceip Zelaieta de concreto polimérico. ....	68
Figura 39 Canales de drenaje en la región de Ródano-Alpes en Francia.....	68
Figura 40 Canales de drenaje en la región de Ródano-Alpes en Francia.....	68
Figura 41 Escultura de gorila plateado en zoológico londinense. ....	69
Figura 42 Estructura atacada por sulfatos, retiro del concreto. ....	69
Figura 43 Aplicación de concreto polimérico y reparación de estructura. ....	70
Figura 44 Cabinas Prefabricadas de concreto polimérico. ....	70
Figura 45 Lavaplatos de concreto polimérico. ....	70
Figura 46 Acabados arquitectónicos de concreto polimérico.....	71
Figura 47 Soportes de maquinaria de concreto polimérico.....	71
Figura 48 Prensa hidráulica automática de ensayo a compresión/ Marca CONTROLS/ Modelo PILOT/ Fecha de calibración: (07/03/17). ....	74
Figura 49 Horno de laboratorio, marca CONTROLS, fecha de calibración: (14/12/15). ....	75
Figura 50 Balanza cap. 15 kg/ Modelo UWE HGS 15K para determinar densidad de un sólido/ Fecha de calibración: (14/12/15).....	75

Figura 51 Balanza de precisión/ Marca OHAUS-Traveler/ Modelo: TA 5000, cap. 5kg/ Fecha de calibración: (14/12/15). .....	76
Figura 52 Marco robusto para falla a compresión de cemento y mortero. ....	76
Figura 53 Marco robusto para ensayo a tracción indirecta de cilindros, norma ASTM C496. ....	77
Figura 54 Equipo para determinar planicidad de las caras extremas: regla de acero calibrada, juego de galgas calibrada. ....	77
Figura 55 Máquina pulidora de caras extremas de cilindros/ Marca DIAM end Grinder. ....	78
Figura 56 Máquina hidráulica para compresión de vigas, marca FORNEY, fecha de calibración: (07/03/17). ....	78
Figura 57 Mesa vibratoria de equipo Vebe. ....	79
Figura 58 Termómetro digital, modelo TECPEL DTM-319. ....	79
Figura 59 Arena natural/ Origen: Guápiles. ....	80
Figura 60 Arena industrial/ Origen: Santa Ana. ....	80
Figura 61 Piedra de 16.0 mm/ Origen: Guápiles. ....	81
Figura 62 Molde para elaboración de vigas 75 x 75 x 300 mm. ....	81
Figura 63 Molde para elaboración de cilindros de diámetro 150 x 300mm de altura y de diámetro 200 x 100mm de altura. ....	82
Figura 64 Secado de agregados al horno durante un día. ....	88
Figura 65 Enfriado de agregados a temperatura ambiente. ....	89
Figura 66 Curva granulométrica generada de la combinación de agregados. ....	94
Figura 67 Masa de arena natural = 75 g. ....	95
Figura 68 Masa de arena industrial = 40g. ....	96
Figura 69 Masa de piedra de 16,0 mm = 100 g. ....	96
Figura 70 Masa de resina de poliéster = 150g. ....	96
Figura 71 Elaboración de primeros cubos de concreto polimérico. ....	97
Figura 72 Cubo de 50mm de lado de concreto polimérico. ....	98
Figura 73 Ensayo a compresión de cubo de concreto polimérico. ....	98
Figura 74 Resistencia a compresión de primer cubo de concreto polimérico. ....	99
Figura 75 Mezcla #6 de concreto polimérico. ....	101

Figura 76 Proceso de elaboración de concreto polimérico utilizando el método alternativo. ....	102
Figura 77 Consolidación de mezcla de concreto polimérico, utilizando punzón. .	102
Figura 78 Proceso de mezclado de prueba # 8. ....	104
Figura 79 Ensayo a compresión de la prueba #8. ....	105
Figura 80 Resistencia a compresión de cubo de concreto polimérico #8. ....	105
Figura 81 Curva granulométrica, con adición de granulometría de arena de mar. ....	107
Figura 82 Adición de 10g de arena de mar. ....	108
Figura 83 Adición de 10 g de arena sílica. ....	108
Figura 84 Falla a compresión de prueba #15 de concreto polimérico. ....	110
Figura 85 Resistencia a compresión de prueba #15 de concreto polimérico. ....	110
Figura 86 Gráfico de resistencia a compresión de cubos de concreto polimérico. ....	111
Figura 87 Dosificación de Catalizador para 604g de resina de poliéster. ....	113
Figura 88 Adición de catalizador a la mezcla de concreto polimérico. ....	114
Figura 89 Proceso de vibrado de cilindros del concreto polimérico. ....	115
Figura 90 Toma de la temperatura superficial del concreto a 1 hora. ....	115
Figura 91 Cilindro #1 (100mm x 200mm) de concreto polimérico. ....	116
Figura 92 Pulido de las caras externas del cilindro de 100mm x 200mm de altura 7 días después de elaboración. ....	116
Figura 93 Determinación del peso seco de los cilindros de concreto. ....	117
Figura 94 Determinación del peso sumergido de los especímenes cilíndricos. ....	117
Figura 95 Cilindro de 100mm x 200mm de altura sumergido en agua. ....	119
Figura 96 Masa saturada superficie seca de cilindro #3 posterior del sumergido. ....	119
Figura 97 Proceso de pulido de las caras externas del cilindro #3. ....	120
Figura 98 Determinación de la planicidad de las caras exteriores del cilindro. ....	120
Figura 99 Falla a compresión de cilindro #2. ....	121
Figura 100 Gráfico resumen de resistencias para las diferentes pruebas a compresión. ....	122

Figura 101 Pesado de los agregados de la mezcla de concreto polimérico. ....	123
Figura 102 Dosificación de 2 litros de resina de poliéster. ....	124
Figura 103 División de capas del molde.....	124
Figura 104 Mezclado de agregados. ....	125
Figura 105 Mezclado de los agregados con la resina de poliéster. ....	125
Figura 106 Adición de catalizador en la mezcla de concreto polimérico.....	125
Figura 107 Proceso de vibrado de la mezcla. ....	126
Figura 108 Temperatura superficial a los 56 minutos de elaboración de mezcla.	126
Figura 109 Proceso de pulido de caras externas después de siete días. ....	127
Figura 110 Determinación de la planicidad de las caras externas del cilindro. ....	127
Figura 111 Modelo de colocación de cilindro #3. ....	128
Figura 112 Falla a tracción indirecta de cilindro #3. ....	128
Figura 113 Estructura de la mezcla de concreto polimérico. ....	130
Figura 114 Estructura de la mezcla del cilindro #3 de tracción indirecta. ....	131
Figura 115 Gráfico resumen de resistencias a la tracción indirecta de cilindros (150mmx300mm). ....	131
Figura 116 Mezclado de los agregados a utilizar para elaboración de vigas.....	133
Figura 117 Incorporación de la resina de poliéster a la mezcla de agregados. ...	133
Figura 118 Elaboración de vigas de concreto polimérico. ....	134
Figura 119 Proceso de vibrado de vigas de concreto polimérico.....	134
Figura 120 Modelo de falla a flexión de viga #2 con carga en el centro del claro, distancia entre apoyos= 17.7cm. ....	137
Figura 121 Falla de viga de concreto polimérico con carga en el punto medio. ..	138
Figura 122 Gráfico de resumen de módulo de ruptura en vigas. ....	139
Figura 123 Proceso de determinación de calorimetría del concreto polimérico. ..	139
Figura 124 Aumento de temperatura del concreto polimérico en el tiempo. ....	143
Figura 125 Ficha técnica de resina de poliéster utilizada en proyecto.....	161
Figura 126 Ficha técnica de resina de poliéster utilizada en proyecto.....	162

# Capítulo I Introducción

## 1.1. Antecedentes

El concreto es el material más utilizado en la industria de la construcción. A raíz de esto, es evidente la necesidad de investigar en esta rama para ofrecer mejores productos que satisfagan las necesidades para el fin que se requiere.

Con el desarrollo de varias investigaciones, Chandra y Ohama (1994), descubrieron sustancias presentes en la naturaleza como: los ácidos nucleicos y las proteínas que se encuentran en las plantas de almidón y de celulosa. En 1827 Jons Jacob Berzelius, fue uno de los primeros en definir el término de polímero y lo definió como: “del griego polys” que significa “muchos” y “del griego meros” que significa “partes”, estos términos los utilizó para describir sustancias de procedencia molecular de alta masa molecular formadas por la polimerización o la unión de monómeros o moléculas con baja masa molecular.

El concreto polimérico es un material que se ha estudiado en los últimos años y se inició con investigaciones y desarrollo de los polímeros a principios de los años cincuenta. En la industria, en los avances exponenciales en la construcción y adelantos en investigación en el campo de la química, se han desarrollado materiales con propiedades favorables. El uso de polímeros para la fabricación de diversos materiales de construcción es importante, debido a que alcanzan a desarrollar excelentes propiedades mecánicas.

La ausencia de experiencia en la producción e investigación de estos materiales a nivel nacional es uno de los acontecimientos que lleva a realizar esta investigación, debido a que en el país solo se ha desarrollado la producción de materiales como mármol sintético y granito sintético, los cuales se utilizan como sobres para mueblería y acabados arquitectónicos. Este material se puede clasificar como un tipo de concreto polimérico, pero no es propiamente el objeto de estudio de la presente investigación. En varios países este material se ha usado durante varias décadas, como en México, Colombia, Estados Unidos y España. Debido a

esto, nace la necesidad de implementar el uso del material en Costa Rica y abrir una brecha para la investigación en este campo de la ingeniería civil.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El estudio de los materiales de construcción permite generar paulatinamente un avance de nuevas tecnologías y mejorar la calidad de estos materiales. Es por ello que surge la necesidad de investigar el concreto polimérico, ya que no es un material muy utilizado y conocido en Costa Rica. Este material, a pesar del beneficio en sus propiedades, posee un elevado costo en relación con el concreto convencional, esto hace imposible su uso en grandes cantidades, pero se utiliza en productos prefabricados. Se considera necesario realizar investigaciones que permitan que su producción sea rentable para tener una ventaja competitiva en el mercado costarricense. Al mismo tiempo, es importante abrir una brecha en el campo de la investigación de este material de construcción para la comunidad de ingeniería civil en el país.

## **1.3. Hipótesis**

El concreto polimérico es un material novedoso utilizado a nivel mundial, debido a sus características mecánicas. Su elevado costo es un factor que afecta que este material se produzca y se use en pocas cantidades, en comparación con el concreto convencional, esta es una de las razones para que este material sea poco conocido y tomado en cuenta para su investigación o uso en Costa Rica. Debido a la falta de información en esta materia en el campo de la ingeniería civil a nivel nacional, nace la necesidad de cuestionar ¿por qué no se ha investigado sobre el concreto polimérico en Costa Rica? por esta razón, se plantea la elaboración de este proyecto de investigación para que sea un aporte importante para futuras investigaciones y desarrollo de mejores materiales de construcción.

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Caracterizar un concreto polimérico en el laboratorio de materiales de la empresa Productos de Concreto, elaborado con agregados nacionales y resina de poliéster, para determinar sus aplicaciones y ventajas sobre otros concretos con desempeño similar, basado en documentos de investigación y publicaciones del estado del arte de este concreto.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar una recopilación bibliográfica del estado del arte de concreto polimérico.
- Determinar las propiedades que posee este tipo de concreto en comparación con las mezclas de concreto convencional de acuerdo con investigaciones existentes en esta rama de la ingeniería.
- Realizar especímenes de concreto polimérico en el laboratorio, para medir la capacidad de resistir los esfuerzos de flexión, compresión y tracción indirecta, cálculo de densidad y calorimetría.
- Proponer un método empírico para determinar la cantidad óptima de resina de poliéster insaturada, que cumpla con los parámetros de resistencia, trabajabilidad, consistencia y uniformidad de los agregados y componentes en la mezcla.
- Determinar las aplicaciones en que este material puede ser utilizado en Costa Rica.
- Comparar el precio del concreto polimérico respecto al precio del concreto hidráulico.

## **1.5. Justificación**

La búsqueda de nuevos materiales en la rama de la construcción y en el campo de la ingeniería civil, forma parte de un proceso de progreso de los materiales de construcción a través del tiempo. Por ello es importante realizar estudios y experimentación del uso de diferentes materiales innovadores en su aplicación a las mezclas de concreto, y de esta manera encontrar las mejores condiciones y propiedades que este material ofrece. El concreto elaborado con cemento Portland, también es llamado concreto hidráulico o concreto convencional. Es un excelente material de construcción, debido a su simplicidad en la preparación, disponibilidad, y el bajo costo de sus componentes.

Las investigaciones en el área de materiales modernos, han hecho que se aprovechen y superen las propiedades de los concretos elaborados con cemento Portland, modificándolo con polímeros. En la actualidad el concreto polimérico se usa en pequeña escala y en finitas aplicaciones, en las que se recalca el beneficio de sus excelentes propiedades físicas. El costo es más elevado que el del concreto convencional.

Se considera necesario conocer la gama de ventajas y aplicaciones que tiene el concreto como material de trascendencia en obras de ingeniería de acuerdo al uso que se requiera. El concreto polimérico es un material novedoso que ofrece grandes ventajas en el área de la ingeniería civil y otras áreas como en la arquitectura, específicamente en la rama de la construcción. La importancia de realizar un trabajo de investigación en esta área, radica en que se tiene poco conocimiento de las características de este material a nivel nacional. Se toma en cuenta una previa recopilación bibliográfica del estado del arte de este concreto y de esta manera se logra documentar el estado actual de este en comparación con el concreto convencional, lo cual evidencia la importancia de este material para la ingeniería civil, además se conoce el estado actual de este material en Costa Rica.

Una de las primeras etapas del proyecto de investigación es realizar la recopilación bibliográfica, la cual es base para posteriores trabajos sobre este tema. La información recopilada permite determinar la manera en cómo ha sido tratado el



tema, cómo se encuentra el avance tecnológico y el avance de conocimiento que este ha tenido en el país al momento de realizar la investigación. Posteriormente se determina cuáles son las tendencias existentes en este momento sobre este tema para el desarrollo del mismo, ya que este material todavía se encuentra en estudio y no es comúnmente usado en Costa Rica. Con la realización de este trabajo se pretende motivar sobre el uso del concreto polimérico y la importancia de este material en el campo de la ingeniería civil. Una parte importante de este trabajo es el capítulo Análisis e interpretación de resultados, en el cual, en conjunto con la empresa Productos de Concreto S.A., se da un interés de caracterizar este material mediante el uso de normas ASTM (American Society for Testing and Materials), utilizadas para la caracterización del concreto tradicional a base de cemento Portland.

Con la realización de esta investigación se verán beneficiados la comunidad de ingeniería civil y construcción, la Universidad Latina de Costa Rica por su aumento en materia de investigación y la empresa Productos de Concreto S.A. por su interés en investigar sobre concreto.

## **1.6. Alcances y limitaciones de la investigación**

### **1.6.1. Alcances**

Se considera importante investigar sobre el estado del arte de concreto polimérico, con ello exponer y documentar aspectos relevantes, tales como: sus características y propiedades mecánicas, estudios realizados, componentes, aplicaciones y usos. De esta forma documentar los resultados obtenidos por medio de la fase de experimentación del proyecto enfocada a la caracterización del material, en relación con su capacidad de resistir esfuerzos de compresión, tracción indirecta (tensión) y flexión, densidad, absorción y calorimetría. Para ello se elaboran muestras cilíndricas de altura de no más de 300mm y 150mm de diámetro. En el caso de muestras de vigas para las pruebas a flexión se utiliza piezas de 75 x 75 x 300 mm.

Para la realización de los ensayos, se parte de la previa caracterización de los agregados, que fueron proporcionados por la empresa Productos de Concreto S.A, y realizados por la empresa CACISA S.A.

### **1.6.2. Limitaciones**

- La ausencia de experiencia en el país, sobre la producción e investigación de concreto polimérico, es un punto clave en consideración, ya que no se tiene una metodología de diseño de mezcla. Se procede a comenzar desde el inicio, para determinar una metodología empírica para la realización del proyecto.
- Disponibilidad de resina de poliéster para concreto polimérico en el país.
- El laboratorio de materiales no cuenta con el equipamiento para el manejo de gases y olores producidos por la resina de poliéster.
- El ensayo a flexión del concreto en su norma ASTM C78 no se dispone del equipo y se realiza en equipo de la norma ASTM C293.

### **1.7. Impacto**

El impacto que se desea lograr con esta investigación es que sea un medio valioso de consulta en el país y fortalecer la parte de investigación en materia de concreto. El concreto polimérico es un material transcendental para la ingeniería, en especial para la rama de la construcción y para la civilización. Este material se destaca como uno de los materiales más utilizados a nivel mundial, además por el buen desempeño y resistencias mecánicas que el material ofrece.

Como punto inaugural de un proceso de continua investigación, también se procura que este trabajo, sea un comienzo para darle seguimiento al presente trabajo en la parte experimental. El tema es bastante amplio y a nivel nacional no se ha logrado un importante avance en materia de concreto polimérico. También se busca incentivar a la comunidad ingenieril a informarse acerca de este tipo de materiales tan importantes y novedosos en el campo de la construcción e ingeniería

civil. Se expondrá sobre las múltiples aplicaciones que el concreto polimérico ha sido utilizado y con ello incentivar al uso del material en Costa Rica.

## Capítulo II Fundamentación teórica

### 2.1. Concreto hidráulico

El concreto es una mezcla que resulta de la unión de agregado fino arena y grueso piedra, mediante un agente aglutinante, cemento, que reacciona al ser hidratado con agua, formando una pasta que se endurece producto de la reacción química en conjunto con los agregados formando un material sólido similar a un material rocoso. El concreto, cuenta con características que lo hacen uno de los materiales más conocidos y utilizados en el mundo por sus múltiples beneficios en la construcción de obras civiles tales como: resistencia a la compresión, dureza y durabilidad entre otros.

Un factor importante a considerar en una mezcla de concreto es la calidad de cada uno de los elementos que lo conforman, ya que cada material aporta una característica en particular al concreto. Los agregados, según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, (2004), constituyen aproximadamente entre el 60% al 75% del volumen total de concreto y entre el 70% y el 85% de la masa total de la mezcla.

Para determinar las propiedades y características de los agregados según la normativa de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) y las normas de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO por sus siglas en inglés), en sus versiones más recientes se utilizan las siguientes normas:

- ASTM C 136 (Método de prueba estándar para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos)
- AASHTO T27/11 (Método de prueba estándar para el análisis de tamices de agregados finos y gruesos)
- ASTM C 117 (Método de prueba estándar para materiales más finos que la malla No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) en agregados minerales mediante lavado)
- AASHTO T84 (Método de prueba estándar para gravedad específica y absorción de agregado fino)

- AASHTO T112 (Método prueba estándar para granos de arcilla y partículas friables en agregado)
- ASTM C142 (Método de prueba estándar para Terrones de Arcilla y partículas deleznales en los agregados)
- AASHTO T19/ ASTM C29 (Método de prueba estándar para densidad de masa (“Peso Unitario”) y vacíos en agregado)
- AASHTO T104 (Método de prueba estándar para la solidez del agregado mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio)
- AASHTO T21/ASTM C40 (Método de prueba estándar para impurezas orgánicas en agregados finos para concreto)
- ASTM C 123 (Método de prueba estándar para el peso ligero Las partículas en agregados)
- AASHTO T85 (Método de prueba estándar para la gravedad específica y la absorción de agregados gruesos)
- ASTM D4791(Método de prueba estándar para partículas plana, alargado partículas, o plana y alargadas partículas de agregado grueso)
- AASHTO T96/ ASTM C131 (Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de agregados gruesos de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles)

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004), la piedra gruesa produce mezclas sin trabajabilidad. La combinación de agregados que posean una graduación uniforme de tamaño de sus partículas, puede alcanzar una curva granulométrica de tendencia suave. En relación con este parámetro se obtienen parámetros deseables en cuanto a cantidad de vacíos, trabajabilidad y por ende mayores resistencias. El tamaño óptimo del agregado grueso para resistencias más elevadas depende de factores, tales como: resistencia relativa de la pasta de cemento, adherencia entre cemento y agregado y resistencia de las partículas de agregado.

El módulo de finura es un parámetro que se utiliza para estimar las proporciones de agregado fino y grueso en el concreto. Consiste en que cuando el valor es elevado, el agregado es grueso, y si es bajo, el agregado analizado es fino. Algunos agregados de diferentes procedencias pueden tener el mismo módulo de finura.

La resistencia de un concreto está influenciada por la cantidad de agua en la mezcla. Dicha cantidad es inversamente proporcional a la resistencia, una mayor cantidad, provoca una menor tenacidad. Este factor repercute en la trabajabilidad y genera que se produzcan mezclas más secas, con grandes volúmenes de vacíos entre partículas.

Las propiedades de un concreto se pueden mejorar mediante la utilización de aditivos químicos que modifican las propiedades del concreto, también el equipo de vibrado mejora las propiedades del concreto, de esta manera se obtiene uniformidad de los agregados en la mezcla y aumenta la resistencia. En cuanto más contenido de agua tenga, provoca un factor de asentamiento del agregado. Este concepto se conoce como “segregación” que resulta ser un grave problema en la calidad del concreto.

## **2.2. Caracterización del concreto hidráulico**

La resistencia a compresión es una de las propiedades fundamentales del concreto. Se caracteriza por ser resistente ante esfuerzos de compresión, pero reducida resistencia a esfuerzos de tensión y flexión.

La capacidad del concreto para resistir rupturas o deformaciones derivadas de fuerzas externas depende de varios factores físicos y químicos. Otros factores son la interacción de cada uno de los componentes de la mezcla y calidad de los mismos. El proceso de endurecimiento del concreto comienza con la hidratación de los granos de cemento dando paso al endurecimiento y posterior fraguado. Con este proceso el concreto adquiere una paulatina ganancia de resistencia, cuya velocidad disminuye conforme pasa el tiempo.

La adherencia de la pasta de cemento tiende a ser gobernada por los agregados cuando las partículas de los agregados son duras y resistentes. A mayor adherencia se tiene mayor resistencia mecánica. Cuando los agregados poseen resistencias mecánicas bajas, la probabilidad de una alta resistencia del concreto es limitada. La adherencia entre la pasta y los agregados debe ser aceptable y estar acorde al diseño de mezcla. Para que los concretos alcancen una resistencia, es importante que el concreto tenga una relación agua cemento baja, ya que influye en la resistencia de un concreto. Según García (2003), la resistencia del concreto depende de la capacidad de soporte de fuerza de la pasta, del agregado grueso, y de la fuerza de la interfase pasta de cemento vs agregado. Estos también son parámetros a tomar en consideración en relación con la resistencia del concreto.

Para determinar la capacidad de resistir esfuerzos de tracción indirecta, compresión y flexión se utilizan las siguientes normas:

- Resistencia a esfuerzos de flexión, norma ASTM C 293 (Método de ensayo estándar para la resistencia a la flexión del hormigón, utilizando viga simple con carga en el punto central).
- Resistencia a la tracción indirecta, norma ASTM C 496 (Método de prueba estándar para la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto).
- Resistencia a compresión axial, norma ASTM C 39 (Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto).
- Procedimiento de preparación de muestras, norma ASTM C 31 (Método de prueba estándar para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra).

### **2.2.1. Resistencia a compresión del concreto hidráulico**

Las resistencia a compresión del concreto es una característica propia de este tipo de material, según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004), se define como la medida máxima de la resistencia referente a una carga axial. Las unidades de medida de dicha propiedad se expresan comúnmente en megapascales (MPa)

o en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado ( $\text{kgf/cm}^2$ ). La resistencia nominal de un concreto generalmente se mide a una edad de veintiocho días, pero se puede usar edades más tempranas para analizar la ganancia de resistencia a través del tiempo. Esta propiedad permite generar gráficas de desarrollo de resistencia del concreto. Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004), la resistencia de un concreto elaborado con cemento Portland, a los siete días generalmente se estima en un 75% de la resistencia nominal a veintiocho días y las resistencias a edades de 56 y 90 días respectivamente son aproximadamente entre un 10% y 15% por encima de la resistencia a veintiocho días.

La resistencia a compresión del concreto se denomina  $f'_c$  y es función de la relación agua-cemento o relación materiales cementantes. Se obtiene la determinación de la resistencia a compresión a través de ensayos en probetas o muestras de concreto. Para el concreto convencional, generalmente se utilizan por norma cilindros con diámetro de 100 mm y 200 mm de altura. Los cilindros más tradicionales son de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. En el caso de ensayos de mortero se realizan pruebas de cubos de 50 mm en sus aristas.

Los ensayos de resistencia a la compresión resulta ser una medida de control del concreto para que se ajuste a los parámetros de calidad. La utilización de laboratorios de materiales, es un medio por el cual se puede verificar la calidad del concreto utilizado en las construcciones de obra civil. Según Sandí, & Beltrán (2011), un cilindro de diámetro de 150 mm por una altura de 300 mm, alcanza una resistencia aproximadamente del 80% de la que se obtiene en un espécimen cúbico de 150 mm de lado. Este factor se da por el efecto de restricción de placas, debido a una mejor distribución de los esfuerzos en los planos horizontales y menor efecto de pared del agregado grueso en la resistencia.

La mecánica de materiales es útil para conocer el fundamento teórico del ensayo a compresión de un espécimen de concreto. El concreto es un material viscoelástico, la deformación aumenta con el tiempo al verse sometido a un esfuerzo o carga. Este material también tiende a adquirir tenacidad constante. A este



fenómeno se le denomina flujo plástico y ocasiona que la resistencia aumente conforme aumenta la velocidad de deformación.

El fundamento teórico del ensayo a compresión de un espécimen de concreto se debe a una falla que ocurre cuando el material deja de obtener capacidad de absorber energía sin deformarse. En mecánica de materiales se conoce con el nombre de tenacidad. Este efecto se produce hasta que el esfuerzo o carga logra que el material se deforme y la energía de deformación aumente, provocando que el material colapse, pierda su estructura inicial y alcance la fractura. Este fenómeno es analizado mediante diagramas de esfuerzos vs deformación unitaria.

### **2.2.2. Resistencia a flexión del concreto hidráulico**

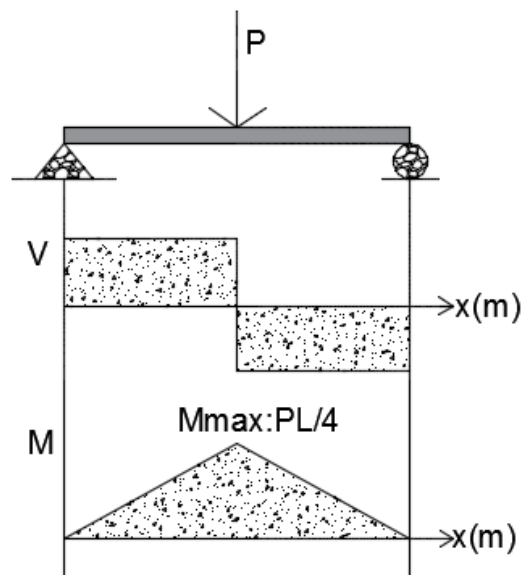
La resistencia fundamental de un concreto es caracterizada por su resistencia ante esfuerzos de compresión. Sin embargo, este material también posee resistencia reducida ante esfuerzos de flexión. Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004), la resistencia a la flexión también se le conoce como módulo de ruptura (MR) y se usa fundamentalmente en el diseño de pavimentos y losas de concreto. Este material debe poseer dicha capacidad para absorber cargas de tránsito.

La resistencia a la compresión es un parámetro que se emplea para determinar la capacidad teórica a flexión de un concreto. En varias investigaciones se ha encontrado que la capacidad a flexión es normalmente de entre 0.70 a 0.88 de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en unidades de MPa. Según menciona Sancho & Carro (2007), la resistencia teórica del concreto o el módulo de ruptura (MR) se toma de la experiencia desarrollada por el Instituto Americano del Concreto (por sus siglas en inglés ACI) en su comité 363. La relación de resistencia a la flexión vs resistencia a compresión según menciona dicho comité, se encuentra en un rango de 1.99 a 3.18 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en  $\text{kgf/cm}^2$ . El ACI recomienda la relación entre ambos como dos veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

En mecánica de materiales el término flexión según Bejarano, (sf) se define como el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección a su eje local en su plano horizontal. Esta definición se refiere a dimensiones irregulares, una es más alargada en afinidad a la otra. La flexión se da principalmente en vigas de concreto o acero que generalmente por sus dimensiones tiene la particularidad de trabajar ante esfuerzos de flexión.

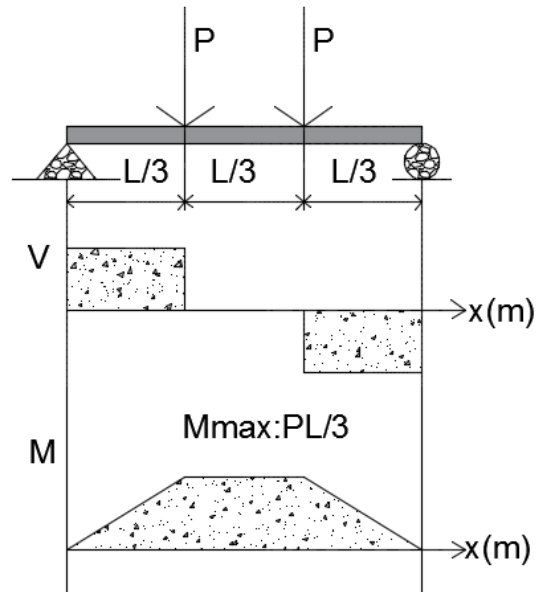
El comportamiento de un elemento se puede analizar mediante el uso de diagramas de momento y de cortante al estar sometido a una carga cualquiera. Los diagramas determinan el comportamiento de sus fuerzas internas en un punto determinado y a través de estas la deformación que el elemento está soportando.

Existen procedimientos normalizados en las versiones ASTM C293 con la carga aplicada en el punto medio y ASTM C78 con la carga aplicada a los tercios para una viga de concreto para determinar la resistencia a flexión o módulo de ruptura (MR). Se puede analizar el mecanismo de falla, conforme a la norma con carga en el punto medio, mediante un diagrama de cortante y de momento de una viga simplemente apoyada como se aprecia en la siguiente figura.



**Figura 1. Diagrama de cortante y de momento respecto al ensayo de la norma ASTM C293 con carga en el punto medio**

**Fuente: Autor (2017)**

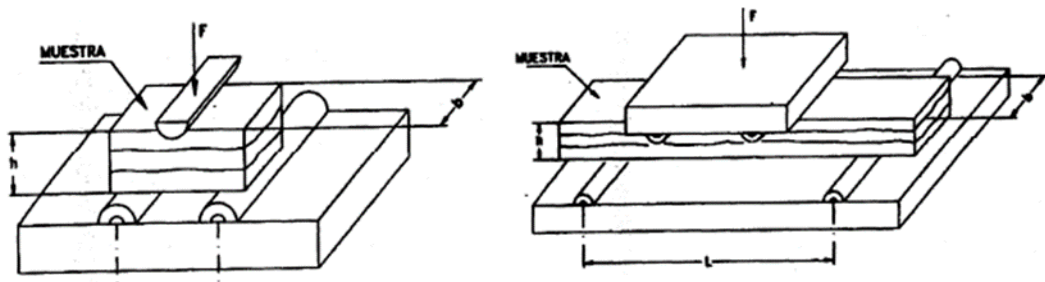


**Figura 2. Diagrama de cortante y de momento respecto al ensayo de norma ASTM C78 con carga a los tercios de la viga**

**Fuente: Autor (2017)**

En la anterior figura se puede observar el mecanismo de falla de una viga simplemente apoyada respecto a la norma ASTM C 78, con carga en los tercios de una viga de concreto. Esta norma es la más utilizada para determinar la capacidad a flexión de un espécimen de concreto.

A continuación, se presenta un diagrama general de los métodos.



**Figura 3. Método de aplicación de carga norma ASTM C78 y ASTM C293**

**Fuente: Álvarez (2017)**

En la figura 3 se evidencia que la cara superior se encuentra sometida a compresión y la cara inferior se encuentra sometida a tensión. Mediante la carga

aplicada en cuatro puntos o a “los tercios” y en tres puntos o “carga en el punto medio”. De esta forma se da la falla debido a la concentración de esfuerzos en un punto específico. El ensayo es útil en vigas y losas de pavimentos rígidos para determinar el módulo de ruptura del concreto.

### **2.2.3. Resistencia a la tracción o tensión del concreto hidráulico**

Se ha descubierto que la resistencia a la tensión o a tracción directa tiene una relación relativa a la resistencia a la compresión del concreto. Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004), explican que representa aproximadamente de 8% a 12% de dicha resistencia. Se estima normalmente de 0.4 a 0.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en unidades de MPa, o de 1.3 a 2.2 veces la resistencia a compresión en kgf/cm<sup>2</sup>.

La tracción directa del concreto es una de las formas más elementales para estudiar el comportamiento del concreto frente a esfuerzos de tensión. Al igual que el ensayo a compresión del concreto, según Villar (sf), ésta consiste en probar un miembro cilíndrico o prismático de concreto y exponerlo a fuerza axial en sus extremos, mediante la aplicación de fuerzas opuestas y medir el punto de falla a tracción. Con este ensayo se puede conocer teóricamente que el aporte del concreto al someterse a esfuerzos de tensión es reducido, siendo la capacidad a compresión la más destacada de este material.

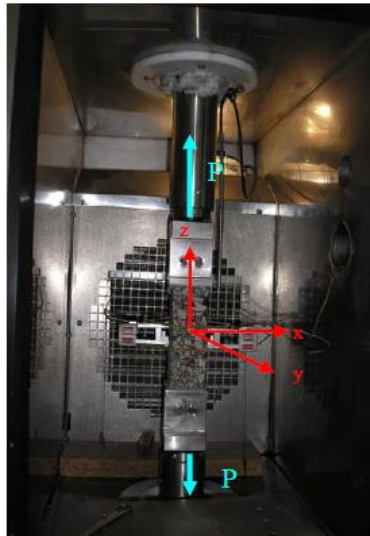
La resistencia a tracción directa según Zerbino, Raúl (sf), por medio de este método se puede determinar por la fórmula:

$$f_t = \frac{P}{A}$$

En donde:

- P es la carga máxima.
- A el área transversal.

A continuación, se presenta la figura 4 sobre el método de tracción directa del concreto.



**Figura 4. Metodología de ensayo de tracción directa del concreto**

**Fuente: Villar (2017)**

En la figura 4 se puede observar la probeta sometida a carga axial P en direcciones opuestas en su eje z, hasta que se dé la falla.

La resistencia a la tracción indirecta o tracción por compresión diametral, más conocida como la norma brasileña. Según Villar (sf), cuando una probeta cilíndrica es sometida a compresión diametral desarrolla un estado de tensiones en el plano bidimensional en su interior. La carga aplicada a lo largo de dos generatrices diametralmente opuestas describe planos principales de tensiones, uno horizontal y otro vertical. Particularmente en el plano vertical se produce una tensión variable de compresión y una tensión teóricamente uniforme de tracción. La carga distribuida linealmente provoca esfuerzos de tracción a lo largo del plano donde se aplica constantemente la carga.

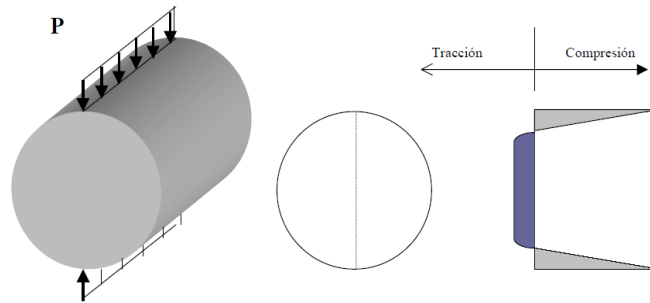
Esta fuerza de tracción mediante el método de tracción indirecta según Villar (sf), y norma ASTM C 496 se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi dl}$$

En donde:

- $P$  es la carga máxima en unidades N
- $d$  el diámetro del cilindro en mm
- $L$  la longitud en mm a lo largo de la cual se aplica la carga.

En la siguiente figura se presenta el mecanismo de falla del ensayo a tracción indirecta.



**Figura 5. Mecanismo de falla de ensayo a tracción indirecta**

**Fuente: Anónimo (2017)**

## **2.3. Normas ASTM**

A continuación, se resume el procedimiento de cada una de las normas ASTM (American Society of Testing Materials) a utilizar para la caracterización del concreto para medir la capacidad de resistir esfuerzos de tensión, flexión y compresión:

### **2.3.1. Norma ASTM C39**

LANAMME UCR (2017), afirma lo siguiente:

#### **“3. ALCANCE**

Este ensayo permite la determinación de la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) de los especímenes cilíndricos de concretos moldeados en laboratorio o en campo u obtenidos por medio de la extracción de núcleos. Se limita a concretos con peso unitario mayor que 800 kg/m<sup>3</sup>

#### **5. ESPÉCIMEN DE ENSAYO**

Los especímenes de ensayo estándar son cilindros de concreto de 150x300 mm o 100x200 mm. Pueden utilizarse cilindros de otras dimensiones, siempre y cuando cumplan con la relación Longitud/Diámetro = dos. La diferencia de diámetro de un espécimen individual con respecto a los demás no debe ser mayor que 2%. El número mínimo de especímenes es de dos para especímenes de 150 mm de diámetro y tres para especímenes de 100 mm de diámetro.

## 6. RESUMEN PROCEDIMIENTO

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión uniaxial a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de carga especificada ( $0.25 \pm 0.05$  MPa/s). La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.”

### 2.3.2. Norma ASTM C293

LANAMME UCR (2017), afirma lo siguiente:

#### “3. ALCANCE

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo de flexión de especímenes de concreto mediante el uso de una viga simple con carga en el punto medio. Este método no es alternativo al ensayo de carga a los tercios medios.

#### 5. ESPÉCIMEN DE ENSAYO

Los especímenes de ensayo deben estar conformes con los requerimientos de tamaño, moldeo y cura especificados en ASTM C31 y ASTM C192. Las caras del espécimen deben formar un ángulo recto entre sí. Todas las superficies deben ser lisas y libres de grietas, concavidades, agujeros o marcas de identificación inscritas.

## 6. RESUMEN PROCEDIMIENTO

Un espécimen de concreto con forma prismática, sin irregularidades, que se ha mantenido húmedo hasta la falla y colocado de manera que la cara expuesta en el molde no esté en contacto con los dispositivos de carga, se centra con las cabezas de carga y los apoyos, se verifica que la cabeza de carga esté aplicada en el centro del espécimen. Se lleva el espécimen de manera gradual hasta la falla, se registra la carga máxima y con ella y las dimensiones tomadas al espécimen fracturado se calcula el módulo de ruptura.”

### 2.3.3. Norma ASTM C496

LANAMME UCR (2017) afirma lo siguiente:

#### “3. ALCANCE

Este ensayo cubre la determinación de la resistencia por fractura a la tensión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados o núcleos extraídos.

#### 5. ESPÉCIMEN DE ENSAYO

Los especímenes de ensayo deben estar conformes con los requerimientos de tamaño, molde y cura que se especifican en ASTM C 31 (3.2) y ASTM C 192 (3.1). En el caso de núcleos, rigen los procedimientos de extracción, tamaño y cura de ASTM C 42 (6.14-6.16). El espécimen estándar consiste en un cilindro de 150x300 mm.

#### 6. RESUMEN PROCEDIMIENTO

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una fuerza de compresión a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto, a una velocidad de carga especificada que ocurra la falla. Se colocan láminas delgadas de madera contrachapada (plywood) a lo largo de la longitud del cilindro para que se garantice que la carga se aplica uniformemente en toda



la distancia. La carga máxima obtenida es dividida por factores geométricos apropiados para determinar la resistencia a la tensión diagonal.”

## **2.4. Los polímeros**

Los polímeros son una gran molécula que ha sido estudiada desde su comienzo en el año de 1827, según Billmeyer (1975), (p.3), Jons Jakob Berzelius acuñó el término polímero (del griego *polys*, “muchos”, y *meros* “partes”) y lo utilizó para indicar las sustancias moleculares de alta masa molecular formadas por la polimerización o la unión de monómeros que son moléculas con baja masa molecular. Esta reacción de polimerización se puede comprender como la unión de eslabones que conforman una cadena. Esta cadena puede ser lineal o en algunos casos cadenas ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. Los polímeros se clasifican en dos clases básicas: polímeros naturales y polímeros sintéticos.

Los seres humanos han usado los polímeros naturales desde tiempos inmemorables. El hombre siempre ha dependido de la materia vegetal y animal para satisfacer sus necesidades básicas. Según Billmeyer (1975), las resinas y gomas naturales han sido utilizadas desde hace miles de años. El asfalto era utilizado en tiempos prebíblicos, el ámbar conocido por los antiguos griegos y el mastique de goma usado por los romanos.

Las singulares propiedades de los polímeros naturales se conocieron hace más de un siglo. Desde su descubrimiento se ha investigado más sobre estos materiales los cuales se caracterizaron como una sustancia coloidal. Según Calahorro (1995), consta de dos fases: fase dispersa formada por partículas microscópicas en estado sólido y fase dispersante o fluida en la que está dispersa la sustancia.

Según Billmeyer (1975), la hipótesis de que los materiales coloidales son de peso molecular alto y se conocían tiempo atrás. Cuando se conocieron métodos experimentales para obtener pesos moleculares se encontraron rangos de estas

sustancias que iban de los 10 000 a 40 000 para sustancias naturales tales como: el caucho, el nitrato de celulosa y el almidón.

Con el descubrimiento y comportamiento de los polímeros naturales los seres humanos han procesado polímeros naturales como la lana, el cuero y el caucho natural. Durante los últimos 60 años aproximadamente, según Brown, Jr, Bursten, & Burdge (2004), los químicos han aprendido a crear polímeros sintéticos por medio de la polimerización de monómeros mediante reacciones químicas controladas.

Muchos de estos polímeros sintéticos tienen una columna vertebral de enlaces C-C. Los átomos de carbono tienen la capacidad de formar enlaces fuertes y estables entre sí. Según Billmeyer (1975), en la búsqueda de sustancias con alto rendimiento por polímeros químicos fueron descubiertas muchas sustancias poliméricas. El poli (etilen glicol) se preparó en 1860, los polímeros individuales con grados de polimerización de hasta seis. Debido a esto se pudo entender el concepto que son de pesos moleculares muy altos por condensación continuada.

Según Pérez (2011), uno de los químicos que más ha aportado en el campo de la química con investigaciones en polímeros; es el químico estadounidense Paul J. Flory. Este químico fue galardonado con el premio Nobel de Química en 1974, por sus importantes investigaciones sobre polímeros y otras macromoléculas. Según Pérez (2011), el ejemplo más sencillo de reacción de polimerización es la formación de **polietileno** a partir de moléculas de etileno. En esta reacción, el doble enlace de la molécula de etileno se “abre”, y dos de los electrones que originalmente participaban en el enlace se utilizan para formar nuevos enlaces sencillos C – C con otras dos moléculas de etileno.

## **2.5. Resinas utilizadas en concreto polimérico**

Las resinas poliméricas que se utilizan comúnmente para la elaboración de concreto polimérico son: resina de poliéster instaurada, resina epoxi, resina de viniléster y resinas de furano. Según se explica en varios documentos de investigación como Bedi, Chandra, & Singh (2013), la resina que se utiliza para la elaboración del material es resina de poliéster insaturada. Dicha resina fue

elaborada según menciona Diez (2013), entorno a un 35% de estireno. Este material debido a las ventajas económicas, disponibilidad y buenas propiedades mecánicas, es la resina más usada para la elaboración de concreto polimérico. Para la elaboración de concreto polimérico, también se utilizan resinas epoxi. Estas pueden ser más costosas según Bedi, Chandra & Singh (2013), debido al proceso de producción de esta resina. Es por ello que se dificulta su aceptación en referencia a la resina de poliéster, sin embargo, este tipo de resina posee beneficiosas propiedades mecánicas como también mejor durabilidad al verse sometidas a factores ambientales severos.

Un estudio comparativo de las propiedades según menciona Bedi, Chandra, & Singh (2013), de los polímeros explica que las propiedades de los polímeros epoxi y poliéster, y que el concreto a base de resina epoxi tradicional, cuentan con las mejores propiedades a diferencia del concreto elaborado con resina de poliéster. También afirma que este concreto puede mejorar satisfactoriamente sus propiedades en comparación con el concreto a base de resina epoxi, con la adición de microfillers y agentes de acoplamiento de silano. Las resinas de furano también se utilizan en gran medida en los países europeos. La elección del tipo particular de resina depende de factores como el costo, las propiedades deseadas y la resistencia química.

Martínez (2016), menciona que el curado de la resina de poliéster se da mediante distintos métodos como el uso de iniciadores químicos y aceleradores o bien por la aplicación de calor y exposición a la radiación. Dichas resinas tienen la particularidad de caracterizarse por ser un líquido viscoso, como se menciona en el apartado “2.7 los polímeros”. Las resinas comerciales están formadas por moléculas lineales de poliéster insaturado disueltas en estireno, que mediante la adición de su agente catalizador se da el proceso de polimerización y el endurecimiento de la resina que es un proceso definitivo.

Para Besednjak & Deietrich (2005), el proceso de curado de una resina se da mediante la adición de un agente catalizador, también conocido como activador. Esta sustancia provoca que, mediante la adición, la resina pasa de estado líquido a

estado sólido. El proceso de endurecimiento de la resina genera que se produzca un aumento de temperatura. Al mismo tiempo, la velocidad de endurecimiento y aumento de temperatura se debe a una dosis mayor de catalizador. En las velocidades de curado también influyen algunos factores como la temperatura ambiente y el espesor de la mezcla. En el caso de la adición de cargas, ayuda a que la temperatura se disipe por medio de estas. Cuando la mezcla alcanza su temperatura máxima de curado la misma empieza a disminuir hasta que vuelve alcanzar la temperatura ambiente. Este proceso se conoce con el nombre de curado final.

En la siguiente figura se puede observar que no existe un incremento en la temperatura, sino que empieza a cambiar la viscosidad hasta un punto. La sustancia se transforma en un gel que se conoce como punto de gel. Este parámetro determina los tiempos de trabajo de la resina, a partir de este punto comienza el endurecimiento de la resina.



**Figura 6. Curva exotérmica característica de una resina**

**Fuente: Dietrich (2005)**

## 2.6. Concreto polimérico

El concreto polimérico es un material compuesto por agregados finos y gruesos, en el que los mismos se unen mediante un componente aglutinante líquido llamado resina que corresponde a un monómero disuelto de baja masa molecular. Como se menciona anteriormente, se solidifica mediante la incorporación de un agente catalizador que reacciona en conjunto con los materiales. Según el Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés) los materiales compuestos no contienen una fase de cemento hidratado. El cemento Portland puede ser utilizado como un agregado o material de carga.

El concreto polimérico es un material de construcción que descubrió desde antes de los años cincuenta. Según Bedi, Chandra, & Singh (2013), por medio de los avances en el campo de la química y el descubrimiento de los polímeros de diferentes tipos. Los polímeros pueden ser de procedencia natural o sintética. Presentan alta resistencia, a la flexión, y resistencia a la compresión; buena adhesión a la mayoría de superficies; buena durabilidad a largo plazo en relación con los ciclos de congelación y descongelación. Según menciona Martínez (2016), otras características de los polímeros es la resistencia al rayado, alta resistencia química a ácidos, álcalis y otros elementos corrosivos, así como a los rayos Ultra Violeta y baja absorción de humedad.

El concreto polimérico es un material que fragua o se endurece rápidamente, producto de la reacción química o como se menciona anteriormente la reacción de “polimerización” de la resina. Este fenómeno ocurre producto de la adición del agente catalizador que en la mayoría de las veces es “Peróxido de Metil Etil Cetona”. Para la elaboración del concreto polimérico a diferencia del concreto convencional en el que se utiliza comúnmente cemento Portland, en este tipo de material el papel de material cementante lo desempeña la resina polimérica.

Según Pérez (2011), este material aparte de fraguar o endurecerse rápidamente, tiene un inconveniente de tipo económico. En este concreto  $1\text{m}^3$  resulta del orden de cinco veces más costoso a diferencia en precio de un concreto convencional. La elaboración de concreto polimérico en relación a la calidad de

materiales es un punto a recalcar. Para su elaboración se siguen los mismos procedimientos que para la elaboración de un concreto convencional. Los agregados utilizados deberán ser de calidad, además de proceder con cada uno de los ensayos a realizar en sus normas más recientes referentes a ASTM (American Society for Testing and Materials) y normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Este material, por su naturaleza, no contiene agua como tampoco cemento Portland, aunque en algunos casos se utiliza cemento como material de carga.

Para la fabricación de concreto polimérico, la cantidad de resina polimérica se define en relación con la cantidad de agregados y componentes de la totalidad de la mezcla en masa bruta. Su agente catalizador se define como una sustancia que resulta ser el medio por el cual se acelera el proceso de reacción química, en este caso la reacción que acelera es el fraguado de la resina polimérica. En pocos minutos, según Pérez (2011), si la reacción química se mantiene a temperatura ambiente, el concreto se endurece a una temperatura mediana. Si la temperatura a la que está expuesta la mezcla es mayor, la reacción química se acelerará.

Los porcentajes de la resina en el concreto polimérico son variados, según menciona Martínez (2016). Las resinas de poliéster son las más utilizadas debido a su bajo costo y otras características. Se han utilizado 10%, 14% y 18% en peso y 12% en peso de resina de poliéster isoftálica y un 20% en peso de resina poliéster ortoftálica).

En la actualidad el uso de concreto polimérico presenta un elevado costo, según Pérez (2011). Se elaboran elementos de pequeño volumen tales como: muebles para baño o formas de uso arquitectónico que requieran resistencias elevadas. En las que se pueden citar: superficies de rodamiento como pistas aeroportuarias, carpetas de rodamiento en puentes y pisos industriales, tuberías de aguas residuales y elementos de tránsito. Su uso se da en industria eléctrica en la elaboración de cajas de registro, tapas para trincheras y tapas de pozos de visita.

Las propiedades y eficiencia que el concreto polimérico logre obtener, dependen del tipo de dosis de resina polimérica y calidad de materiales de carga.

Al igual que en el concreto convencional, la relación agua cemento es un factor que influye en la resistencia. En el caso de un concreto polimérico dicha relación se da entre los materiales de carga y la cantidad de resina polimérica, un exceso de esta provoca menor resistencia y por ello un mayor costo al ser la resina la sustituyente del cemento en un concreto normal.

Uno de los factores que influye en la resistencia de un concreto polimérico, está en su granulometría. La combinación de los agregados en una curva de mejor ajuste, permite que los tamaños de partícula se ajusten y exista una mejor repartición de agregado en la mezcla. Este factor además genera una menor cantidad de vacíos. Al igual que en el concreto convencional se utilizan agregados finos y gruesos de procedencia industrial y natural. Martínez (2009), menciona que para la fabricación de concreto polimérico también se han utilizado cenizas volátiles, arena sílice, bentonita, barita y carbonato de calcio.

La sílice según menciona Barrera (2009), es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre después del oxígeno, y es el principal constituyente de los agregados. La arena sílice tiene aplicaciones en diferentes industrias como en la electrónica, la construcción entre otras. El uso de esta arena se ha utilizado en la fabricación de concreto convencional y polimérico, debido a su grado de finura. Según Barrera (2009), con la adición de la arena sílice al concreto polimérico se puede lograr poca permeabilidad, mejor resistencia a la tensión, flexión y compresión. También se obtiene una mejor resistencia al ataque químico y congelamiento.

Para tener una mejor adherencia de la resina polimérica con los agregados y componentes de la mezcla, se recomienda que los agregados estén libres de humedad y suciedad. Estos factores son fundamentales para lograr que la mezcla solo trabaje con el aporte de la resina polimérica y los agregados o cargas. Según menciona Barrera (2009), las propiedades del concreto polimérico pueden modificarse con la adición de materiales de refuerzo. Entre algunos de los materiales utilizados están las fibras tales como: fibra de vidrio o fibras de polietileno entre otras comúnmente utilizadas en la elaboración de concreto convencional.

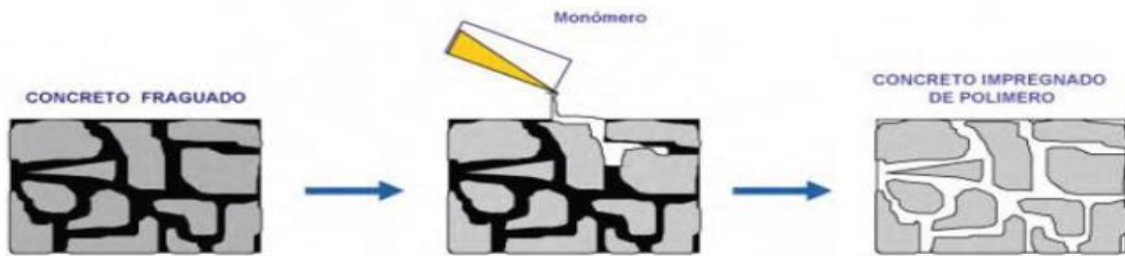
## **2.7. Desarrollo de los concretos poliméricos**

Durante el descubrimiento de los polímeros y el uso de ellos en la elaboración de concreto polimérico, el Instituto Americano del Concreto, ha desarrollado algunas investigaciones sobre este material. Para Armendáriz (2013), el uso de los polímeros ha tenido un importante crecimiento en los últimos 45 años, debido al avance en la búsqueda de mejores materiales de construcción.

El Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés) ha realizado investigaciones y ha publicado varios artículos y documentos en donde se puede observar los diferentes ensayos y técnicas desarrolladas con distintos materiales. Estos documentos sirven para analizar el comportamiento del uso de polímeros ante diferentes escenarios. Dicho instituto ha denominado tres tipos de concretos en su norma ACI 548 en diferentes versiones, entre los cuales se puede mencionar: Impregnación de concreto (PIC polymer concrete impregnated), concreto modificado con polímeros (PMC polymer-modified concrete) y concreto polimérico (PC polymer concrete).

La impregnación de concreto se da mediante la utilización de resinas poliméricas. Este proceso ha sido utilizado según Armendáriz (2013), para la reparación de fisuras y relleno de poros. El mecanismo de curado del material se realiza, al igual que el concreto polimérico, mediante la adición de un agente catalizador que polimeriza la resina. Este método tiene la ventaja de aumentar las características de un concreto endurecido e incrementar la resistencia mecánica del elemento de un concreto convencional entre tres a cuatro veces, reduciendo considerablemente la absorción de humedad.





**Figura 7. Proceso de impregnación con un monómero**

**Fuente: Armendáriz (2013)**

El ACI, en su guía “548.1R-09: Guía para el uso de polímeros en Concreto”, recomienda su uso. Armendáriz (2013), menciona que este tipo de proceso, por su elevada resistencia mecánica y durabilidad, se utiliza en durmientes de ferrocarril, pavimentación de puentes, tubos de desagüe, tanques de almacenamiento de agua y otros. En la anterior figura se presenta un esquema general del proceso.

El concreto modificado con polímeros es otra investigación que ha realizado el ACI. Según su norma 548.3R-09 aborda un informe de concreto realizado con polímeros orgánicos combinados con el cemento hidráulico. Según menciona Armendáriz (2013), se le añade a la mezcla en estado fresco generalmente estireno butadieno, acetato de polivinilo o metacrilato, de esta forma la mezcla tendrá el aporte de dos aglomerantes activos durante el proceso de hidratación del cemento.

En el documento también se resumen técnicas de mezcla y se detallan factores que intervienen en la selección de sistemas de polímeros adecuados. Se describe brevemente las propiedades del sistema del concreto modificado con polímeros en estado fresco y endurecido. También se detallan aplicaciones que este proceso puede tener en el campo la construcción. Según explica Armendáriz (2013), la ventaja de este proceso es de tipo económico ya que emplea una menor cantidad de resina. En la siguiente figura se muestra el esquema general del proceso de concreto modificado con polímeros.



**Figura 8. Modificación del concreto hidráulico mediante la adición de una resina o polímero**

**Fuente: Armendáriz (2013)**

En las anteriores publicaciones de El Comité ACI 548, el Instituto Americano del Concreto ha publicado la guía “548.5R-16 Guía para revestimientos de concreto polimérico”, en la cual se proporciona información para la colocación de capas delgadas de menos de 2.54 cm de concreto polimérico. La guía también presenta información sobre la preparación de superficies, métodos de aplicación, control de la calidad y seguridad. La utilización del material hace referencia al sector del transporte tales como: cubiertas de puentes y parquesos.

El concreto polimérico es otra denominación de material de investigación por el Instituto Americano del Concreto y es la parte fundamental del presente trabajo de investigación. Esta institución ha realizado varias publicaciones de documentos de investigación tales como: “SP-089: concreto polimérico” en el que según el ACI, se expone una colección de varios trabajos sobre el uso, materiales utilizados y propiedades de este tipo de concreto, así mismo los avances en investigación, aplicaciones y usos de los polímeros.

Otra publicación de interés en materia de concreto polimérico es “SP-116: Polímeros en concreto: Avances y Aplicaciones” la cual consta, según el ACI, de una colección de investigaciones referente a nuevos materiales poliméricos de concreto. En esta investigación se sintetiza una recopilación de experiencia a nivel mundial, casos de estudio en la reparación de concreto polimérico frío y la influencia

de los agregados en las propiedades de fractura del concreto polimérico a base de resina de poliéster.

El concreto polimérico como se menciona anteriormente en el apartado “2.9 *concreto polimérico*” consta de la combinación de agregados de distinta procedencia en la que su matriz aglutinante es una resina polimérica, la cual a diferencia del concreto convencional no utiliza cemento Portland o hidráulico, tampoco utiliza agua para la hidratación de la pasta. En la siguiente figura se muestra un esquema del procedimiento general de la elaboración de un concreto polimérico, según Armendáriz (2013).



**Figura 9. Esquema de elaboración del concreto polimérico**

**Fuente: Armendáriz (2013)**

## **2.8. Contenido de humedad en los agregados**

Para la elaboración de concreto polimérico, según menciona Vicedo (2011), se realizaron pruebas experimentales en donde se utilizaron agregados silíceos, Ohama (1973), con contenido de humedad mayor al 0.1%. En estas pruebas se observa que influye negativamente en la resistencia de morteros poliméricos elaborados con resinas de poliéster. Posteriormente se estudió el mismo comportamiento con la utilización de agregados silíceos y de procedencia caliza Hsu (1984). En este caso se observa que la resistencia del concreto polimérico disminuye con la presencia de humedad o agua en los agregados. Este factor se da debido al enlace entre el polímero y el agregado disminuyendo la adherencia entre ellos y esto conduce a la disminución de la resistencia del concreto.

Con los aportes en investigación de este fenómeno según Vicedo (2011), se puede observar una disminución de la resistencia a la compresión. La reducción de esta propiedad es del orden de 40% al 55% mostrando una insuficiente resistencia el concreto polimérico realizado con agregados silíceos, a diferencia de los calizos, ambos con el mismo contenido de humedad. Con estas investigaciones se puede notar que la influencia de humedad o agua en los agregados es un fenómeno a considerar para la elaboración de concreto polimérico. En consideración a lo anterior, la finalidad es obtener una mezcla de concreto polimérico con resistencia mayor a una alcanzada con concreto convencional.

## **2.9. Limitantes del concreto polimérico**

Una de las principales limitantes del concreto polimérico es su relativo alto costo. Este material a diferencia del concreto convencional, puede ser del orden de cinco veces más alto que el otro concreto. Para Pérez (2011), las aplicaciones del concreto polimérico son amplias, se utilizan en ramas destacadas como: la construcción, en la industria química, en el procesamiento de alimentos, en la ingeniería minera e ingeniería civil. Armendáriz (2013), menciona que los concretos poliméricos solo deben ser utilizados para usos específicos en donde su elevado costo sea compensado conforme a las propiedades que el material ofrece. Sus propiedades también influyen en aspectos tales como: la disminución de tiempos de proyectos y ahorro en costos de mano de obra.

Uno de los principales problemas de este material, según menciona Armendáriz (2013), es que posee propiedades viscoelásticas que son proporcionadas por el polímero. Esto significa que el material presenta un módulo de elasticidad no muy elevado, un estado de fluencia más reducida y ser susceptible a la temperatura. También la temperatura de operación del concreto polimérico se ve afectada por un factor llamado HDT (heat deflexión temperature por sus siglas en inglés), acerca de la resina utilizada. Generalmente este factor en las resinas poliéster se encuentra en un rango 80°C a 95°C, las del viniléster de 110°C a 140°C y las epóxicas de 180°C aproximadamente.

Aparte de ser un concreto con elevado costo, el precio está influenciado por el precio de las resinas empleadas para su fabricación. En algunos países, por ejemplo Costa Rica, la producción de este material es nula. Para la elaboración de este material es importante contar con un mercado local, que permita a empresas producir el material.

## **2.10. Aspectos de seguridad para el manejo de resinas poliméricas**

La seguridad ocupacional es un aspecto importante, ya que el manejo de sustancias químicas como las resinas poliméricas, pueden causar un riesgo sobre la salud humana. A continuación, se presenta información sobre equipo de protección personal para la manipulación de este tipo de resinas. La empresa GTM es una empresa especializada en venta de productos químicos en Latinoamérica y posee normas de seguridad para el manejo de estas sustancias.

Grupo Transmerquim (2016), afirma lo siguiente:

“Instrucciones de exposición: Producto peligroso, manejar este químico sin el equipo de protección personal adecuado o sin los controles de exposición puede resultar en daño.

Protección respiratoria: Usar equipo de protección con cartucho químico universal o para vapores orgánicos. Usar mascarilla con suministro de aire de protección facial completa aprobada por la NIOSH con presión positiva en caso de emergencias o altas exposiciones. Guantes de protección: Utilice guantes protectores de PVC, nitrilo o neopreno.

Protección de la vista: Utilizar Gafas de seguridad. Usar careta protectora

Equipos de protección dérmica: Delantal o ropa protectora adecuada PVC.

Otros equipos de protección: Controles de ingeniería: Sistema de extracción general o local. Equipos eléctricos con motor a prueba de explosión. Manipular cerca de ducha y lava ojos.

Ventilación: Manipule en lugares con buena ventilación. Proveer ventilación mecánica de ser necesaria.”

## **2.11. Marco situacional**

El concreto polimérico es un material de construcción. Este se utiliza en varios países alrededor del mundo antes de los años cincuenta tales como: México, Colombia, Estados Unidos y España, entre otros. El desarrollo constante de tecnologías que buscan satisfacer las propiedades del concreto, como lo son la implementación o el uso de polímeros, ha generado la necesidad de investigar acerca de este tema a nivel mundial. Las investigaciones se realizan a través de los centros de investigación, universidades, repositorios institucionales y de aquellas empresas que comercializan productos de concreto.

La limitada información de estudios referentes al uso de concreto polimérico en Costa Rica permite abstraer un marco lógico conceptual acerca la percepción ilustrada de otros países, y se puede obtener un conocimiento enfocado de la conceptualización original, evolución del material y aplicación constructiva a raíz de razones concretas. Los antecedentes de aplicación pueden estar sujetos integralmente, debido a que el uso de polímeros desde su descubrimiento en la aplicación que tiene en conjunto con el concreto se viene dando desde tiempo atrás. Con este trabajo de investigación se pretende abrir una brecha en la investigación de este material. Se considera importante conocer las propiedades que este concreto posee y con esto incentivar el uso y poder elaborarlo en Costa Rica. A continuación, se expondrán algunas de las aplicaciones del concreto polimérico en los países anteriormente mencionados y en Costa Rica.

### **2.11.1. Concreto polimérico en Costa Rica**

La investigación en materia de concreto polimérico a nivel nacional es nula. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en el año 2013, ha visto la importancia de empezar a utilizar otros tipos de materiales en la construcción, es por ello que en algunas zonas del país como en el cantón de Desamparados ubicado en la provincia de San José, se están utilizando tapas de concreto polimérico para pozos de inspección. La empresa mexicana Concreto Polimérico Castor S.A. fue la encargada de realizar el trabajo.



**Figura 10. Tapa de pozo de visita de concreto polimérico**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A. (2013)**

La utilización de estos productos para mejorar las condiciones de las vías a nivel nacional, es un gran paso en la búsqueda de mejores materiales, que sean más eficientes y duraderos y que satisfagan las necesidades del medio.



**Figura 11 Tapa de pozo de visita de concreto polimérico**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A. (2013)**

Las tapas de hierro fundido que se utilizan actualmente son de mala calidad en relación con las tapas de concreto polimérico. Las tapas de hierro fundido son utilizadas por empresas como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).



**Figura 12. Modelo de tapa pozo de visita (ICE) de concreto polimérico**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A. (2013)**

Con la colocación de tapas de concreto polimérico en los pozos de visita, se evitarían varios factores que perturban el tránsito vehicular tales como: vandalismo, ruptura de las mismas debido a cargas de impacto, corta duración de las tapas de hierro fundido, un constante mantenimiento, comodidad para los conductores, entre otros factores. En cuanto a la parte económica, la colocación de estas tapas puede ser más costosa en comparación con las de hierro fundido, pero su precio se compensa mediante la prevención de los factores anteriormente mencionados que son los más conocidos por los ciudadanos.

### **2.11.2. Concreto polimérico en Colombia**

En Colombia, la empresa **REFORPLAS S.A.S**, ubicada en la ciudad de Bogotá, elabora productos con polyconcreto combinado con plástico reforzado con fibra de vidrio el cual aumenta sus propiedades físico-mecánicas y ocasiona que estos productos sean, según menciona la empresa REFORPLAS S.A.S, más resistentes de tres a cinco veces más fuerte que el concreto convencional y más durables. A este material no le afecta aspectos como la humedad, sales o cambios en la temperatura. Su uso en intemperie los hace más livianos de 33.3% a 10% conforme al peso del concreto convencional, resistencia a cargas de impacto diez veces mayor a la resistencia del mármol, rápida fabricación debido al corto tiempo de curado, seguros, ya que son muy resistentes y no son conductores de electricidad, rápida instalación y transporte. Esto puede significar un ahorro en



tiempo y mano de obra debido a su facilidad de instalación y finalmente su amplia gama de texturas, geometrías, colores y diseños. Ref. [2]

A continuación, se presentan algunos de los productos más importantes que produce esta empresa:



**Figura 13. Tapas de registro de visita de agua potable**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017).**



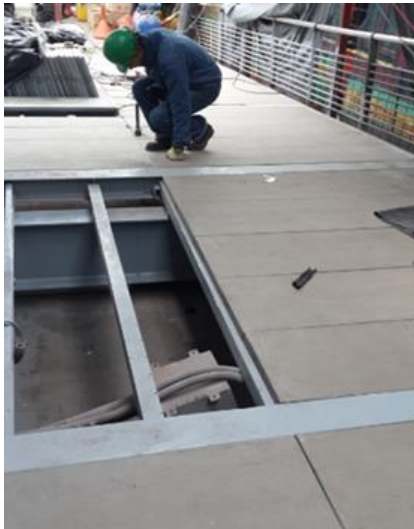
**Figura 14. Rejilla de polyconcreto para alcantarillado**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



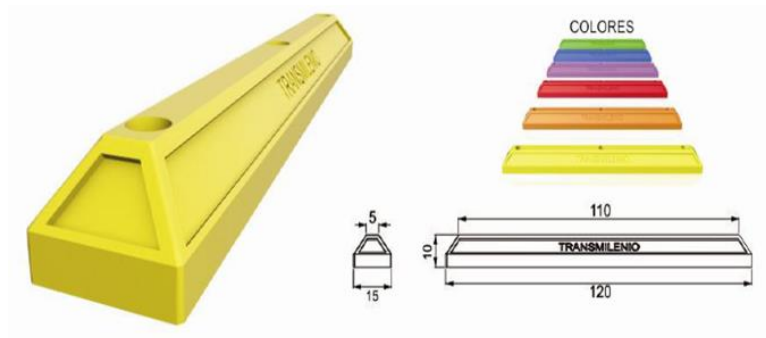
**Figura 15. Tapa de polyconcreto para pozo de visita**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



**Figura 16. Láminas de concreto polimérico para pisos de transmilenio**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



**Figura 17. Tope de polyconcreto para parqueo**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



**Figura 18. Escalones de polyconcreto para puente**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**

### **2.11.3. Concreto polimérico en México**

En México se encuentran varias empresas importantes en el campo de concreto polimérico en las que se pueden mencionar algunas como: Concreto Polimérico Castor, Antares Poliméricos S.A., Concretos Poliméricos de México S.A., Tubomex y otras.

Concreto Polimérico Castor es una empresa que se funda en 1995 y ofrece productos en el campo de la electricidad, telefonía, bocales para pozos telefónicos, alcantarillas, ductos de drenaje, entre otros como se muestran algunos de ellos a continuación: Ref. [1]



**Figura 19. Tapa de concreto polimérico de paso vehicular**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A (2017)**

**Tapa paso vehicular de 21 Ton:** Realizado conforme a la norma TELMEX, resistente a agentes corrosivos, rayos UV, cambios de temperatura, indeformable, no absorbe líquidos, dieléctrico y auto extingible, ligeros y manejables. Ref. [1]



**Figura 20. Pozo cónico pequeño de concreto polimérico**

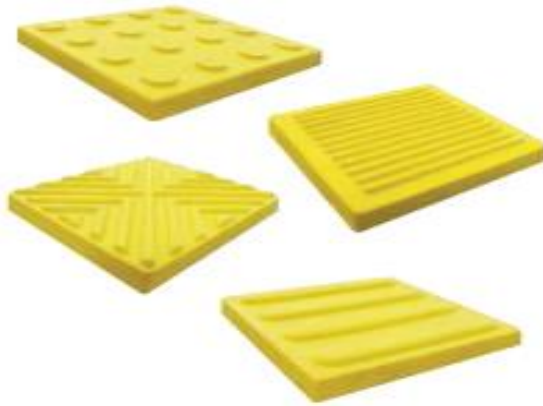
**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A (2017)**

**Pozo cónico pequeño:** Cuerpo fabricado en plástico reforzado con fibra de vidrio, brocal y tapa fabricados en concreto polimérico de alta resistencia, placa localizadora bajo demanda, resistencia a la flexión de la tapa a 21 000 kilos, resistencia a la carga lateral 1 500 kilos, resistente a agentes corrosivos, rayos UV, cambios de temperatura, indeformable, no absorbe líquidos, dieléctrico y auto extingible, ligeros y manejables. Ref. [1]



**Figura 21. Caja de registro para fibra óptica**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A (2017)**



**Figura 22. Guías táctiles de concreto polimérico**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor S.A (2017)**

**Guías táctiles:** Guías prefabricadas de concreto polimérico de alta resistencia reforzadas con fibra de vidrio, cumple con las normas de accesibilidad garantizada internacionales, amplia variedad de medidas, diseños podotáctiles y colores. Ref. [1]



**Figura 23. Tapas para cisterna de concreto polimérico**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor (2017)**

**Tapas para cisterna:** Marco y tapa en concreto polimérico de alta resistencia reforzadas con fibra de vidrio, prácticas y seguras, colores, y diseños poco táctiles, ligeras y manejables, ideal para climas extremos y de alta salinidad, resistente a agentes corrosivos, rayos UV, cambios de temperatura, indeformable, no absorbe líquidos, dieléctrico y auto extingible, resistencia hasta 2.5 toneladas. Ref. [1]



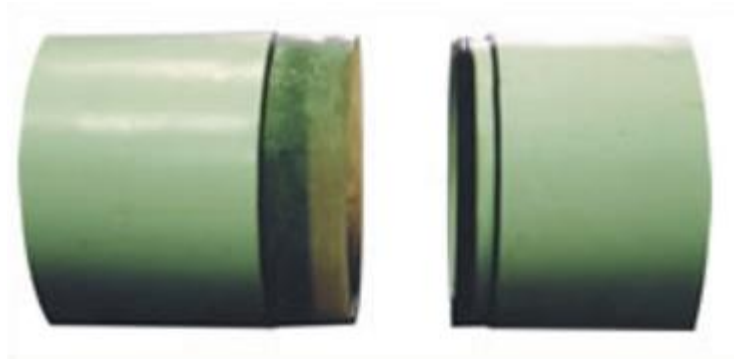
**Figura 24. Tapas para trinchera de concreto polimérico reforzado**

**Fuente: Concreto Polimérico el Castor (2017)**

**Tapas para trinchera:** Tapas prefabricados en concreto polimérico de alta resistencia reforzado con fibra de vidrio, pernos de acero inoxidable para su fácil izaje, ligero y manejable, no absorbe líquidos, dieléctrico y auto extingible, modificables en campo, se adaptan a cualquier tipo de ángulo y altura, geometrías especiales para curva y cruces disponibles, resistencia a ataques químicos, resistencia de la tapa de 2 000 a 21 000 kilos certificados por laboratorio, pruebas de intemperismo y ataques de rayos UV. Ref. [1]

#### **2.11.4. Concreto polimérico en Estados Unidos**

En Estados Unidos una importante empresa en materia de tubería de aguas residuales de concreto polimérico es **iNTERpipe**. Tradicionalmente, las infraestructuras de aguas residuales se construyen de concreto armado, arcilla, ladrillo o acero para tuberías, pozos de inspección y estructuras asociadas. Todos están sujetos a problemas de corrosión, instalación y mantenimiento. Durante muchos años la industria de aguas residuales ha necesitado un producto que pueda combatir los numerosos problemas de infraestructura. Para hacer que iNTERpipe sea más fácil de usar, se fabrica utilizando las pautas estándar de especificación ASTM para hormigón armado. Ref. [4]



**Figura 25. Tubo de carga de concreto polimérico reforzado**

**Fuente: iNTERpipe (2017)**



**Figura 26. Estructuras de pozos de aguas residuales de concreto polimérico reforzado**

**Fuente: iNTERpipe (2017)**



**Figura 27. Estructura de pozo de aguas residuales de concreto polimérico**

**Fuente: iNTERpipe (2017)**





**Figura 28. Redes de tubería de agua residual**

**Fuente: iNTERpipe (2017)**



**Figura 29. Revestimiento de túneles de concreto polimérico**

**Fuente: iNTERpipe (2017)**



**Figura 30. Revestimiento de túneles de concreto polimérico**

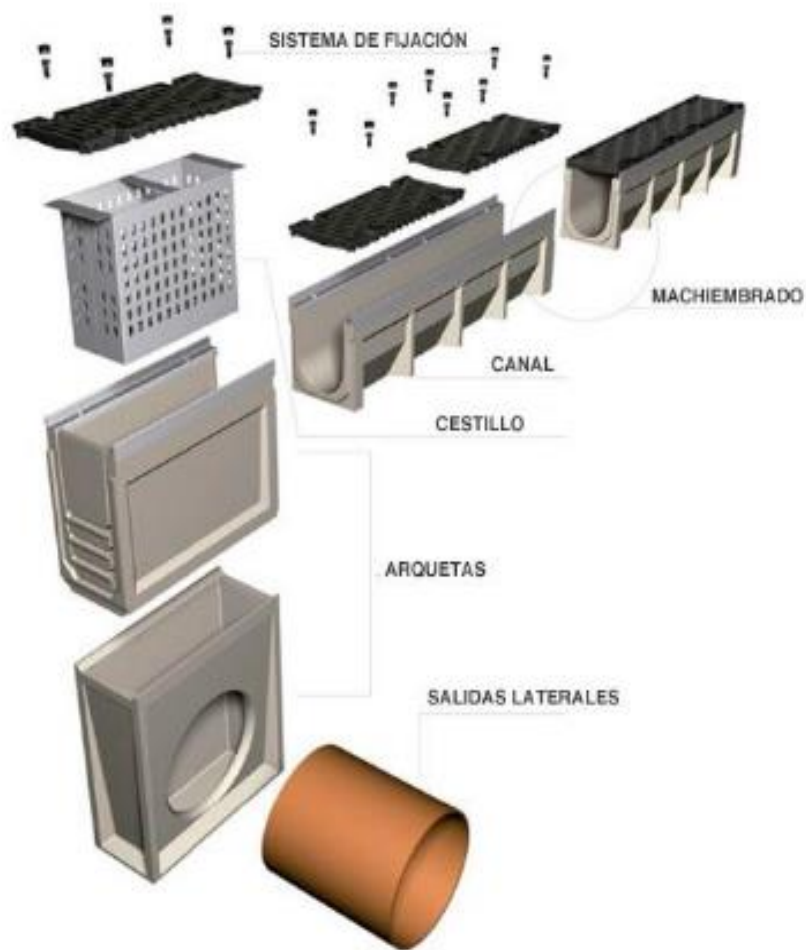
**Fuente: iNTERpipe (2017)**



### 2.11.5. Concreto polimérico en España

En España, una gran empresa en materia de concreto polimérico es Grupo ULMA, uno de los mayores grupos empresariales del norte de España con más 50 años de presencia en el mercado y ofrece productos para canalización y drenaje, prefabricados arquitectónicos, cerramientos de fachada y fachada ventilada. Ref. [3]

Algunos de los productos y proyectos que cuenta esta empresa se exponen a continuación:



**Figura 31. Sistema de drenaje completo, prefabricado de concreto**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



**Figura 32. Dinteles prefabricados de concreto polimérico**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**

Dinteles prefabricados en concreto polimérico. Son el elemento horizontal destinado a soportar la carga situada en la parte superior de los vanos de puertas y ventanas. A continuación, se muestra aplicaciones del sistema. Ref. [3]



**Figura 33. Aplicación de dinteles prefabricados de concreto polimérico**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



**Figura 34. Aplicación de dinteles prefabricados de concreto polimérico**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**

#### **2.11.6. Algunos proyectos de la empresa Grupo ULMA**

Canales de drenaje ULMA, Aeropuerto Internacional de Rio de Janeiro, Brasil. Estos canales están diseñados para zonas de tráfico pesado y en especial para tramos en los que las rejillas sufren grandes esfuerzos axiales debido a las maniobras y frenadas realizadas sobre las mismas. Ref. [3]



**Figura 35. Aeropuerto Internacional de Rio de Janeiro**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



**Figura 36. Canales de drenaje de concreto polimérico utilizados en proyecto**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**

Cerramiento y fachada ULMA en CEIP ZELAIETA, con efecto óptico de la textura AGUA que simula diferentes tonalidades de verde paneles de hormigón polímero en el Colegio de Educación Infantil y Primario Zelaieta, en la localidad vizcaína de Abadiño. Ref. [3]



**Figura 37. Cerramiento y fachada de concreto polimérico en Ceip Zelaieta, España**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



**Figura 38. Facha de Ceip Zelaieta de concreto polimérico**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



**Figura 39. Canales de drenaje en la región de Ródano-Alpes en Francia**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



**Figura 40. Canales de drenaje en la región de Ródano-Alpes en Francia**

**Fuente: Grupo ULMA (2017)**



### 2.11.7. Otras aplicaciones de concreto polimérico



**Figura 41. Escultura de gorila plateado en zoológico londinense**

**Fuente: 2do congreso internacional de poliformas plásticas, Acapulco (2010)**



**Figura 42. Estructura atacada por sulfatos, retiro del concreto**

**Fuente: 2do congreso internacional de poliformas plásticas, Acapulco (2010)**



**Figura 43. Aplicación de concreto polimérico y reparación de estructura**  
**Fuente: 2do congreso internacional de poliformas plásticas, Acapulco (2010)**



**Figura 44. Cabinas Prefabricadas de concreto polimérico**  
**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



**Figura 45. Lavaplatos de concreto polimérico**  
**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



**Figura 46. Acabados arquitectónicos de concreto polimérico**

**Fuente: REFORPLAS S.A.S (2017)**



**Figura 47. Soportes de maquinaria de concreto polimérico**

**Fuente: 2do congreso internacional de poliformas plásticas, Acapulco (2010)**



## **Capítulo III. Marco metodológico**

Para la realización del presente trabajo de investigación, se tomará como parámetro la metodología para realizar cada uno de los objetivos planteados en el capítulo I, en el cual se definirán los métodos, técnicas, instrumentos, estrategias y procedimientos a utilizar en el ambiente en que se desarrollará el proyecto. Esta investigación estará orientada a analizar el comportamiento de la variable en el contexto de estudio.

Durante el progreso de la investigación se adoptará la metodología de investigación en relación con el método científico, de manera que se pueda abarcar en gran parte lo planteado en los objetivos. Para la realización de este apartado se tomará como referencia los procedimientos de ensayos correspondientes a las normas ASTM (American Society for Testing and Materials por sus siglas en inglés) en sus versiones más recientes, para el procedimiento de la determinación de la resistencia del concreto polimérico ante esfuerzos de compresión, tensión, flexión, absorción, densidad y calorimetría de especímenes de concreto, con la finalidad de caracterizar el material mediante ensayos que se realizarán al concreto convencional.

### **3.1. Tipo de investigación**

Esta investigación es del tipo experimental, ya que por medio de normativas estándares ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales por sus siglas en inglés) de laboratorio de materiales, se realizará la caracterización de un concreto polimérico, elaborado con agregados nacionales y resina de poliéster insaturada, pues se espera que el desarrollo de este sea una herramienta necesaria para afianzar la formulación del problema o tema investigativo, mediante la metodología de una investigación experimental de laboratorio, por medio de un método empírico en donde se utiliza la ingeniería de materiales para lograr dicho propósito, con la finalidad de estudiar el material y buscar un punto de comparación relacionado a características del concreto convencional para determinar su resistencia, al ser sometido a esfuerzos de compresión, tracción indirecta y flexión.

### **3.2. Finalidad de la investigación**

La finalidad de esta investigación es del tipo práctica y está concentrada en realizar la caracterización del concreto polimérico, para evaluar su capacidad de resistir esfuerzos de compresión, tracción indirecta y flexión.

### **3.3. Dimensión temporal de la investigación**

La siguiente investigación se considera que es del tipo longitudinal debido a que este tema es bastante amplio y se puede dar continuidad, dando paso a que se realicen investigaciones por posteriores investigadores.

### **3.4. Marco de la investigación**

Este trabajo de investigación se encuentra en una temática micro de estudio, debido a que se concentra únicamente en analizar el comportamiento del problema en estudio, el cual es la caracterización del concreto polimérico.

### **3.5. Naturaleza de la investigación**

La naturaleza de la investigación es del tipo cualitativo y cuantitativo ya que por medio de la recopilación bibliográfica se estudia el material desde sus cualidades económicas, mecánicas, físicas y propiedades que este material posee. Desde el ámbito cuantitativo se puede analizar por medio de la experimentación, el cálculo de las características que el material soporta al estar sometido a esfuerzos de tracción indirecta, compresión y tensión.

### **3.6. Carácter de la investigación**

El carácter de la investigación es del tipo experimental, debido a que con los resultados esperados del objeto en estudio se puedan exponer los resultados obtenidos de la investigación. Con base en los objetivos principales se analiza el efecto de la realización de esta investigación como mecanismo para probar la hipótesis.

### **3.7. Sujetos y métodos de información**

Los sujetos presentes en la investigación son: Productos de Concreto S.A. y Fibrocentro S.A. La información se recauda por medio de Lanamme UCR, proyectos de tesis, páginas de internet, revistas científicas y libros.

### **3.8. Equipo de laboratorio**

A continuación, se presenta el equipo de laboratorio que se utilizará para la elaboración de este capítulo:



**Figura 48. Prensa hidráulica automática de ensayo a compresión/ Marca CONTROLS/ Modelo PILOT/ Fecha de calibración: (07/03/17)**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 49. Horno de laboratorio, marca CONTROLS, fecha de calibración:  
(14/12/15)**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 50. Balanza cap. 15 kg/ Modelo UWE HGS 15K para determinar  
densidad de un sólido/ Fecha de calibración: (14/12/15)**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 51. Balanza de precisión/ Marca OHAUS-Traveler/ Modelo: TA 5000, cap. 5kg/ Fecha de calibración: (14/12/15)**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 52. Marco robusto para falla a compresión de cemento y mortero**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 53. Marco robusto para ensayo a tracción indirecta de cilindros, norma ASTM C496**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 54. Equipo para determinar planicidad de las caras extremas: regla de acero calibrada, juego de galgas calibrada**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 55. Máquina pulidora de caras extremas de cilindros/ Marca DIAM end Grinder**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 56. Máquina hidráulica para compresión de vigas, marca FORNEY, fecha de calibración: (07/03/17)**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 57. Mesa vibratoria de equipo Vebe**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 58. Termómetro digital, modelo TECPEL DTM-319**

**Fuente: Autor (2017)**





**Figura 59. Arena natural/ Origen: Guápiles**  
**Fuente: Autor (2017)**

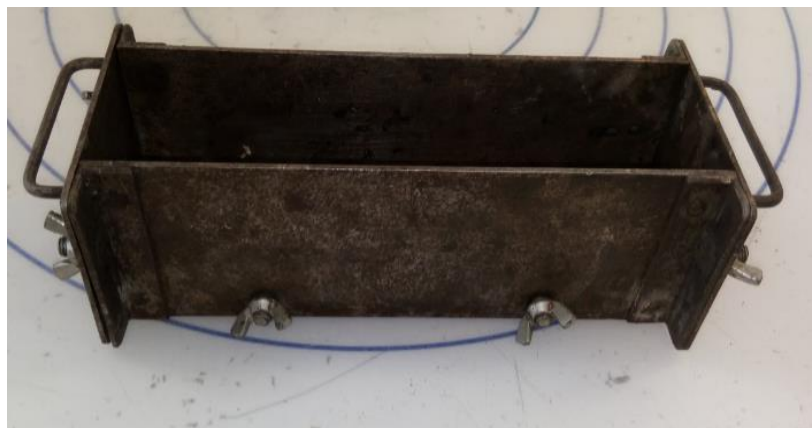


**Figura 60. Arena industrial/ Origen: Santa Ana**  
**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 61. Piedra de 16.0 mm/ Origen: Guápiles**

**Fuente Autor (2017)**



**Figura 62. Molde para elaboración de vigas 75 x 75 x 300 mm**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 63. Molde para elaboración de cilindros de diámetro 150 x 300mm de altura y de diámetro 200 x 100mm de altura**

**Fuente: Autor (2017)**

El procedimiento para la ejecución experimental de la caracterización del concreto polimérico es el siguiente:

- Determinar mediante el análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos, proporcionado por la empresa Productos de Concreto S.A., la curva granulométrica de mejor ajuste. En comparación con los límites superior e inferior en relación al tamaño máximo de agregados, determinar la proporción adecuada en porcentaje de cada uno de los agregados.
- Determinar la masa de agregados que se necesita para confeccionar un cubo de concreto polimérico, conforme al volumen del molde. En referencia a la norma ASTM C 109, relacionar dicha masa con el volumen de cada uno de los moldes utilizados para el ensayo a compresión, tracción indirecta y flexión. El procedimiento se utiliza para efectuar cada una de las pruebas y conocer la masa de agregados necesaria.
- Mediante la norma ASTM C 109 relativa a la resistencia a compresión de morteros de cemento hidráulico, encontrar un parámetro empírico

para hallar la relación de resina polimérica vs agregados finos y gruesos. La dosis de la resina polimérica se calibra mediante la cantidad que se necesita para preparar un cubo de concreto. La resistencia a compresión, trabajabilidad, compactación, segregación, distribución homogénea de los agregados y consistencia de la mezcla, serán factores tomados en cuenta para este procedimiento.

- Las muestras elaboradas se evalúan y analizan tomando en consideración la cantidad más apropiada de cada uno de los componentes de la mezcla de concreto polimérico de mejor eficiencia, en base a los factores anteriormente mencionados.
- Realizar el procedimiento de cada ensayo a compresión, flexión y tracción indirecta tomando en cuenta las normas ASTM anteriormente descritas. Efectuar la caracterización del concreto polimérico ante este tipo de esfuerzos para cada tipo de condiciones.
- Se analizan y documentan los resultados obtenidos según corresponde a cada ensayo. Se compara en material en relación con la eficiencia del concreto convencional ante las mismas condiciones de esfuerzos.

Para la ejecución de los ensayos se trabaja en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa Productos de Concreto S.A.

## Capítulo IV Diagnóstico

El concreto polimérico es un material que no se ha investigado en Costa Rica. Una causa de que este material no sea utilizado en el campo de la ingeniería civil en el país, se debe a la falta de información. El material posee propiedades favorables de uso en distintas aplicaciones en la rama de la construcción a diferencia del concreto hidráulico.

La investigación de novedosos materiales de construcción es un aspecto relevante, ya que por este medio se pueden construir mejores obras civiles para las cuales es fundamental buscar los mejores materiales, que satisfagan las necesidades del proyecto y del medio en que se desarrolla.

Las obras de ingeniería producen un desarrollo en cualquier país y el concreto polimérico se ha usado durante varias décadas en el mundo, a diferencia de Costa Rica que no tiene un uso común. Bajo este marco se procede con la realización del proyecto de investigación. Caracterizar este tipo de concreto al verse sometido a esfuerzos de flexión, compresión y tracción indirecta es la premisa de esta investigación

Para la realización de la caracterización del concreto polimérico se cuenta con fases que ya han sido efectuadas tales como:

- Investigaciones de concreto polimérico en el mundo.
- Empresas extranjeras que producen el material.
- Caracterización en laboratorio de los agregados, realizada por la empresa CACISA S.A.

### 4.1. Matriz FODA

En la siguiente tabla se explica el análisis FODA, en el cual se indican: las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que participan en la investigación. La finalidad de este es obtener el análisis general más extenso del proyecto.

**Tabla 1. Matriz FODA**

<b>Análisis interno</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de equipo de laboratorio.</li> <li>• Caracterización previa de agregados, realizada por la empresa CACISA S.A.</li> <li>• Apoyo de la empresa Productos de Concreto para la caracterización del concreto.</li> <li>• Compra de la resina de poliéster y catalizador por parte de Productos de Concreto S.A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se cuenta con instalaciones adecuadas para el manejo de sustancias químicas.</li> <li>• No se cuenta con profesionales especializados en el área de concreto polimérico.</li> <li>• Poca disponibilidad de resina de poliéster.</li> <li>• Limitada elaboración de muestras de concreto polimérico.</li> <li>• Experiencia en elaboración de este tipo de concreto.</li> </ul>
<b>Análisis externo</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del equipo del laboratorio de la Productos de Concreto S.A. para realizar las pruebas</li> <li>• Disponibilidad de 14kg de resina de poliéster en la empresa Fibrocentro S.A.</li> <li>• Disponibilidad de agregados finos y gruesos en la empresa.</li> <li>• Aclaración de dudas constantes por facilidad de técnicos y profesionales en normas y uso de equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las instalaciones al no ser las adecuadas imposibiliten la continuación de la elaboración de pruebas.</li> <li>• Las condiciones ambientales afecten la elaboración de las muestras de concreto polimérico.</li> <li>• Debido a la inexperiencia sobre la elaboración de este concreto, las pruebas no arrojen los resultados esperados.</li> <li>• Riesgo de un accidente por manipulación de la resina de poliéster.</li> </ul>

**Fuente: Autor (2017)**

## 4.2. Matriz MECA

En la siguiente tabla se presenta un análisis MECA, que consiste en la estrategia, en forma de actividades, que se debe realizar para mantener las fortalezas, explotar las oportunidades, corregir las debilidades y saber cómo afrontar las amenazas.

**Tabla 2. Matriz MECA**

<b>Fortalezas</b>	<b>Mantener</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de equipo de laboratorio.</li> <li>• Caracterización previa de agregados, realizada por la empresa CACISA S.A.</li> <li>• Apoyo de la empresa Productos de Concreto para la caracterización del concreto.</li> <li>• Compra de la resina de poliéster y catalizador por parte de Productos de Concreto S. A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usar el equipo de laboratorio con el cuidado de no afectar su calibración y orden.</li> <li>• Almacenar la cantidad aproximada del material que se usará en el proyecto, para usar solo los agregados que están caracterizados.</li> <li>• Realizar la correcta caracterización del concreto polimérico.</li> <li>• Utilizar la cantidad óptima de resina de poliéster para no sobrepasar los costos.</li> </ul>
<b>Oportunidades</b>	<b>Explotar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del equipo y herramientas del laboratorio de la Productos de Concreto S.A para realizar las pruebas</li> <li>• Disponibilidad de 14kg de resina de poliéster en la empresa Fibrocentro S.A.</li> <li>• Disponibilidad de agregados finos y gruesos en la empresa Productos de Concreto S.A.</li> <li>• Aclaración de dudas constantes por facilidad de técnicos y profesionales en normas y uso de equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovechar que se pueden utilizar los equipos y herramientas del laboratorio para la realización del proyecto.</li> <li>• La resina de poliéster para concreto polimérico está disponible y se pueden realizar las pruebas con los materiales adecuados.</li> <li>• Realizar las pruebas con los agregados que están disponibles en Productos de Concreto S.A.</li> <li>• Aprovechar el juicio de expertos y disponibilidad para aclarar dudas que se presenten al realizar el proyecto.</li> </ul>
<b>Debilidades</b>	<b>Corregir</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se cuenta con instalaciones adecuadas para el manejo de sustancias químicas.</li> <li>• No se cuenta con profesionales especializados en el área de concreto polimérico.</li> <li>• Poca disponibilidad de resina de poliéster.</li> <li>• Limitada elaboración de muestras de concreto polimérico.</li> <li>• Experiencia en elaboración de este tipo de concreto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovechar las instalaciones disponibles en el laboratorio de Productos de Concreto.</li> <li>• Utilizar las fuentes de información disponibles y aprovechar la experiencia de técnicos y profesionales en concreto convencional.</li> <li>• Utilizar la menor cantidad de resina de poliéster para elaborar las pruebas que se necesitan.</li> <li>• Realizar las pruebas de concreto polimérico para los diferentes ensayos, con los recursos disponibles.</li> <li>• Mediante pruebas preliminares determinar el comportamiento del material y analizar el funcionamiento para la elaboración de cada ensayo.</li> </ul>

<b>Amenazas</b>	<b>Afrontar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las instalaciones al no ser las adecuadas imposibiliten la continuación de la elaboración de pruebas.</li> <li>• Las condiciones ambientales afecten la elaboración de las muestras de concreto polimérico.</li> <li>• Debido a la inexperiencia sobre la elaboración de este concreto, las pruebas no arrojen los resultados esperados.</li> <li>• Riesgo de un accidente por manipulación de la resina de poliéster.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar las pruebas con las instalaciones disponibles, generando el menor problema para las personas y para la empresa.</li> <li>• Realizar las pruebas con las condiciones ambientales existentes, teniendo el cuidado de no elaborar concreto en condiciones que puedan perjudicar el material.</li> <li>• Analizar con las pruebas preliminares el funcionamiento del material y realizar los ensayos según las normas.</li> <li>• Usar el equipo de protección para el manejo de sustancias químicas, no exponer el material a condiciones peligrosas, proteger la salud física de las personas presentes.</li> </ul>

**Fuente: Autor (2017)**



## Capítulo V. Análisis e interpretación de resultados

### 5.1. Consideraciones preliminares

En el apartado 2.10 del capítulo II, se menciona que el contenido de humedad de los agregados tiene una relación importante en la resistencia del concreto polimérico. El concreto polimérico se caracteriza porque no posee cemento Pórtland y agua. La resina polimérica u otros tipos de resina es el remplazo del cemento y el agua en este tipo de concreto. Los agregados finos y gruesos se deben secar en el horno durante veinticuatro horas para extraer toda la humedad que tengan. Los agregados generan una mayor adherencia en conjunto con la resina cuando no están húmedos.



**Figura 64. Secado de agregados al horno durante un día**

**Fuente: Autor (2017)**

Se introducen los agregados en un horno ventilado a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante un día.



**Figura 65. Enfriado de agregados a temperatura ambiente**

**Fuente: Autor (2017)**

Transcurrido el tiempo se procede con la extracción de los agregados como se muestra en la figura 65. Se deben considerar las medidas de seguridad al extraer los agregados del horno. Los agregados se deben enfriar durante una hora o más y posteriormente almacenarlos en cubetas. Este procedimiento se emplea para la preservación de los agregados y que no estén expuestos ante condiciones de humedad o algún otro fenómeno.

Para realizar los ensayos de compresión, flexión y tracción indirecta, debido a la cantidad de la resina de poliéster, se toma la decisión de elaborar tres muestras del material para cada ensayo.

El diseño de mezcla de un concreto convencional, procede de una metodología de diseño. El diseño de mezcla de concreto polimérico parte de una metodología de diseño que no se tiene al alcance de este proyecto. Debido a esto, se procede con una metodología empírica para elaborar concreto polimérico, mediante pruebas preliminares. Las primeras pruebas se elaboran con base en el procedimiento a la norma ASTM C109 con algunas variantes.

### **5.1.1. Combinación de agregados**

La combinación de los agregados, se realiza en referencia a la caracterización de los agregados disponibles. Este análisis fue suministrado por el laboratorio de la

empresa Productos de Concreto S.A. Los agregados fueron caracterizados previo a la investigación por la empresa CACISA S.A. El primer parámetro a encontrar es una curva de suave graduación, que se adapte a un buen desempeño en la mezcla de concreto polimérico. Dicho análisis se utiliza para generar una mezcla densificada y que genere la menor cantidad de vacíos y graduación de las partículas.

A continuación, se presentan los resultados del análisis granulométrico de cada uno de los agregados que estarán presentes en las mezclas de los ensayos posteriores.

**Tabla 3. Granulometría de arena natural de Guápiles**

<b>Análisis Granulométrico, AASHTO T-27/11 (ASTM 117/136)</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>% Pasando</b>
<b>3/8"</b>	<b>100</b>
<b>Malla # 4</b>	<b>99</b>
<b>Malla # 8</b>	<b>86</b>
<b>Malla # 16</b>	<b>65</b>
<b>Malla # 30</b>	<b>41</b>
<b>Malla # 50</b>	<b>18</b>
<b>Malla # 100</b>	<b>7</b>
<b>Malla # 200</b>	<b>2,3</b>

**Fuente: CACISA S.A (2017)**

**Tabla 4. Granulometría de arena industrial de Santa Ana**

<b>Análisis Granulométrico, AASHTO T-27/11 (ASTM 117/136)</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>% Pasando</b>
<b>3/8"</b>	<b>100</b>
<b>Malla # 4</b>	<b>99</b>
<b>Malla # 8</b>	<b>84</b>
<b>Malla # 16</b>	<b>51</b>
<b>Malla # 30</b>	<b>32</b>
<b>Malla # 50</b>	<b>20</b>
<b>Malla # 100</b>	<b>11</b>
<b>Malla # 200</b>	<b>4,9</b>

**Fuente: CACISA S.A (2017)**

**Tabla 5. Granulometría de piedra (16,0mm) de Guápiles**

<b>Análisis Granulométrico, AASHTO T-27/11 (ASTM 117/136)</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>% Pasando</b>
<b>3/4"</b>	<b>100</b>
<b>1/2"</b>	<b>91</b>
<b>3/8"</b>	<b>62</b>
<b>Malla # 4</b>	<b>7</b>
<b>Malla # 8</b>	<b>3</b>
<b>Malla # 16</b>	<b>2</b>
<b>Malla # 30</b>	<b>2</b>
<b>Malla # 50</b>	<b>2</b>
<b>Malla # 100</b>	<b>1</b>
<b>Malla # 200</b>	<b>0,9</b>

**Fuente: CACISA S.A (2017)**

Los límites granulométricos que se presentan a continuación, son suministrados por la empresa Productos de Concreto S.A. Dichos límites están

relacionados con el tamaño máximo de agregado grueso. Respecto a estos límites, en algunos libros de tecnología del concreto se presentan parámetros ya establecidos que se pueden utilizar. La finalidad de generar una curva granulométrica bien graduada, es que se encuentre en medio de estos dos parámetros para generar una curva granulométrica de tendencia suave.

**Tabla 6. Límites granulométricos**

<b>Límites Granulométricos</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>
<b>1"</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>19</b>	<b>90</b>	<b>100</b>
<b>12,7</b>	<b>70</b>	<b>97</b>
<b>9,5</b>	<b>60</b>	<b>87</b>
<b>N°4</b>	<b>40</b>	<b>65</b>
<b>N°8</b>	<b>30</b>	<b>50</b>
<b>N°16</b>	<b>20</b>	<b>35</b>
<b>N°30</b>	<b>10</b>	<b>25</b>
<b>N°50</b>	<b>5</b>	<b>15</b>
<b>N°100</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
<b>N°200</b>	<b>0</b>	<b>8</b>

**Fuente: Productos de Concreto S.A. (2017)**

Lo fundamental en este análisis es encontrar un parámetro en porcentaje adecuado de cada agregado con el que se pueda generar un desempeño de la mezcla de concreto. El resultado de la combinación de estos porcentajes genera la proporción adecuada que se puede utilizar de cada uno, para elaborar la mezcla de concreto, acorde con los parámetros de tamaño de partícula de cada agregado. En las mezclas de concreto, este no es un parámetro universal ya que las necesidades de colocación y acabado son diferentes.

**Tabla 7. Combinación de agregados que genera curva**

Fuente		Cerro minas	Guápiles	Guápiles
Tamiz	Abertura (mm)	Arena ind	Arena natural	Piedra 16,0mm
Porcentaje		20%	30%	50%
1"	25,00	100	100	100
19	19,30	100	100	100
12,7	12,50	100	100	91
9,5	9,50	100	100	62
N°4	4,75	99	99	7
N°8	2,360	84	86	3
N°16	1,180	51	65	2
N°30	0,600	32	41	2
N°50	0,300	20	18	2
N°100	0,150	11	7	1
N°200	0,075	5	2	0,9

Fuente: Autor (2017)

**Tabla 8. Combinación 100 % de los agregados respecto a tabla 6**

Tamiz	Límite Inferior	Combinación	Límite Superior
		100%	
1"	100	100	100
19	90	100	100
12,7	70	96	97
9,5	60	81	87
N°4	40	53	65
N°8	30	44	50
N°16	20	31	35
N°30	10	20	25
N°50	5	10	15
N°100	0	5	10
N°200	0	2	8

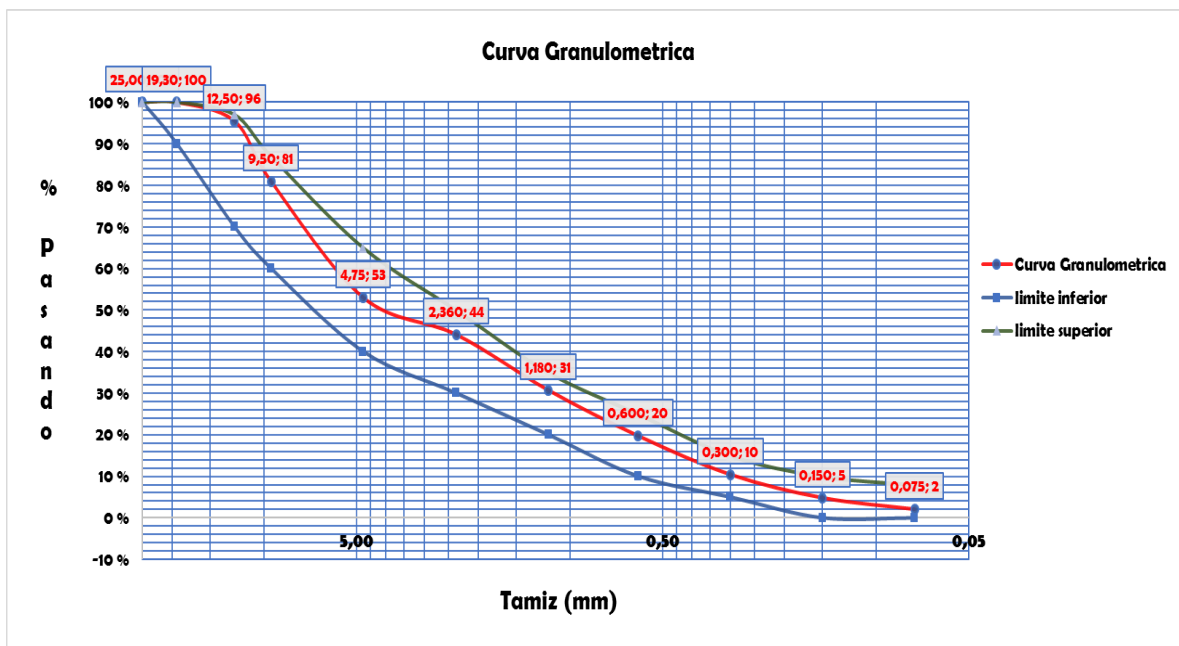
Fuente: Autor (2017)

En la tabla 7 se puede observar el porcentaje de cada agregado que pasa por cada tamiz y el porcentaje a utilizar de cada agregado. La combinación genera una curva de tendencia suave en relación a los límites superior e inferior. Los

porcentajes corresponden a 20% de arena industrial, 30% de arena natural y 50% de piedra industrial de 16.0 mm, tomando en consideración la graduación de agregado que se desea en la mezcla. Esta combinación se refiere al contenido de finos y gruesos, que en este caso es uniforme para la mezcla. En las mezclas de concreto es un mecanismo de control, ya que toma en cuenta la trabajabilidad de la mezcla y así generar el menor contenido de vacíos.

La combinación de agregados de la curva granulométrica se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$\text{Combinación} = \Sigma (\% \text{ pas tamiz} \times \% \text{ de comb})$$



**Figura 66. Curva granulométrica generada de la combinación de agregados**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 66 se puede observar el gráfico de la curva granulométrica de mejor ajuste en relación con los límites granulométricos anteriormente mencionados. En el gráfico se observan los porcentajes de participación de cada uno de los agregados finos y gruesos. La curva está en un punto intermedio en donde no se genera una mezcla con más contenido de agregados finos o gruesos, ya que es proporcional para cada uno.

## 5.2. Pruebas iniciales

El primer parámetro para encontrar la dosificación en peso de cada uno de los componentes de la mezcla de concreto polimérico, es tomar un primer parámetro aleatorio. La resina de poliéster que se utiliza, es de la marca AOC del tipo A435-PCA-07 y el catalizador marca Mek. Se analiza el comportamiento de la resina de poliéster con los agregados y la reacción de polimerización en relación con la cantidad de resina, así como el tiempo de desmolde para tener una aproximación.

La cantidad de resina se exagera con el propósito de disminuir la cantidad, hasta llegar a la dosificación óptima y a un valor mínimo. Se busca que este valor mínimo de resina se no sea funcional para la mezcla. Con estos valores se evalúa el comportamiento del material para la cantidad máxima, óptima y mínima de resina. Se adoptó la norma ASTM C109 de resistencia a la compresión de mortero, debido a que la cantidad de resina de poliéster es limitada. A continuación, se presentan los valores iniciales de cada uno de los elementos.



**Figura 67. Masa de arena natural = 75g**

**Fuente: Autor (2017)**





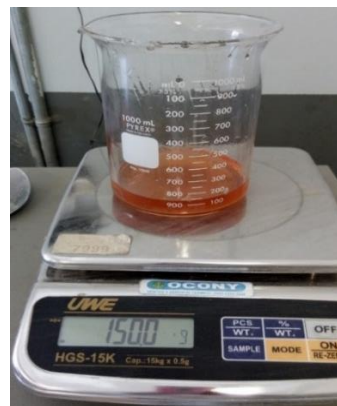
**Figura 68. Masa de arena industrial = 40g**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 69. Masa de piedra de 16,0 mm = 100g**

**Fuente: Autor (2017)**

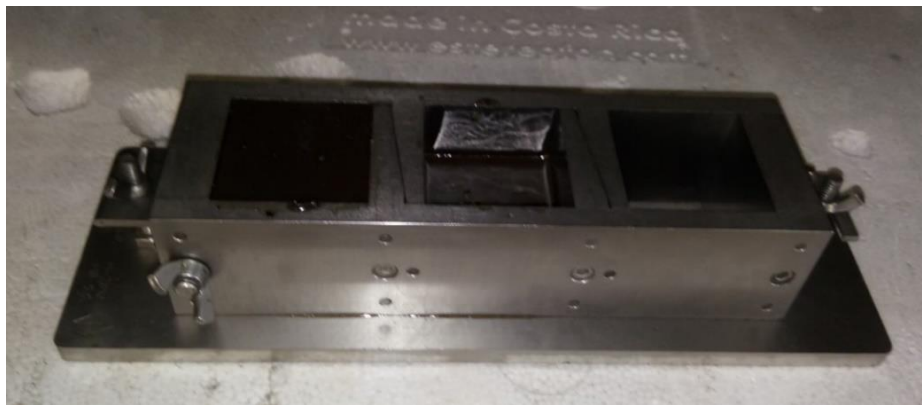


**Figura 70. Masa de resina de poliéster = 150g**

**Fuente: Autor (2017)**

- Masa total de agregados= 215g
- Masa de resina= 15g = 70% de la masa de agregados

Conforme la ficha técnica del fabricante, la cantidad de resina de poliéster que se recomienda usar, es una razón 100 a 1. Se usa 1.5g de catalizador para esta cantidad, el cual se calcula mediante la cuantía de resina que tenga la mezcla y no conforme a la masa total de sus componentes (agregados más resina de poliéster insaturada). Se realiza el mezclado de los materiales y se coloca en el molde de la norma.

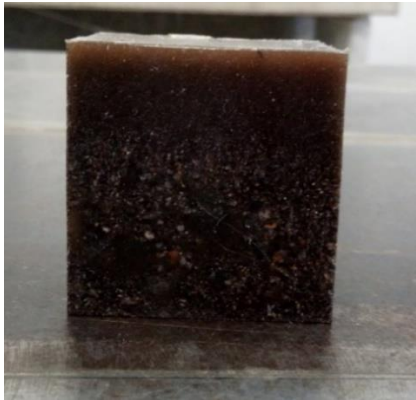


**Figura 71. Elaboración de primeros cubos de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 71 se puede observar una capa superficial líquida, con esto se revela la excesiva dosis de resina de poliéster que posee la mezcla. Esta cantidad de materiales sirve para elaborar un cubo y medio de concreto. Con esta cantidad se ajusta la proporción de cada uno de los miembros de la mezcla. Este parámetro sirve para utilizar la cantidad conveniente y generar un solo cubo de concreto polimérico.

La mezcla de concreto se encuentra a una temperatura baja al transcurrir 45 minutos y el material se ha endurecido y se procede con el desmolde de las unidades.

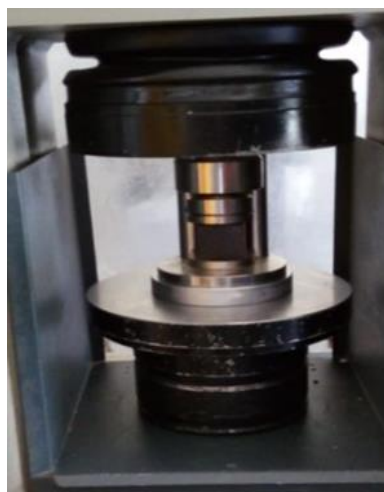


**Figura 72. Cubo de 50mm de lado de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 72 se puede observar el resultado de la mezcla preliminar. En este cubo se evidencia la segregación del agregado ocurrido en la mezcla, debido a la excesiva dosis de resina de poliéster. Se considera vital resolver este fenómeno, por lo cual se procede a ajustar la dosis de resina y de agregados.

En el concreto polimérico, uno de los parámetros a considerar es la resistencia, es por ello que se procede a fallar el cubo. En el concreto convencional, el fenómeno de la segregación, produce que disminuya la resistencia, aunque esta no es una muestra representativa de igual manera se procede con el ensayo dejándolo curar veinticuatro horas después del desmolde.



**Figura 73. Ensayo a compresión de cubo de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 74. Resistencia a compresión de primer cubo de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 74 se muestra la resistencia a compresión de la prueba #1, durante veinticuatro horas de curado a temperatura ambiente. El cubo tiene una resistencia de 65.93 MPa o igual a 673,80 kgf/cm<sup>2</sup>. La mezcla se encuentra segregada, pero se obtiene un parámetro inicial para encontrar la relación en porcentaje de cantidad de resina vs masa de agregados.

El valor de la resistencia a compresión de la prueba #1 se toma en cuenta para la aproximación de la cantidad de resina óptima. La trabajabilidad, consistencia, segregación, tiempo de curado y consolidación serán aspectos a considerar para que se genere la menor cantidad de vacíos y aire en la mezcla. A continuación, se presenta una tabla en donde se muestran las dosificaciones de las primeras seis pruebas de cubos de concreto polimérico realizando el procedimiento de la norma ASTM C109.

**Tabla 9 Cantidad de componentes en mezclas de concreto polimérico (1-6)**

<b>Pruebas preliminares de concreto polimérico</b>				
<b># Prueba</b>	<b>Arena natural (g)</b>	<b>Arena industrial (g)</b>	<b>Piedra 16,0mm (g)</b>	<b>Resina de poliéster (g)</b>
1	75 g	40 g	100 g	150 g
2	60 g	40 g	100 g	90 g
3	60 g	40 g	100 g	80 g
4	60 g	40 g	100 g	65 g
5	65 g	45 g	110 g	60 g
6	70 g	50 g	120 g	55 g

**Fuente: Autor (2017)**

Durante la aproximación de la cantidad de resina se calcula la cantidad de agregados grueso y fino respectivamente para un volumen de 125 cm<sup>3</sup> correspondiente a las dimensiones de cubos conforme a la norma ASTM C109, se toma en consideración los porcentajes a utilizar de cada uno de los agregados como se muestra en la tabla anterior:

- Arena natural 30%
- Arena industrial 20%
- Piedra de 16.0 mm 50%.

La cantidad de componentes de mezcla que se utilizan en un cubo de concreto polimérico se logra en la prueba #6, correspondiente a 240g de agregados y un 23% de resina de poliéster. La dosis de resina de poliéster en relación con la cantidad en masa de agregados de la prueba #6 se puede reducir más. La prueba #5 fue la más alta en resistencia, es por ello que la dosis de resina se encuentra en el rango de la prueba #5 y #6. El tiempo de desmolde es de una hora para todas las pruebas realizadas, como se muestra a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 10. Resistencia a compresión de primeras 6 pruebas**

# Prueba	Resistencia		Tiempo de curado
1	65,9 MPa	674 kgf/cm <sup>2</sup>	1 hora
2	75,5 MPa	771 kgf/cm <sup>2</sup>	1 hora
3	76,5 MPa	782 kgf/cm <sup>2</sup>	1 hora
4	71,6 MPa	732 kgf/cm <sup>2</sup>	1 hora
5	79,8 MPa	816 kgf/cm <sup>2</sup>	1 hora
6	75,5 MPa	772 kgf/cm <sup>2</sup>	1 hora

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 75 se puede observar que la cantidad de resina de poliéster todavía se puede ajustar a un menor porcentaje. Se observa que la cantidad en masa de agregados, en relación con la cantidad de resina, todavía es alta de acuerdo con los parámetros mencionados antes. Esta figura corresponde a la elaboración de la mezcla de la prueba #6 con un 23% de resina respecto a la cantidad de masa de agregados.



**Figura 75. Mezcla #6 de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

La metodología, para que llegue a la cantidad mínima de resina de poliéster, consiste en ajustar poco a poco la cantidad. El proceso de reducción de la cantidad de resina afecta factores como: la trabajabilidad de la mezcla y la resistencia a

compresión empieza a disminuir. Para lograr mejores resultados, se adopta un método empírico que penetre la mezcla y que genere un menor contenido de vacíos en el concreto. Se opta por un punzón que logre consolidar mejor la mezcla.



**Figura 76. Proceso de elaboración de concreto polimérico utilizando el método alternativo**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 77. Consolidación de mezcla de concreto polimérico, utilizando punzón**

**Fuente: Autor (2017)**

Con este método alternativo se obtiene una mejor consolidación de la mezcla y esto se ve reflejado en la resistencia a compresión y consistencia del concreto mientras se realiza la colocación del mismo. En las posteriores pruebas se utiliza el método para consolidar y se analiza el comportamiento del concreto al reducirse la cantidad de resina de poliéster.

**Tabla 11. Cantidad de materiales en mezclas de concreto polimérico (7/11)**

<b>Pruebas preliminares de concreto polimérico</b>				
<b># Prueba</b>	<b>Arena natural (g)</b>	<b>Arena industrial (g)</b>	<b>Piedra 16,0 mm (g)</b>	<b>Resina de poliéster (g)</b>
7	70 g	50 g	120 g	50 g
8	70 g	50 g	120 g	40 g
9	70 g	50 g	120 g	55 g
10	70 g	50 g	120 g	50 g
11	70 g	50 g	120 g	48 g

**Fuente: Autor (2017)**

En la tabla 11 se muestran las proporciones de cada uno de los materiales utilizados, modificando en cada prueba la cantidad de resina de poliéster. En la elaboración de la prueba #8 se llegó al valor mínimo de resina utilizada en la que se observó que la mezcla no cumple con ninguno de los parámetros a considerar en cuanto a consolidación, trabajabilidad, tiempo de fraguado y consistencia. En esta prueba se obtiene un valor de 16.7% en relación con la masa de agregados en el concreto. En la siguiente tabla se muestran los valores de resistencia y tiempos de curado obtenidos en las pruebas.



**Tabla 12. Resistencia a compresión de pruebas (7/11)**

# Prueba	Resistencia		Tiempo de curado
7	77,3 MPa	790 kgf/cm <sup>2</sup>	45/ 50 minutos
8	63,8 MPa	652 kgf/cm <sup>2</sup>	35 minutos
9	72,0 MPa	736 kgf/cm <sup>2</sup>	45 minutos
10	75,0 MPa	766 kgf/cm <sup>2</sup>	45 minutos
11	76,0 MPa	777 kgf/cm <sup>2</sup>	45 minutos

**Fuente: Autor (2017)**

En la tabla 12 se puede observar que la resistencia a compresión de la prueba #8 es la más baja resistencia a compresión, ya que la mezcla no se ajusta a ninguno de los parámetros de calidad de mezcla, como se puede observar a continuación.



**Figura 78. Proceso de mezclado de prueba #8**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 79. Ensayo a compresión de la prueba #8**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 80. Resistencia a compresión de cubo de concreto polimérico #8**

**Fuente: Autor (2017)**

En las figuras 78-80 se observa que la mezcla no cumple con ninguno de los parámetros que se toman en cuenta. Esta mezcla es bastante seca, poco trabajable, con una velocidad de curado mayor que las anteriores y la resistencia de la misma es afectada por una mala consolidación y cantidad de vacíos en la mezcla. Se analiza que la mezcla de concreto polimérico se afecta considerablemente por el método de consolidación, la cantidad de aire y vacíos que tenga la mezcla.

Con este resultado se toma en consideración el posterior uso de equipo de vibrado (mesa vibratoria de equipo Vebe) en las pruebas reales para la caracterización del concreto polimérico y así se desarrolle adecuadamente.

**Tabla 13. Dosificación de componentes en las pruebas (11-15)**

<b>Pruebas preliminares de concreto polimérico</b>				
<b># Prueba</b>	<b>Arena natural (g)</b>	<b>Arena industrial (g)</b>	<b>Piedra 16,0mm (g)</b>	<b>Resina de poliéster (g)</b>
11	70 g	50 g	120 g	48 g
12	70 g	50 g	120 g	55 g
13	70 g	50 g	120 g	50 g
14	65 g	45 g	110 g	50 g
15	70 g	50 g	120 g	50 g

**Fuente: Autor (2017)**

Según el comportamiento de la mezcla, en relación con la cantidad de vacíos entre agregados, se analiza la manera de ajustar la curva granulométrica con arena de mar en la prueba #11. Esta arena es más fina que las utilizadas anteriormente y en la prueba #14 la utilización de arena sílica busca la optimización de la mezcla para que de esta manera genere un mejor desempeño. A continuación, se presenta la tabla 14 en donde se indican los porcentajes pasando en los respectivos tamices, con la adición de la arena de mar buscando la curva de mejor ajuste.

**Tabla 14. Incorporación de arena de mar para la combinación granulométrica.**

<b>Fuente</b>		<b>Cerro minas</b>	<b>Guápiles</b>	<b>-</b>	<b>Guápiles</b>
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Arena industrial</b>	<b>Arena natural</b>	<b>Arena de mar</b>	<b>Piedra 16,0 mm</b>
<b>Porcentaje</b>		<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>5%</b>	<b>45%</b>
<b>1"</b>	<b>25,00</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>19</b>	<b>19,30</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>12,7</b>	<b>12,50</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>91</b>
<b>9,5</b>	<b>9,50</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>62</b>
<b>N°4</b>	<b>4,75</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>7</b>
<b>N°8</b>	<b>2,360</b>	<b>84</b>	<b>86</b>	<b>99</b>	<b>3</b>
<b>N°16</b>	<b>1,180</b>	<b>51</b>	<b>65</b>	<b>98</b>	<b>2</b>
<b>N°30</b>	<b>0,600</b>	<b>32</b>	<b>41</b>	<b>97</b>	<b>2</b>
<b>N°50</b>	<b>0,300</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>79</b>	<b>2</b>
<b>N°100</b>	<b>0,150</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>1</b>
<b>N°200</b>	<b>0,075</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0,9</b>

**Fuente: Autor (2017)**

Tabla 15. Combinación de agregados en relación con porcentajes de la tabla

14

Tamiz	Límite Inferior	Combinación	Límite Superior
		100%	
1"	100	100	100
19	90	100	100
12,7	70	95,95	97
9,5	60	82,9	87
N°4	40	57,65	65
N°8	30	48,8	50
N°16	20	34,8	35
N°30	10	24	25
N°50	5	14,35	15
N°100	0	5,9	10
N°200	0	2,305	8

Fuente: Autor (2017)

En la tabla 15 se muestra el ajuste de la combinación de los agregados, mediante la adición de los porcentajes pasando por los diferentes tamices. La finalidad del procedimiento es estudiar el comportamiento del concreto con esta granulometría. A continuación, se presenta el gráfico de la curva granulométrica de la combinación de porcentajes de agregados de mejor ajuste para generar la curva.

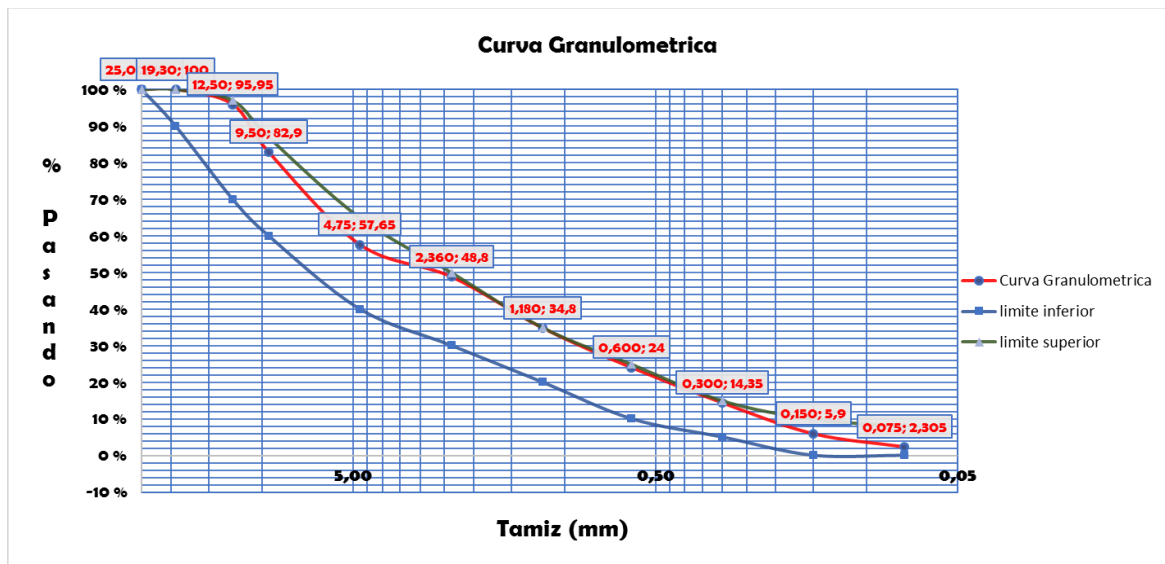


Figura 81. Curva granulométrica, con adición de granulometría de arena de mar

Fuente: Autor (2017)

En la figura 81 se puede analizar que, con la adición de la arena de mar en relación con los respectivos porcentajes de la tabla, la curva no presenta una mejora en su tendencia. El contenido de arena de mar, con un 5% se vuelve más fina la granulometría, siendo más cercana al límite superior y no encontrarse en un punto intermedio en relación con los límites, se continúa realizando las pruebas para analizar su comportamiento. A continuación, se presentan las siguientes figuras del contenido de arena de mar y arena sílica en la mezcla.

Se determina que para 240g de masa total de agregados, por la finura de las dos arenas, no influye en un aumento de volumen. La cantidad de cada arena es igual a 12g tomando como valor la adición de 10g de arena de mar en la prueba # 11 y 10g de arena sílica en la prueba #14.



**Figura 82. Adición de 10g de arena de mar**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 83. Adición de 10 g de arena sílica**

**Fuente: Autor (2017)**

**Tabla 16. Resistencia a compresión de pruebas (11-15)**

# Prueba	Resistencia		Tiempo de curado
11	76,0 MPa	777 kgf/cm <sup>2</sup>	45/ 50 minutos
12	53,6 MPa	548 kgf/cm <sup>2</sup>	30 minutos
13	57,0 MPa	583 kgf/cm <sup>2</sup>	35 minutos
14	89,6 MPa	915 kgf/cm <sup>2</sup>	45 minutos
15	95,8 MPa	979 kgf/cm <sup>2</sup>	45 minutos

**Fuente: Autor (2017)**

En la tabla 16 se muestra la resistencia a compresión de las últimas pruebas realizadas. En la prueba #11 se analiza que con la adición de arena de mar mejora la resistencia a compresión del concreto utilizando 19.2% de resina de poliéster en relación con la masa de agregados. En la prueba #14 con la adición de la arena sílica también se nota una mejora en su resistencia a compresión utilizando un 21.75% de resina de poliéster respecto a la masa de agregados. En esta prueba el tiempo de mezclado se realizó más rápido, ya que la mezcla empezó tempranamente su curado.

En la prueba #15 se da la resistencia más alta a compresión del concreto a un día. Se analiza que la adición de las arenas no es un factor influyente en la calidad. La resistencia del concreto polimérico tampoco es un factor, ya que, los porcentajes calculados del primer análisis de la curva granulométrica son los mismos.

La calidad del concreto polimérico se mejora mediante la combinación y ajuste de los agregados a utilizar. Se continúa utilizando los mismos parámetros en porcentaje de los agregados obtenidos en el primer análisis. Se evalúa que para las posteriores pruebas se necesita equipo de vibrado debido a un mayor volumen y se define que la resistencia influye debido a su contenido de vacíos y aire.



**Figura 84. Falla a compresión de prueba #15 de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**



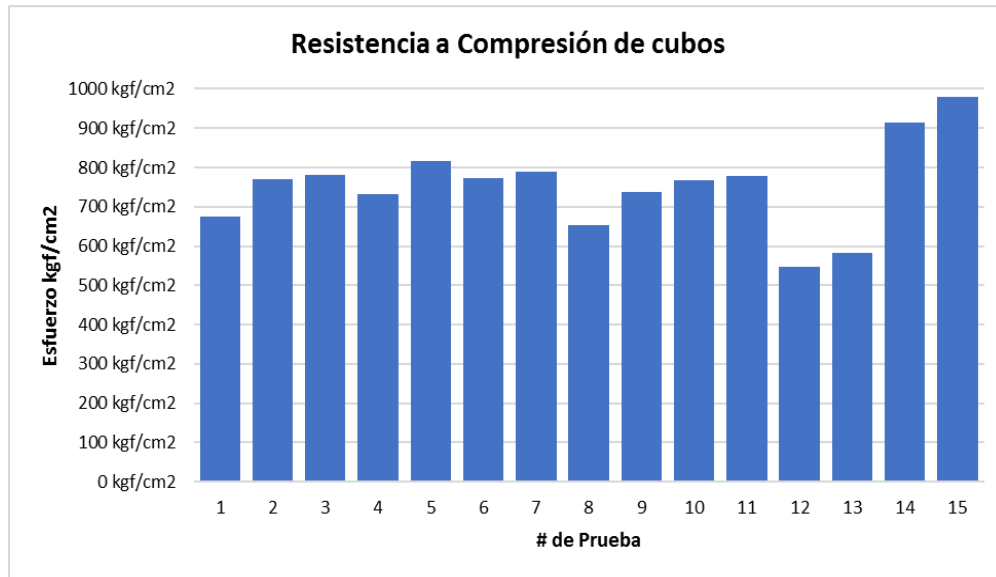
**Figura 85. Resistencia a compresión de prueba #15 de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la tabla 16 se puede observar que las resistencias más bajas de la totalidad de las pruebas se dan en las mezclas #12 y #13. Este evento ocurre debido a la elevada temperatura ambiente, la cual produce que la reacción química de la resina con el catalizador se acelere. La reacción influye en la trabajabilidad y mayor contenido de vacíos afectando notablemente la resistencia a compresión de las pruebas.

La cantidad de resina de poliéster cumple con los parámetros anteriormente mencionados. Se encuentra en un rango óptimo entre 18% y 20% relativo a la cantidad de masa de agregados. Después de este estudio, la resina de poliéster que se utiliza para la caracterización del concreto polimérico es un 20%.

A continuación, se presenta un gráfico de resumen en el cual se observan las variaciones de resistencia encontradas en las pruebas preliminares.



**Figura 86. Gráfico de resistencia a compresión de cubos de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

### **5.3. Caracterización del concreto polimérico**

En este apartado se realiza la caracterización del concreto polimérico en relación con el apartado 5.2., en el cual se analiza la manera de encontrar la dosis más eficiente y óptima de resina de poliéster, con el objetivo de obtener una mezcla de alta resistencia. En la mezcla se consideraron factores que intervienen en la trabajabilidad, homogeneidad, uniformidad de los agregados y consistencia, con la finalidad de proceder con la caracterización del concreto polimérico.



### 5.3.1. Resistencia a compresión de concreto polimérico

En la resistencia a compresión del concreto polimérico, se evalúa el comportamiento del material ante diversos escenarios como se estudió previamente en el apartado 5.2. Se encuentra la cantidad de resina de poliéster que se recomienda utilizar, se considera que un 20% es la cantidad óptima, respecto a la cantidad en masa de agregados. Se puede utilizar un 18% tomando en cuenta las condiciones climáticas adecuadas y un ambiente de trabajo óptimo para el manejo de estos químicos. Para este ensayo se elaboran tres muestras de cilindros, para fallarlas a siete días respectivamente. Conservadoramente se dejan curar siete días, se toma en cuenta algún factor externo que afecte la resistencia del material en el tiempo.

Para la consolidación del concreto polimérico se utiliza la mesa vibratoria de equipo Vebe, según se muestra en la figura 57. En el anterior procedimiento del apartado 5.2, las condiciones del concreto mejoraron debido a una mejor consolidación en la mezcla. De esta forma disminuyen la cantidad de vacíos en la mezcla y el concreto adquiere mayor resistencia.

Para la ejecución de dicho ensayo se elaborarán cilindros de 100mm de diámetro x 200mm de altura.

Para elaborar un cilindro de concreto polímero, la cantidad de componentes en la mezcla se determina mediante la siguiente fórmula:

Se utiliza una relación de triángulos semejantes, se calcula la cantidad a utilizar de agregados por molde para cilindros de concreto polimérico.

$$\frac{A (g)}{B (cm^3)} = \frac{X (g)}{Y (cm^3)} =$$

En donde:

- A = Masa de agregados a utilizar en un cubo de concreto polimérico.
- B = Volumen de cubo de concreto polimérico.
- X= Masa total de agregados para un cilindro de concreto polimérico.

- Y = Volumen de un cilindro de 10 cm x 20cm.
- Sustituyendo los valores de la fórmula se obtiene:

$$\frac{240 \text{ g}}{125\text{cm}^3} = \frac{X}{1570,8\text{cm}^3} =$$

**X= 3015,94g**

Conforme el porcentaje de cada agregado en el análisis granulométrico del apartado 5.1, se determinan las siguientes cantidades:

- Arena natural = 30% x 3015.94 g = 603,20 g
- Arena industrial = 20% x 3015.94 g = 904, 80 g
- Piedra de 16,0 mm = 50% x 3015.94 g = 1508,0 g
- Resina de poliéster insaturada = 20% x 3015.94 g = 604 g

Como se puede observar, para 604g de resina de poliéster insaturada, según la ficha técnica del fabricante, la relación es: por cada 100g de resina se usa 1g de catalizador, la cantidad de catalizador serán 6.04g de catalizador como se muestra en la siguiente figura 85.



**Figura 87. Dosificación de Catalizador para 604g de resina de poliéster**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 88. Adición de catalizador a la mezcla de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

Para la consolidación de la mezcla se usa la mesa vibratoria de equipo Vebe. En dicho procedimiento, se busca que la mezcla tenga homogeneidad de los agregados, consistencia de la mezcla y liberación de aire incluido. En relación con la norma ASTM C31, se indica que se puede utilizar vibrador de aguja para cilindros de diámetro 100mm. Se puede realizar el vibrado mediante dos capas, a la mitad del molde insertando una vez por capa el vibrador. Este parámetro se toma en consideración para realizar el vibrado del concreto por medio de la mesa vibratoria, vibrando dos capas de 10cm.

Con respecto a la mesa de vibrado, se procede con la elaboración de las muestras de concreto. Por medio de la primera muestra, se calcula el tiempo aproximado de vibrado por capa, el cual se estima que por capa es de 15s a 20s.



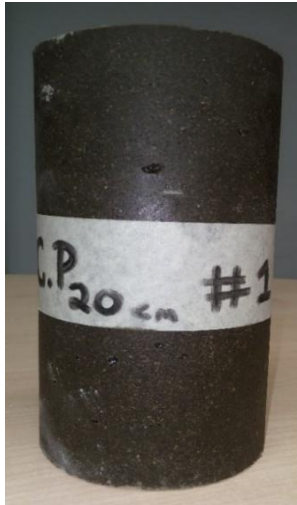
**Figura 89. Proceso de vibrado de cilindros del concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 90. Toma de la temperatura superficial del concreto a una hora**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 91. Cilindro #1 (100mm x 200mm) de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 91 se observa que la mezcla de concreto presenta uniformidad. Se analiza que el tiempo óptimo de vibrado es el adecuado para elaborar el concreto. La apariencia del concreto es similar a un concreto convencional y no presenta segregación. Se procede con el desmolde después de dos horas de su colado. Se continúa con la metodología de ensayo para las dos muestras posteriores a compresión y se realiza la falla a compresión siete días después.



**Figura 92. Pulido de las caras externas del cilindro de 100mm x 200mm de altura 7 días después de su elaboración**

**Fuente: Autor (2017)**

Como se observa en la figura 92 la mezcla presenta uniformidad de sus componentes y una satisfactoria distribución del agregado similar a una mezcla de concreto hidráulico. A continuación, se presenta el procedimiento para determinar la densidad de los cilindros de concreto en base a la norma ASTM C39.



**Figura 93. Determinación del peso seco de los cilindros de concreto**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 94. Determinación del peso sumergido de los especímenes cilíndricos**

**Fuente: Autor (2017)**

La determinación de la densidad de los cilindros de concreto se determina mediante la siguiente fórmula, de acuerdo con la norma ASTM C39.

$$Densidad = \frac{W}{V}$$

En donde:

- W= Masa (kg).
- V= volumen (m<sup>3</sup>)

La norma ASTM C31 establece que, si el volumen se determina por el peso sumergido, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} =$$

En donde:

- W= Masa (kg)
- W<sub>s</sub>= Masa sumergida aparente (kg)
- $\gamma_w$  = peso específico del agua a 23°C (997.5 kg/m<sup>3</sup>)

A continuación, se presenta la tabla 17 en la cual se determina la densidad de los cilindros de concreto de acuerdo con cada ensayo.

**Tabla 17. Densidad de cilindros de 100mm x 200mm de altura**

<b>Determinación de densidad de cilindros de 100mm diámetro x 200mm de altura</b>					
<b>cilindro #</b>	<b>Masa seca(kg)</b>	<b>Masa saturada, superficie seca(kg)</b>	<b>Masa sumergida(kg)</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup></b>	<b>Densidad(kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>3,55</b>	<b>3,55</b>	<b>1,94</b>	<b>0,00</b>	<b>2205</b>
<b>2</b>	<b>3,43</b>	<b>3,43</b>	<b>1,76</b>	<b>0,00</b>	<b>2053</b>
<b>3</b>	<b>3,49</b>	<b>3,49</b>	<b>1,77</b>	<b>0,00</b>	<b>2026</b>

**Fuente: Autor (2017)**

La determinación de la absorción de los especímenes de concreto polimérico analiza que la mezcla por su naturaleza no posee absorción. Se evalúa el comportamiento del material dejando un día el cilindro #1 bajo agua para determinar si cambia su masa.





**Figura 95. Cilindro de 100mm x 200mm de altura sumergido en agua**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 96. Masa saturada superficie seca de cilindro #3 posterior del sumergido**

**Fuente: Autor (2017)**



En la figura 96 se muestra que el valor de la masa del cilindro es la misma masa seca antes de sumergirse en agua. Este resultado despeja la duda y se determina que el material no absorbe fluidos y es impermeable.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos a compresión de los tres cilindros de concreto polimérico después de siete días de elaboración.



**Figura 97. Proceso de pulido de las caras externas del cilindro #3**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 98. Determinación de la planicidad de las caras exteriores del cilindro**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 99. Falla a compresión de cilindro #2**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 99 se puede observar la resistencia última del cilindro de concreto polimérico. En esta falla el cilindro conserva su estructura a diferencia de la falla de un concreto convencional que estalla y pierde su forma.

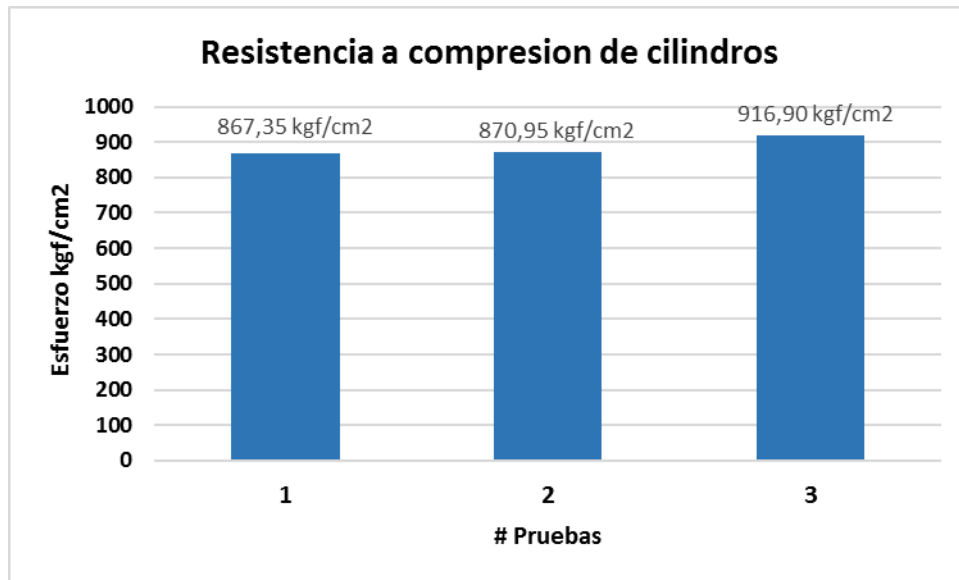
**Tabla 18. Resumen de resistencia a compresión de cilindros de concreto**

<b>Resistencia a la compresión de cilindros (100 x 200mm) de concreto polimérico</b>					
<b>Prueba</b>	<b>Edad</b>	<b>Área Transversal</b>	<b>Fuerza P</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Esfuerzo</b>
<b>1</b>	<b>7 días</b>	<b>8251,60 mm<sup>2</sup></b>	<b>700,30 kN</b>	<b>84,9 MPa</b>	<b>867 kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>2</b>	<b>7 días</b>	<b>8251,60 mm<sup>2</sup></b>	<b>703,20 kN</b>	<b>85,2 MPa</b>	<b>871 kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>3</b>	<b>7 días</b>	<b>8251,60 mm<sup>2</sup></b>	<b>740,30 kN</b>	<b>89,7 MPa</b>	<b>917 kgf/cm<sup>2</sup></b>

**Fuente: Autor (2017)**

Resistencia a compresión promedio= **885 kgf/cm<sup>2</sup>**

En la figura 100 se presenta un gráfico de resumen de los resultados obtenidos en los ensayos a compresión de cilindros de concreto polimérico



**Figura 100. Gráfico resumen de resistencias para las diferentes pruebas a compresión**

**Fuente: Autor (2017)**

### 5.3.2. Resistencia a la tracción indirecta de concreto polimérico

La determinación de la resistencia a la tracción indirecta del concreto polimérico se sigue con la metodología de elaboración de mezcla. Para la elaboración de este apartado se toma como referencia la norma ASTM C496. Se elaboran tres muestras de cilindros de 150mm de diámetro por 300mm de altura.

En las cantidades de material a utilizar se continúa usando relación de triángulos semejantes del apartado 5.3.1 como se muestra a continuación.

$$\frac{A (g)}{B (cm^3)} = \frac{X (g)}{Y (cm^3)} =$$

En donde:

- A = Masa de agregados a utilizar en un cubo de concreto polimérico.
- B = Volumen de cubo de concreto polimérico.
- X= Masa total de agregados para un cilindro de concreto polimérico.
- Y = Volumen de un cilindro de 150mm x 300mm de altura.
- Sustituyendo los valores de la formula se obtiene:

$$\frac{240 \text{ g}}{125\text{cm}^3} = \frac{X}{5301,45\text{cm}^3} =$$

$$X= 10\ 178,78\text{g}$$

Se utilizan los mismos porcentajes de componentes de la mezcla de concreto polimérico mencionados en el apartado 5.3.

- Arena Natural 30%= 3.06kg
- Arena Industrial 20%= 2.04kg
- Piedra de 16,0mm 50%= 5.1kg
- Resina de poliéster 20%= 2 litros

En las siguientes figuras se muestra el proceso de mezclado y elaboración de las pruebas de resistencia a tracción indirecta:



**Figura 101. Pesado de los agregados de la mezcla de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 102. Dosificación de dos litros de resina de poliéster**

**Fuente: Autor (2017)**

El vibrado de la mezcla, debido a que es un volumen considerable, se realiza mediante el vibrado de tres capas a una distancia de 10cm, cada capa como se muestra en la figura 103.



**Figura 103. División de capas del molde**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 104. Mezclado de agregados.**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 105. Mezclado de los agregados con la resina de poliéster.**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 106. Adición de catalizador en la mezcla de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**



La dosificación del catalizador para una cantidad de resina de poliéster= 2L, según la ficha técnica del fabricante corresponde a 20g. Se determina que el tiempo de vibrado por capa para la elaboración de estas pruebas es de 15s a 20s por capa.



**Figura 107. Proceso de vibrado de la mezcla**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 108. Temperatura superficial a los 56 minutos de elaboración de mezcla**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 109. Proceso de pulido de caras externas después de siete días**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 110. Determinación de la planicidad de las caras externas del cilindro**

**Fuente: Autor (2017)**





**Figura 111. Modelo de colocación de cilindro #3**

**Fuente: Autor (2017)**

La falla a tracción indirecta según la norma ASTM C496, indica que la velocidad de carga constante a través de la línea de falla se encuentra en un rango de 0.7 a 1.4 Mpa/min. En la figura 111 se puede observar que el cilindro está colocado sobre la línea de carga. La precisión de colocación del cilindro es importante, ya que la carga se debe distribuir de manera uniforme sobre la línea de falla.



**Figura 112. Falla a tracción indirecta de cilindro #3**

**Fuente: Autor (2017)**

En la siguiente tabla se presenta la determinación de la densidad de los cilindros utilizados en el ensayo a tracción indirecta.

**Tabla 19. Determinación de la densidad de cilindros de ensayos a tracción indirecta**

<b>Determinación de densidad de cilindros de 150mm diámetro x 300mm de altura</b>					
<b>Cilindro #</b>	<b>Masa seca(kg)</b>	<b>Masa saturada superficie seca(kg)</b>	<b>Masa sumergida(kg)</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup></b>	<b>Densidad(kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>11,81</b>	<b>11,81</b>	<b>6,36</b>	<b>0.01</b>	<b>2159</b>
<b>2</b>	<b>11,73</b>	<b>11,73</b>	<b>6,30</b>	<b>0.01</b>	<b>2156</b>
<b>3</b>	<b>11,88</b>	<b>11,88</b>	<b>6,34</b>	<b>0.01</b>	<b>2140</b>

**Fuente: Autor (2017)**

La determinación de la resistencia a tracción indirecta de un cilindro de concreto, está dada por la siguiente fórmula según indica la norma ASTM C496.

$$T = \frac{2P}{\pi Ld} =$$

En donde:

- T= Resistencia a la tracción indirecta en MPa
- L= Longitud del cilindro de concreto en mm.
- P= Carga máxima aplicada en N.
- d= Diámetro del cilindro en mm

A continuación, se presenta la tabla 20 con el resumen de los resultados obtenidos en las pruebas a tracción indirecta.

**Tabla 20. Resultados de resistencia a la tracción indirecta de cilindros de concreto polimérico**

<b>Resistencia a tracción indirecta (T) de cilindros (150 x 300mm) de Concreto Polimérico</b>						
<b>Prueba #</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Fuerza P</b>	<b>Long Cilindro</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Esfuerzo</b>
1	7 días	585,00 kN	290,0 mm	153,0 mm	8,4 MPa	86 kgf/cm <sup>2</sup>
2	7 días	635,20 kN	293,0 mm	153,0 mm	9,0 MPa	92 kgf/cm <sup>2</sup>
3	7 días	508,00 kN	296,0 mm	152,0 mm	7,2 MPa	73 kgf/cm <sup>2</sup>

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 113. Estructura de la mezcla de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 113, se puede observar la estructura de la mezcla de concreto polimérico. En la mezcla la cantidad de vacíos es mínimo, similar a una mezcla de concreto convencional. El agregado en la mezcla se encuentra distribuido uniformemente. El tiempo de curado en la mezcla de concreto y la cantidad de resina es óptimo.

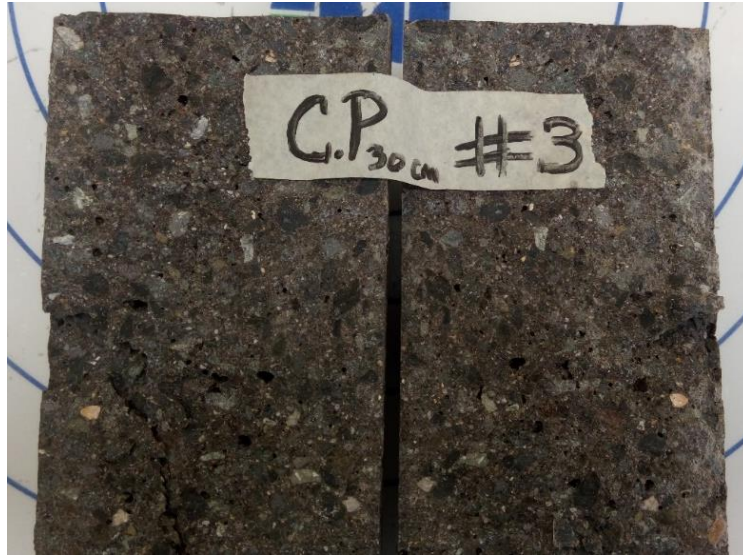


Figura 114. Estructura de la mezcla del cilindro #3 de tracción indirecta

Fuente: Autor (2017)

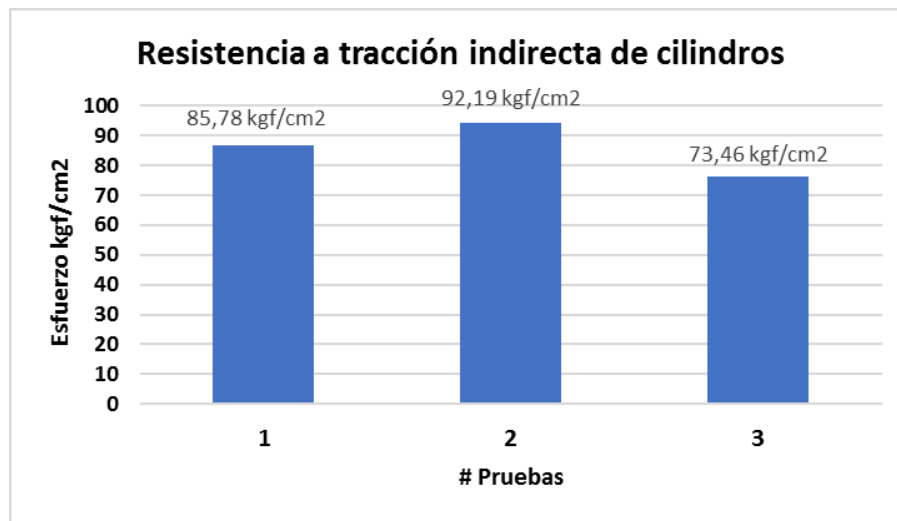


Figura 115. Resumen gráfico de resistencias a la tracción indirecta de cilindros (150mmx300mm)

Fuente: Autor (2017)

### 5.3.3. Resistencia a la flexión del concreto polimérico

La resistencia a la flexión del concreto polimérico se determina por medio de la elaboración de tres vigas de dimensiones 75mm x 75mm x 300mm de longitud. La mezcla se elabora mediante la metodología utilizada en los apartados 5.3 y 5.4 como se presenta a continuación:

En las cantidades de material a utilizar se usa la relación de triángulos semejantes del apartado 5.3, como se muestra a continuación.

$$\frac{A (g)}{B (cm^3)} = \frac{X (g)}{Y (cm^3)} =$$

En donde:

- A = Masa de agregados a utilizar en un cubo de concreto polimérico.
- B = Volumen de cubo de concreto polimérico.
- X= Masa total de agregados para un cilindro de concreto polimérico.
- Y = Volumen de viga de 75mm x 75mm x 300mm de longitud.
- Sustituyendo los valores de la fórmula se obtiene:

$$\frac{240 g}{125cm^3} = \frac{X}{1687.5cm^3} =$$

**X= 3240g**

Se utilizan los mismos porcentajes de componentes de la mezcla de concreto polimérico anteriormente utilizada en el apartado 5.3 y 5.4.

- Arena Natural 30%= 975g
- Arena Industrial 20%= 650g
- Piedra de 16,0mm 50%= 1620g
- Resina de poliéster 20%= 650ml

En las siguientes figuras se muestra el proceso de elaboración de las vigas de concreto polimérico para determinar la capacidad a flexión del material. La dosificación de catalizador para la cantidad de resina de poliéster corresponde a 6.5ml.



**Figura 116. Mezclado de los agregados a utilizar para elaboración de vigas**

**Fuente: Autor (2017)**



**Figura 117. Incorporación de la resina de poliéster a la mezcla de agregados**

**Fuente: Autor (2017)**





**Figura 118. Elaboración de vigas de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

El vibrado del concreto polimérico para las vigas se realiza considerando la norma ASTM C31, en la cual se indica que para una altura de espécimen de 150mm a  $200\text{mm} \leq 200\text{mm}$ , se debe realizar por medio de dos capas cuando el método de consolidación es varillado. Las capas para una viga de 75mm de altura según la norma, indican que para consolidarse con vibrador de aguja, se realiza mediante una capa, dos o más. Este procedimiento se divide en dos capas para el vibrado por medio de la mesa vibratoria de equipo Vebe.



**Figura 119. Proceso de vibrado de vigas de concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 119 se observa el procedimiento de vibrado del concreto polimérico. Se determina que la mezcla presenta uniformidad, liberación de aire y acomodo de las partículas en un tiempo de 15s a 20s. Se procede con el desmolde de los especímenes al transcurrir dos horas.

En la tabla 21, se presenta la densidad de las vigas de concreto polimérico.

**Tabla 21. Cálculo de la densidad de vigas de concreto polimérico de ensayo a flexión**

<b>Determinación de densidad de vigas de 75mm x 75mm x 300mm de longitud</b>					
<b>Viga #</b>	<b>Masa seca(g)</b>	<b>Masa saturada, superficie seca(g)</b>	<b>Masa sumergida(g)</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup></b>	<b>Densidad(kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	3727,00	3727,00	1904,00	1,83	2039
2	3778,50	3778,50	1925,00	1,86	2033
3	3523,00	3523,00	1786,00	1,74	2023

**Fuente: Autor (2017)**

La capacidad a flexión del concreto se determina mediante la aplicación de la norma ASTM C293. En esta norma se indica que dicha capacidad o módulo de ruptura del concreto, se determina mediante la siguiente fórmula.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} =$$

En donde:

- R= Modulo de ruptura (Mpa)
- P= Carga máxima aplicada (N)
- L= luz (longitud) entre soportes (mm)
- b= Ancho promedio del espécimen, en la fractura (mm)
- d=Espesor promedio del espécimen, en la fractura (mm)

La norma establece el cálculo de la velocidad de carga mediante la siguiente fórmula. Se aplica la carga de modo que el máximo esfuerzo en la cara en tracción se incremente entre 0.9 y 1.2Mpa/min.



$$r = \frac{2sbd^2}{3L}$$

En donde:

- r= Velocidad de carga (N/min)
- s=Velocidad de incremento del esfuerzo máximo en la cara en tracción (MPa/min)
- b=Ancho promedio del espécimen (mm)
- d=Espesor promedio del espécimen (mm)
- L=Luz (longitud) entre soportes.

La determinación de esta velocidad de carga se omite debido a que la máquina de ensayo regula la velocidad de carga de forma manual. El módulo de ruptura se determina mediante la fórmula anterior. Las siguientes tablas de resumen muestran los resultados de los ensayos.

**Tabla 22. Dimensiones y parámetros para determinación del módulo de ruptura**

<b>Dimensiones de vigas y parámetros de ensayo</b>		
<b>Espesor promedio (d)</b>	<b>Ancho promedio (b)</b>	<b>Longitud entre soportes</b>
75,0 mm	75,0 mm	177,0 mm
75,0 mm	75,0 mm	177,0 mm
75,0 mm	75,0 mm	177,0 mm

Fuente: Autor (2017)

**Tabla 23. Tabla de resumen de cálculo de módulo de ruptura del concreto polimérico**

<b>Resistencia a flexión (MR) de vigas (75mm x75mm x 300 mm) de concreto polimérico</b>					
<b>Prueba</b>	<b>Edad</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Fuerza P</b>	<b>MR</b>	<b>MR</b>
1	7 días	3,24 Tonf	31823,64 N	20,0 MPa	205 kgf/cm <sup>2</sup>
2	7 días	2,95 Tonf	28939,50 N	18,2 MPa	186 kgf/cm <sup>2</sup>
3	7 días	2,96 Tonf	29037,60 N	18,3 MPa	187 kgf/cm <sup>2</sup>

Fuente: Autor (2017)

En las pruebas #2 y #3, se disminuye el módulo de ruptura. Este factor se presenta porque la velocidad de carga es muy alta y el material alcanza la fractura en poco tiempo. El esfuerzo ocasiona deformaciones mayores y la capacidad de resistir esfuerzos se reduce. Con este caso se realizan dos pruebas adicionales para verificar los resultados anteriores para lo que se aumenta la distancia entre apoyos. El procedimiento se realiza para generar un mayor momento flexionante y al mismo tiempo reducir la velocidad de carga al máximo, lo cual influye en los resultados anteriores.



**Figura 120. Modelo de falla a flexión de viga #2 con carga en el centro del claro, distancia entre apoyos= 17.7cm.**

**Fuente: Autor (2017)**

En la figura 121 se presenta la falla en una de las vigas adicionales de los ensayos.



**Figura 121. Falla de viga de concreto polimérico con carga en el punto medio**

**Fuente: Autor (2017)**

**Tabla 24. Dimensiones de vigas adicionales de ensayo a flexión**

<b>Dimensiones de vigas y parámetros de ensayo</b>		
<b>Espesor promedio (d)</b>	<b>Ancho promedio (b)</b>	<b>Longitud entre soportes</b>
75,0 mm	75,0 mm	220,0 mm
75,0 mm	75,0 mm	220,0 mm

**Fuente: Autor (2017)**

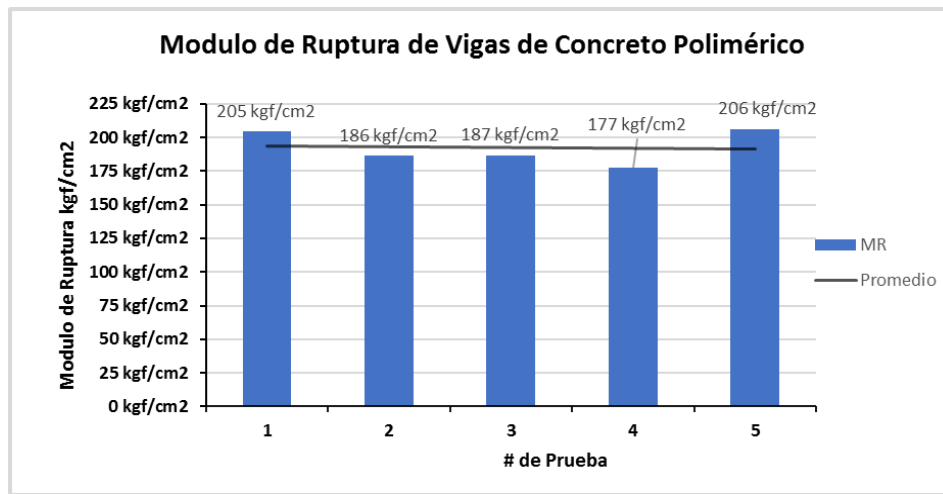
**Tabla 25. Determinación del módulo de ruptura de vigas adicionales**

<b>Resistencia a flexión (MR) de vigas (75mm x75mm x 300 mm) de concreto polimérico</b>					
<b>Prueba</b>	<b>Edad</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Fuerza P</b>	<b>MR</b>	<b>MR</b>
4	7 días	2,26 Tonf	22170,60 N	17,3 MPa	177 kgf/cm <sup>2</sup>
5	7 días	2,63 Tonf	25800,30 N	20,2 MPa	206 kgf/cm <sup>2</sup>

**Fuente: Autor (2017)**

En los resultados de las pruebas #4 y #5 se muestra que no se afectó la resistencia a flexión o módulo de ruptura de las vigas. La velocidad de carga es un factor importante para la determinación del módulo de ruptura del concreto. En la

figura siguiente se presenta un gráfico de resumen de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.



**Figura 122. Gráfico de resumen de módulo de ruptura en vigas**

**Fuente: Autor (2017)**

Módulo de ruptura promedio= 192 kgf/cm<sup>2</sup>

#### **5.3.4. Calorimetría del concreto polimérico**

Para el análisis de la calorimetría del concreto polimérico, se utiliza un termómetro digital, como se presenta en la figura 58 del capítulo III.



**Figura 123. Proceso de determinación de calorimetría del concreto polimérico**

**Fuente: Autor (2017)**

En esta prueba se toma la temperatura de un cilindro de concreto polimérico de 100mm de diámetro por 200mm de altura. A continuación, se presenta el procedimiento de este apartado. En este análisis, con el termómetro digital, se obtienen alrededor de 1 338 datos de temperatura cada 60s durante veintidós horas.

En este ensayo se puede determinar la temperatura de fraguado inicial y de fraguado final del concreto polimérico. Si se conoce la temperatura aproximada de fraguado del concreto con la realización de las pruebas previas, solo se consideran los datos de una hora y treinta minutos. A continuación, se presentan los datos obtenidos.

**Tabla 26. Temperatura del concreto polimérico, durante una hora y media**

Fecha	Hora	Tiempo (S)	Temperatura (C°)	f'	f''
30/3/2017	9:29:07 a.m.	0	31,3	0	0
30/3/2017	9:30:07 a. m.	60	31,7	0,006666667	0,000111111
30/3/2017	9:31:07 a. m.	120	32,2	0,008333333	2,77778E-05
30/3/2017	9:32:07 a. m.	180	32,6	0,006666667	-2,77778E-05
30/3/2017	9:33:07 a. m.	240	33,1	0,008333333	2,77778E-05
30/3/2017	9:34:07 a. m.	300	33,6	0,008333333	0
30/3/2017	9:35:07 a. m.	360	34,1	0,008333333	0
30/3/2017	9:36:07 a. m.	420	34,5	0,006666667	-2,77778E-05
30/3/2017	9:37:07 a. m.	480	35,0	0,008333333	2,77778E-05
30/3/2017	9:38:07 a. m.	540	35,6	0,01	2,77778E-05
30/3/2017	9:39:07 a. m.	600	36,1	0,008333333	-2,77778E-05
30/3/2017	9:40:07 a. m.	660	36,7	0,01	2,77778E-05
30/3/2017	9:41:07 a. m.	720	37,2	0,008333333	-2,77778E-05
30/3/2017	9:42:07 a. m.	780	37,8	0,01	2,77778E-05
30/3/2017	9:43:07 a. m.	840	38,4	0,01	1,99493E-18
30/3/2017	9:44:07 a. m.	900	38,9	0,008333333	-2,77778E-05
30/3/2017	9:45:07 a. m.	960	39,4	0,008333333	0
30/3/2017	9:46:07 a. m.	1020	39,9	0,008333333	0
30/3/2017	9:47:07 a. m.	1080	40,4	0,008333333	0
30/3/2017	9:48:07 a. m.	1140	40,9	0,008333333	0
30/3/2017	9:49:07 a. m.	1200	41,3	0,006666667	-2,77778E-05
30/3/2017	9:50:07 a. m.	1260	41,8	0,008333333	2,77778E-05
30/3/2017	9:51:07 a. m.	1320	42,2	0,006666667	-2,77778E-05
30/3/2017	9:52:07 a. m.	1380	42,6	0,006666667	-1,98048E-18
30/3/2017	9:53:07 a. m.	1440	43,0	0,006666667	0
30/3/2017	9:54:07 a. m.	1500	43,4	0,006666667	0
30/3/2017	9:55:07 a. m.	1560	43,7	0,005	-2,77778E-05
30/3/2017	9:56:07 a. m.	1620	44,1	0,006666667	2,77778E-05

30/3/2017	9:57:07 a. m.	1680	44,4	0,005	-2,77778E-05
30/3/2017	9:58:07 a. m.	1740	44,7	0,005	1,98048E-18
30/3/2017	9:59:07 a. m.	1800	45,0	0,005	-1,98048E-18
30/3/2017	10:00:07 a. m.	1860	45,2	0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:01:07 a. m.	1920	45,4	0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:02:07 a. m.	1980	45,7	0,005	2,77778E-05
30/3/2017	10:03:07 a. m.	2040	45,9	0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:04:07 a. m.	2100	46,0	0,001666667	-2,77778E-05
30/3/2017	10:05:07 a. m.	2160	46,2	0,003333333	2,77778E-05
30/3/2017	10:06:07 a. m.	2220	46,3	0,001666667	-2,77778E-05
30/3/2017	10:07:07 a. m.	2280	46,5	0,003333333	2,77778E-05
30/3/2017	10:08:07 a. m.	2340	46,5	0	-5,55556E-05
30/3/2017	10:09:07 a. m.	2400	46,6	0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:10:07 a. m.	2460	46,7	0,001666667	0
30/3/2017	10:11:07 a. m.	2520	46,8	0,001666667	-1,97325E-18
30/3/2017	10:12:07 a. m.	2580	46,8	0	-2,77778E-05
30/3/2017	10:13:07 a. m.	2640	46,8	0	0
30/3/2017	10:14:07 a. m.	2700	46,8	0	0
30/3/2017	10:15:07 a. m.	2760	46,9	0,001666667	0,00002778
30/3/2017	10:16:07 a. m.	2820	46,8	-0,001666667	-5,55556E-05
30/3/2017	10:17:07 a. m.	2880	46,8	0	2,77778E-05
30/3/2017	10:18:07 a. m.	2940	46,8	0	0
30/3/2017	10:19:07 a. m.	3000	46,7	-0,001666667	-2,77778E-05
30/3/2017	10:20:07 a. m.	3060	46,6	-0,001666667	-1,97325E-18
30/3/2017	10:21:07 a. m.	3120	46,6	0	2,77778E-05
30/3/2017	10:22:07 a. m.	3180	46,4	-0,003333333	-5,55556E-05
30/3/2017	10:23:07 a. m.	3240	46,4	0	5,55556E-05
30/3/2017	10:24:07 a. m.	3300	46,2	-0,003333333	-5,55556E-05
30/3/2017	10:25:07 a. m.	3360	46,1	-0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:26:07 a. m.	3420	46,0	-0,001666667	0
30/3/2017	10:27:07 a. m.	3480	45,9	-0,001666667	0
30/3/2017	10:28:07 a. m.	3540	45,7	-0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:29:07 a. m.	3600	45,6	-0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:30:07 a. m.	3660	45,4	-0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:31:07 a. m.	3720	45,2	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:32:07 a. m.	3780	45,0	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:33:07 a. m.	3840	44,9	-0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:34:07 a. m.	3900	44,7	-0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:35:07 a. m.	3960	44,5	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:36:07 a. m.	4020	44,4	-0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:37:07 a. m.	4080	44,2	-0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:38:07 a. m.	4140	44,0	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:39:07 a. m.	4200	43,8	-0,003333333	0
30/3/2017	10:40:07 a. m.	4260	43,6	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:41:07 a. m.	4320	43,4	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:42:07 a. m.	4380	43,2	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:43:07 a. m.	4440	43,0	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:44:07 a. m.	4500	42,8	-0,003333333	0

30/3/2017	10:45:07 a. m.	4560	42,7	-0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:46:07 a. m.	4620	42,5	-0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:47:07 a. m.	4680	42,3	-0,003333333	0
30/3/2017	10:48:07 a. m.	4740	42,1	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:49:07 a. m.	4800	41,9	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:50:07 a. m.	4860	41,7	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:51:07 a. m.	4920	41,5	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:52:07 a. m.	4980	41,3	-0,003333333	0
30/3/2017	10:53:07 a. m.	5040	41,1	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:54:07 a. m.	5100	40,9	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:55:07 a. m.	5160	40,8	-0,001666667	2,77778E-05
30/3/2017	10:56:07 a. m.	5220	40,6	-0,003333333	-2,77778E-05
30/3/2017	10:57:07 a. m.	5280	40,4	-0,003333333	-1,97325E-18
30/3/2017	10:58:07 a. m.	5340	40,2	-0,003333333	1,97325E-18
30/3/2017	10:59:07 a. m.	5400	40,0	-0,003333333	-1,97325E-18

Fuente: Autor (2017)

La determinación del tiempo de fragua inicial y final se calcula con la primera y segunda derivada, según la siguiente fórmula:

- $f' = \frac{Temp\ final - Temp\ inicial}{Tiempo\ Final - Tiempo\ inicial} = fraguado\ inicial$
- $f'' = \frac{f'\ final - f'\ inicial}{Tiempo\ Final - Tiempo\ inicial} = fraguado\ final$

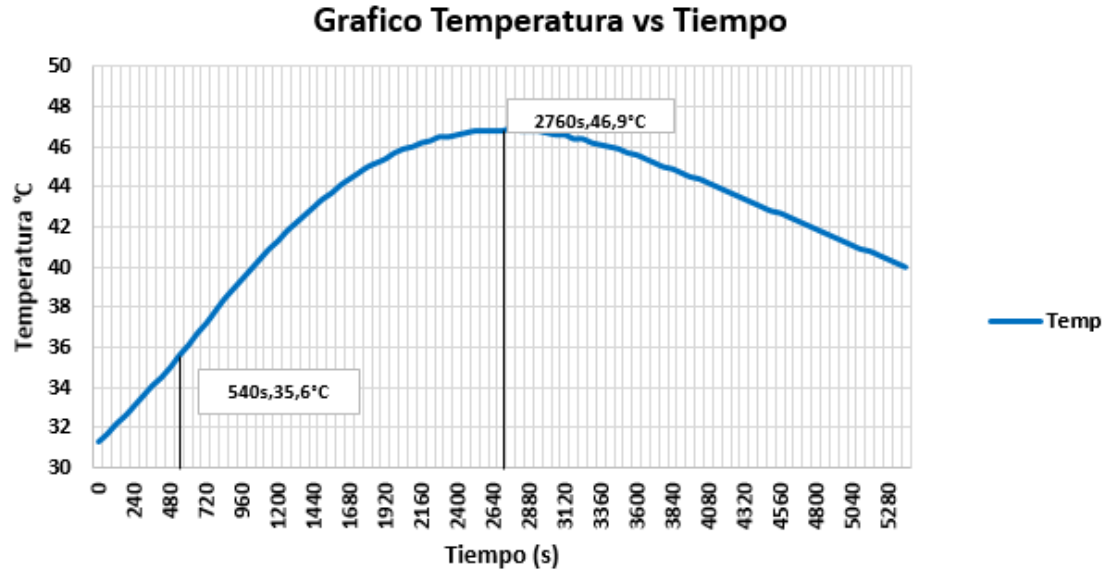
$$f'_{Max} = 0,010$$

Esta primera derivada determina el tiempo de fraguado inicial y la temperatura. Como se observa en la tabla 26, la temperatura inicial de endurecimiento es 35,6°C en un tiempo de nueve minutos.

La determinación del tiempo y temperatura de fragua final se determina mediante la segunda derivada más baja, como se presenta a continuación.

$$f''_{Min} = -5,55556E-05$$

Este valor se puede encontrar en la tabla 26, cuando la temperatura conforme pasa el tiempo de reacción empieza su tendencia constante. Dicho valor llega al valor máximo de temperatura. En el siguiente gráfico se puede observar el fenómeno.



**Figura 124. Aumento de temperatura del concreto polimérico en el tiempo**

**Fuente: Autor (2017)**

En la anterior figura se observa que la temperatura máxima de fraguado es a 46.9°C. A partir de este valor, la temperatura comienza a decrecer hasta que la mezcla se enfría completamente. La temperatura de fraguado final se encuentra a 46,8°C en un tiempo de 47 minutos desde su colocación.

La temperatura de fraguado en el concreto polimérico se relaciona con la dosificación del catalizador en proporción a la cantidad de resina de poliéster. La dosificación adecuada según la recomendación del fabricante es fundamental para que la mezcla de concreto se mantenga a una temperatura estable.

La reacción de polimerización se acelera si la dosis de catalizador es mayor a la cantidad de resina de poliéster. Una dosis alta de esta sustancia ocasiona que la mezcla, durante su colocación, aumente la temperatura y el tiempo de reacción de polimerización y la mezcla ya no sea trabajable.



## 5.4. Análisis de la caracterización del concreto polimérico

El concreto polimérico se caracteriza en los anteriores apartados de este capítulo, en cuanto a la resistencia a la compresión, flexión, tracción indirecta, densidad, absorción y calorimetría. En un concreto elaborado con cemento Portland, existen valores teóricos vinculados a la resistencia a la compresión del material en relación con la capacidad de resistir esfuerzos de tensión y flexión.

En este apartado se evalúa el comportamiento de las resistencias obtenidas experimentalmente en los diferentes ensayos. La finalidad es relacionar estos datos de laboratorio con un valor teórico de resistencia a la flexión y tracción indirecta de un concreto convencional.

### 5.4.1. Análisis de resistencia a la flexión

Un concreto elaborado con cemento hidráulico, tiene la particularidad de evaluar su capacidad de resistir esfuerzos de flexión mediante la relación de la capacidad a compresión. En un concreto hidráulico, teóricamente como se menciona en el apartado 2.4 del capítulo II, la relación de la resistencia a compresión vs la resistencia a la flexión (MR) el Instituto Americano del Concreto (ACI) indica que dicha relación se encuentra en el rango de:

- $1,99\sqrt{f'c}$  a  $3,18\sqrt{f'c} = kgf/cm^2$

El ACI recomienda utilizar la relación:

- $MR\ teorico = 2\sqrt{f'c}$

A continuación, se procede con la determinación de dicha relación:

**Tabla 27. Resistencia teórica de módulo de ruptura vs f'c**

Valores Teóricos de MR Según Comité ACI	
Resistencia a compresión de cilindros promedio f'c	885 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de ruptura en vigas promedio MR	192 kgf/cm <sup>2</sup>
MR teórico	60 kgf/cm <sup>2</sup>

Fuente: Autor (2017)

Como se observa en la tabla 27 el módulo de ruptura es bajo, considerando la recomendación del ACI. Se determina que, la relación de esta propiedad del concreto polimérico para esta caracterización es la siguiente:

- $6,5\sqrt{f'c} = kgf/cm^2$
- $6,5\sqrt{885kgf/cm^2} = 193kgf/cm^2$

En los valores anteriores se puede analizar que la resistencia teórica de un concreto convencional, no cumple con los parámetros de resistencia a compresión del concreto polimérico. El módulo de ruptura teórico del concreto polimérico se encuentra elevado 4.5 veces más que el valor del módulo de ruptura teórico de un concreto convencional. Se evidencia que el material puede cumplir con la resistencia teórica utilizada en un concreto convencional.

Sin embargo, dicha relación teórica es más elevada en comparación con la resistencia teórica para un concreto convencional con estas condiciones de elaboración del concreto polimérico. Es relevante recalcar que el módulo de ruptura puede estar influenciado por la fórmula y un mayor momento flexionante en el espécimen de concreto polimérico al utilizar la norma ASTM C293 en lugar de utilizar la norma ASTM C78.

#### **5.4.2. Análisis de resistencia a la tracción indirecta**

Se analiza la resistencia teórica del concreto polimérico. Los valores existentes teóricos vinculados a la resistencia a compresión en un concreto convencional como se menciona en el apartado 5.2 del capítulo II, la capacidad de resistir esfuerzos de tensión se presenta en los siguientes rangos:

- $1,3\sqrt{f'c} \text{ a } 2,2\sqrt{f'c} = kgf/cm^2$
- 8% a 12% de  $f'c$

A continuación, se procede con el cálculo teórico de resistencia a la tensión del concreto polimérico, utilizando los valores anteriores.

Tabla 28. Resistencia a la tracción indirecta del concreto polimérico

Prueba	Esfuerzo Tracción ind Experimental
Cilindro # 1	86 kgf/cm <sup>2</sup>
Cilindro # 2	92 kgf/cm <sup>2</sup>
Cilindro # 3	73 kgf/cm <sup>2</sup>
Promedio Tracción Indirecta	84 kgf/cm <sup>2</sup>

Fuente: Autor (2017)

- Resistencia a compresión promedio de cilindros = 885 kgf/cm<sup>2</sup>

Tabla 29. Resistencia a la tensión teórica

Valor teórico	Resistencia a tracción indirecta teórica
1,3 $\sqrt{f'c}$	39 kgf/cm <sup>2</sup>
1,4 $\sqrt{f'c}$	42 kgf/cm <sup>2</sup>
1,5 $\sqrt{f'c}$	45 kgf/cm <sup>2</sup>
1,6 $\sqrt{f'c}$	48 kgf/cm <sup>2</sup>
1,7 $\sqrt{f'c}$	51 kgf/cm <sup>2</sup>
1,8 $\sqrt{f'c}$	54 kgf/cm <sup>2</sup>
1,9 $\sqrt{f'c}$	57 kgf/cm <sup>2</sup>
2,0 $\sqrt{f'c}$	60 kgf/cm <sup>2</sup>
2,1 $\sqrt{f'c}$	62 kgf/cm <sup>2</sup>
2,2 $\sqrt{f'c}$	65 kgf/cm <sup>2</sup>
2,3 $\sqrt{f'c}$	68 kgf/cm <sup>2</sup>
2,4 $\sqrt{f'c}$	71 kgf/cm <sup>2</sup>
2,5 $\sqrt{f'c}$	74 kgf/cm <sup>2</sup>
2,6 $\sqrt{f'c}$	77 kgf/cm <sup>2</sup>
2,7 $\sqrt{f'c}$	80 kgf/cm <sup>2</sup>
2,8 $\sqrt{f'c}$	83 kgf/cm <sup>2</sup>
2,9 $\sqrt{f'c}$	86 kgf/cm <sup>2</sup>
3,0 $\sqrt{f'c}$	89 kgf/cm <sup>2</sup>

Fuente: Autor (2017)

**Tabla 30. Valores teóricos en (%) de resistencia a la tensión del concreto polimérico**

<b>Valores teóricos de resistencia a tracción indirecta en %</b>	
71 kgf/cm <sup>2</sup>	8% $f' c$
80 kgf/cm <sup>2</sup>	9% $f' c$
89 kgf/cm <sup>2</sup>	10% $f' c$
97 kgf/cm <sup>2</sup>	11% $f' c$
106 kgf/cm <sup>2</sup>	12% $f' c$

**Fuente: Autor (2017)**

La resistencia teórica a la tensión del concreto polimérico, en relación con los ensayos de tracción indirecta, se evidencia en la tabla 29 y 30. Los valores se calculan en relación con la resistencia a compresión del concreto polimérico. Estos rangos teóricos se utilizan para estimar la resistencia a la tensión en un concreto convencional y sirven para estimar la resistencia teórica a la tensión del concreto polimérico. En las tablas se estima que la relación de resistencia a la tensión vs resistencia a compresión del concreto polimérico es:

- $2.8\sqrt{f'c}$  a  $3\sqrt{f'c} = kgf/cm^2$
- 9% a 12% de  $f' c$

Con estos valores se evalúa que la resistencia a la tensión del concreto polimérico es semejante a la capacidad de resistir esfuerzos en un concreto convencional. Sin embargo, presenta un incremento de 0.8 a 0.9 veces la resistencia a la tensión para estas condiciones de elaboración del concreto polimérico. Con esto se evalúa, que esta relación teórica del concreto hidráulico se puede usar en un concreto polimérico.

### **5.5. Análisis económico del concreto polimérico**

El concreto polimérico por naturaleza de la mezcla no contiene cemento ni agua como se menciona en el capítulo II, sin embargo, el cemento puede ser utilizado como relleno. Las resinas poliméricas utilizadas para elaborar este concreto presentan un elevado costo dependiendo el tipo de resina y la cantidad.

Estas resinas poliméricas suelen ser costosas debido a los procesos de producción y el costo de las materias primas.

El concreto hidráulico es un material altamente utilizado en el mundo por su relativo bajo costo y las propiedades que el material posee. Para el concreto polimérico es necesario evaluar el costo aproximado de producción en relación con el concreto convencional y así valorar la posibilidad de usarlo o no en finitas aplicaciones. A continuación, se realiza el análisis aproximado de producción de este concreto con base en los precios actuales de materias primas.

Los pesos unitarios ( $\gamma_b$ ) de los agregados utilizados para la elaboración del concreto polimérico caracterizado anteriormente en el apartado 5.3 son:

- Arena natural:  $\gamma_b = 1720 \text{ kg/m}^3$
- Arena industrial:  $\gamma_b = 1680 \text{ kg/m}^3$
- Piedra de 16,0 mm:  $\gamma_b = 1560 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de cilindro de 150mm x 300mm de altura =  $5,301 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

La cantidad de agregados a utilizar para este volumen según apartado 5.3.2 es 10.2kg:

En donde:

- 20% Arena industrial= 2,04 kg
- 30% Arena natural =3,06kg
- 50% Piedra de 16,0mm = 5,1 kg

Se estima por relación de triángulos semejantes, el peso seco total de agregados a utilizar en  $1 \text{ m}^3$  de concreto polimérico.

$$\frac{5,301 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{10,2 \text{ kg}} = \frac{1 \text{ m}^3}{x}$$

$$X = 1924,16 \text{ kg}$$

En  $1 \text{ m}^3$  de concreto polimérico en relación con la mezcla elaborada, se utilizan los mismos porcentajes de agregados obtenidos en la curva granulométrica:

- 20% Arena industrial= 384,83kg
- 30% Arena natural = 577,26kg
- 50% Piedra de 16,0mm = 960,1kg

El volumen masivo de agregado en un concreto convencional se determina:

$$Vm = \frac{Peso_{seco}(kg)}{\gamma_b(kg/m^3)}$$

Para elaborar 1m<sup>3</sup>de concreto polimérico se utilizan los siguientes volúmenes:

- Volumen de arena industrial:

$$Vm = \frac{384.8kg}{1680kg/m^3} = 0.23m^3$$

- Volumen de arena natural:

$$Vm = \frac{577.26kg}{1720kg/m^3} = 0.34m^3$$

- Volumen de piedra 16,0mm:

$$Vm = \frac{962,1kg}{1560kg/m^3} = 0.62m^3$$

La cantidad de resina de poliéster insaturada para elaborar 1m<sup>3</sup> de concreto polimérico, utilizando un 20% de concentración para la masa total de agregados es:

- Resina de poliéster insaturada = 384.83 kg

Los precios actuales de los materiales en el país, son los siguientes:

- Arena natural de Guápiles= \$30 x m<sup>3</sup>
- Arena industrial de Cerro Minas = \$32 x m<sup>3</sup>
- Piedra de 16,0 mm de Guápiles= \$30 x m<sup>3</sup>
- Resina A435 -PCA-07 de poliéster insaturada= \$6 x kg
- Catalizador Mek 2oz= \$1

El precio de materiales, para realizar 1m<sup>3</sup> de concreto polimérico es aproximadamente de:

- Arena natural de Guápiles= \$10
- Arena industrial de Cerro Minas = \$7.5
- Piedra de 16,0 mm de Guápiles= \$18
- Resina A435 -PCA-07 de poliéster insaturada= \$2300
- Catalizador Mek 2oz= \$77

El precio para realizar 1m<sup>3</sup> de concreto polimérico en relación con las características del material analizado y precios actuales de materiales es aproximadamente \$ 2 400. Sin embargo, el precio de producción puede cambiar respecto a las condiciones de elaboración del material.

El concreto de alto desempeño CAD 700, es un material de alta resistencia a la compresión. El precio de producción actual de este material por m<sup>3</sup> es aproximadamente de \$ 260. La comparación en precio de producción del concreto polimérico vs concreto convencional es nueve veces superior el precio del concreto polimérico en relación con un concreto de alto desempeño convencional.

**Tabla 31. Comparación del precio de concreto polimérico y concreto CAD 700**

	Material	
	Concreto polimérico	CAD 700
Cantidad	1m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup>
Precio	2400	260

**Fuente: Autor (2017)**

Como se analizó anteriormente, el precio de un concreto polimérico es más elevado que un concreto de alto desempeño elaborado con cemento Portland. Este concreto presenta un elevado costo debido al precio de la resina polimérica. El costo de este concreto se compensa en aspectos tales como duración, resistencia al ataque químico, resistencia a condiciones de intemperismo, mantenimiento entre otras características que el material posee. Este material se puede utilizar en condiciones especiales, cuando las condiciones del medio lo ameriten.

## **5.6. Aplicaciones del concreto polimérico en Costa Rica**

El concreto polimérico posee variedad de aplicaciones en diferentes países alrededor del mundo. Este material no es nuevo, debido que se usa desde hace más de 50 años. Las propiedades que este concreto posee lo hacen un excelente material de construcción. Este material se usa en Latinoamérica en la industria de prefabricados eléctricos e hidráulicos, en su mayoría, aunque también posee aplicaciones arquitectónicas como acabados para la construcción y otros.

En Costa Rica, el concreto polimérico se utiliza muy poco. Generalmente se usa en la colocación de tapas de pozo de visita de concreto polimérico reforzado con fibra de vidrio. Este producto es altamente utilizado en Colombia y México, a pesar de su elevado costo respecto a otros materiales utilizados para este fin. En Costa Rica existen pequeñas empresas productoras e importadoras de mármol sintético o cultivado como se le llama y granito sintético, estos se utilizan para acabados en la construcción y elaboración de sobres para muebles. Estos materiales son un tipo de concreto polimérico.

Con la información recabada sobre concreto polimérico, se analiza que una oportunidad de mercado en el país de este concreto es en la fabricación de tapas de pozo de visita circulares de concreto polimérico reforzado con fibra de vidrio. Con la utilización de este producto se evitarían problemas de vandalismo y mantenimiento constante como se explica en el capítulo II apartado 2.14.1. Este producto ha dado buenos resultados en varios países como México y Colombia, debido a su durabilidad y seguridad.

Otra aplicación de este producto en el país, es la fabricación de canales de desagüe pluvial. Este material posee resistencia al ataque químico, durabilidad y resistencia a organismos biológicos en aguas pluviales, característicos de este tipo de productos construidos con concreto convencional.

En la industria eléctrica posee variedad de aplicaciones que se pueden aprovechar, como tapas de cajas de registro y cajas telefónicas y eléctricas. La durabilidad y característica dieléctrica del material, colabora a que se desarrollen



mejores condiciones de proyectos eléctricos elaborados con acero y concreto hidráulico.

## Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones

### 5.7. Conclusiones

Se analizó la recopilación bibliográfica sobre el estado del arte del concreto polimérico, aplicaciones, estado actual y tendencias del material en relación con el uso en Costa Rica y en otros países, así como los componentes del material.

Se determinaron las propiedades que este material posee con base en la búsqueda de información del estado del arte del concreto polimérico. Se describen las propiedades características de este material en comparación con las propiedades características del concreto convencional. En varios documentos se recalca la durabilidad al ataque químico, resistencia al intemperismo y cambios climáticos, durabilidad, resistencia a la flexión, tensión y compresión.

Se aplicó una metodología empírica experimental preliminar, que sirvió para estudiar cómo se comporta el material ante diferentes dosis de resina de poliéster, granulometrías, condiciones ambientales y consolidación. Este procedimiento se realizó con la norma ASTM C109 considerando algunas variantes, justamente para descartar elementos que influyen en aspectos tales como: trabajabilidad, resistencia, uniformidad de los agregados y segregación. Con este procedimiento se determinó un valor semilla de porcentaje de resina de poliéster en relación con la masa total de los componentes del concreto. Dicho procedimiento sirvió como base para realizar las pruebas fundamentales de caracterización del concreto polimérico que implican un mayor volumen de resina de poliéster. Se analizó que tomando en consideración las condiciones ambientales, se puede usar para el caso de esta resina porcentajes respecto a la masa de agregados de un 18% a un 20% de resina polimérica.

Se caracterizó el concreto polimérico con base en la información sobre el estado del arte del concreto polimérico e ingeniería de materiales de la empresa Productos de Concreto S.A. Se estudió el comportamiento del concreto polimérico al estar sometido a esfuerzos de tensión, flexión y compresión. Se determinó la calorimetría y absorción del material en comparación con el concreto convencional. La

capacidad de resistir esfuerzos, se comparó con base en aspectos teóricos que se encontraron en referencia con la resistencia a compresión del concreto y dichos resultados se compararon con la resistencia teórica de un concreto convencional. Por medio de la experimentación se determinó que la resistencia a la flexión, compresión y tensión del concreto polimérico es superior a la resistencia teórica del concreto convencional.

La densidad del concreto polimérico se encuentra en un rango de 2 000 a 2 200 kg/m<sup>3</sup>, a diferencia de un concreto convencional esta densidad es relativamente baja. Entre los factores que influyeron en este valor se mencionan la carencia del equipo adecuado para la realización de mezclas poliméricas y las condiciones ambientales, las cuales influyen en la calidad de la mezcla de concreto. Un factor a recalcar en la densidad del concreto polimérico es la dureza de los materiales y el volumen de vacíos en el concreto.

Se realizó una breve descripción sobre las posibilidades de uso del concreto polimérico en Costa Rica, así como las aplicaciones existentes en otros países durante varias décadas, y las posibilidades de utilizar el concreto polimérico en el país. Se destaca la aplicación de este material en materiales prefabricados de concreto polimérico reforzado con fibra de vidrio debido a la durabilidad y resistencia que este material puede desempeñar. Este producto se puede utilizar en Costa Rica en: tapas de pozos de visita, rejillas de alcantarillado pluvial, tapas de cajas de registro de acueductos y alcantarillados, canales de desagüe y en la industria eléctrica.

Se realizó un análisis económico tomando en cuenta los precios actuales de materias primas y condiciones del proyecto. Este procedimiento sirvió para realizar una comparación en precio de producción aproximado del concreto polimérico elaborado en el proyecto de investigación. Este precio se comparó considerando el precio del mercado de un concreto de alto desempeño CAD 700 y se logró evaluar que el precio del concreto polimérico es más elevado que un concreto de alto desempeño elaborado con cemento Portland. Se evalúa la posibilidad de utilizar el

concreto polimérico en aplicaciones especiales, ya que el precio es un factor importante.

Se analizó que la cantidad de resina polimérica es un factor importante a tomar en consideración, ya que una excesiva dosis afecta en aspectos tales como: resistencia, segregación, consolidación, consistencia entre otros, ya que en un concreto convencional se asemeja a la relación de agua y cemento en la mezcla.

## **5.8. Recomendaciones**

- Se recomienda dar continuidad a la investigación a nivel nacional sobre el comportamiento de este material al modificar las propiedades granulométricas del concreto.
- Estudiar el comportamiento del material solo con arena sílica y piedra de pequeño tamaño.
- Analizar el material al utilizar agregados livianos tipo piedra pómez y agregados callizos como material de carga.
- Evaluar el concreto polimérico al utilizar silicato de magnesio y carbonato de calcio, utilizados en la industria de mármol sintético como relleno para dar consistencia a la mezcla.
- Valorar el material usando otro tipo de resina epóxico o resina de furano, utilizadas también para realizar concreto polimérico.
- Se recomienda realizar ensayos al material tomando en consideración las condiciones ambientales, de seguridad ocupacional y de laboratorio adecuadas para el manejo de sustancias químicas.
- Se recomienda realizar investigaciones sobre mortero polimérico, utilizado para realizar reparaciones en vías de transporte, reparaciones en estructuras y otras aplicaciones.
- Analizar el material con la incorporación de cemento Portland como material de carga en la mezcla de concreto polimérico.
- Realizar una mayor cantidad de especímenes de concreto polimérico de los realizados en este trabajo. Debido a disponibilidad de resina de poliéster no se

demonstró que este concreto presenta un incremento de la resistencia a través del tiempo, a diferencia del concreto hidráulico.

- Se recomienda realizar el ensayo para determinar la capacidad del concreto polimérico, haciendo uso de la norma ASTM C78 utilizada comúnmente para determinar la capacidad a flexión de un espécimen de concreto. En este trabajo de investigación solo se tuvo al alcance la realización de la norma ASTM C293 de carga en el punto medio de la viga de concreto polimérico.
- Se recomienda estudiar el comportamiento del material al utilizar fibra de vidrio u otro material sintético utilizado en la industria de concreto polimérico, para estudiar el factor de la rigidez en el material.

## Referencias bibliográficas

1. Álvarez, F. (2017). Ensayos de resistencia: compresión, tracción y flexión flexión. Recuperado de, <https://www6.uniovi.es/usr/fblanco/TEMAII.2.8.MECANICAS.Ensayos.pdf>
2. American Concrete Institute (2017). Guía para el uso de polímeros en concreto. Recuperado de, <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=548109>
3. American Concrete Institute (2017). Informe sobre concreto modificado con polímeros. Recuperado de, <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=548309>
4. American Concrete Institute (2017). Guía para el polímero de superposiciones de concreto. Recuperado de, <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=548516>
5. American Concrete Institute (2017). Concreto polimérico: Usos, materiales y propiedades. Recuperado de, <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=SP89&Format=DOWNLOAD>
6. American Concrete Institute (2017). Polímeros en concreto: Avances y aplicaciones. Recuperado de, <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=SP116&Format=DOWNLOAD>
7. American Concrete Institute (2017). Polímeros en concreto: Los primeros treinta años. Recuperado de, <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=SP214&Format=DOWNLOAD>
8. Armendáriz, I. (2013). *Desarrollo y Optimización de Mezclas de Matriz Polimérica Ligeras*. Tesis. Maestría en ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
9. Bedi, R., Chandra, R. y Singh, S. (2013/12/29). *Mechanical Properties of Polymer Concrete*. *Revista Journal of Composites*, 2013. Recuperado de, <https://www.hindawi.com/journals/jcomp/2013/948745/abs/>

10. Bejarano, E. (2017). Guía Laboratorio Mecánica de Materiales. Recuperado de, [www.udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+FLEXION.pdf](http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+FLEXION.pdf)
11. Besednjak, A. y Dietrich, A. (2005). Materiales compuestos. España: Universidad Politécnica de Catalunya.
12. Billmeyer, F. (1975). Ciencia de los polímeros. Barcelona, España: Reverté S.A.
13. Brown, T., LeMay, E. y Burdge, J. (2004). Química. La ciencia central. México: Pearson Educación.
14. Calahorro, C. (1995). Química General. Introducción a la Química Teórica. España: Universidad de Salamanca.
15. Castro, G. y Morelos, L. (2010) Materiales compuestos en la construcción. Recuperado de, <http://materiales.azc.uam.mx/area/Construccion/Informe/Materiales%20Com.%20Oct%202009%20al%20Sept%202010/Concretos%20polimericos%20%20C2%B0%20Congreso%20Poliformas.pdf>
16. Concreto Polimérico Castor. (febrero, 2017). *Catálogo de productos*. Recuperado de, <http://concretopolimerico.com/productos/>
17. Chandra, S. y Ohama, Y. (1994). Polymers in Concrete. Japón: CRC Press.
18. Diez, S. (septiembre de 2013). Recomendaciones, salud y seguridad en la manipulación de las resinas. Recuperado de, <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/SEPT13/garcia.pdf>
19. Grupo ULMA Architectural solutions. (marzo, 2017). Catálogo general de productos. Recuperado de, <http://www.ulmaarchitectural.com/es/general/descargas/catalogo-general-ulma-architectural-solutions.pdf>
20. iNTERpipe. (2014). *Project Photos*. Recuperado de, <https://www.polymerpipe.com/projects.htm>

21. Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois, Estados Unidos.: Portland Cement Association.
22. Martínez, E. (2016). *Desarrollo y Caracterización de Concreto Polimérico Modificado con Fibras Recicladas: Efecto de la Radiación Gamma*. Tesis. Maestría en ciencia de materiales. Universidad Nacional Autónoma de México. Toluca, Estado de México.
23. McCormac, J. y Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado* 8va edición. Estados Unidos.: Editorial Alfaomega.
24. Moya, M. y Carro, A. (Setiembre 2007). Resistencia a la compresión y Modulo de Ruptura de Mezclas de Concreto Medidos en Núcleos y vigas Extraídos en Campo. Recuperado de, [www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/navas/2007-navas-04.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/navas/2007-navas-04.pdf)
25. Pérez, F. (2011). *Concreto Polimérico comparado con el Portland*. España.: EAE Editorial Academia Española.
26. Reforplas S.A.S. (marzo, 2017). *Catálogo de productos*. Recuperado de, [http://www.reforplas.com/wordpress/portfolio/project-3\\_1/](http://www.reforplas.com/wordpress/portfolio/project-3_1/)
27. Sancho, M. y Carro, A. (septiembre de 2007) Resistencia a la Compresión y Modulo de Ruptura de Mezclas de Concreto Medidos en Núcleos y Vigas Extraídos en Campo. Recuperado de, <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/navas/2007-navas-04.pdf>
28. Sandi, A. y Beltran G. (29 de setiembre del 2011). Recomendaciones para obtener resultados confiables de resistencia de cilindros de concreto. Recuperado de, <http://www.kerwa.ucr.ac.cr:8080/bitstream/handle/10669/13368/8390-11756-1-SM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
29. Vicedo, J. (2011). *Estudio de las materias primas de carácter polimérico para su aplicación al hormigón translúcido*. Tesis. Modalidad Científico Técnico. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
30. Villar, E. (2017). *Ensayo a Tracción Indirecta*. Recuperado de, <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-8.pdf>



31. Zerbino, R. (sf). Evaluación de la Resistencia de Materiales Frágiles.  
Recuperado de,  
[https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/C0109/descargar.php?secc=0&id=C0109&id\\_inc=430](https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/C0109/descargar.php?secc=0&id=C0109&id_inc=430)

# ANEXOS

## INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

### RESINA POLIÉSTER PARA CONCRETO POLIMÉRICO

#### PROPIEDADES DE RESINA LÍQUIDA

ESPECIFICACIÓN	*VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C , Brookfield LV, aguja # 3 a 60 r.p.m. (cP)	185	V227.04
Densidad @ 25 ° C (g/mL)	1.1	D118.02
Color	Rosa- Ámbar	SMP-07-31
Sólidos (%)	60	N378.01

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

ESPECIFICACIÓN	*VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Tiempo de gel @ 25° C , 100g de resina + 1g de catalizador PMEC al 50%(Minutos)	7	G116.01M
Tiempo de Curado ( minutos)	18	G116.01M
Temperatura de Exotermia (°C)	185	G116.01M

\* La columna de valores no debe interpretarse como especificaciones.

#### DESCRIPCIÓN

La resina A435-PCA-07 es una resina poliéster insaturada cuya aplicación está en la fabricación de piezas de concreto polimérico y mármol sintético. Esta resina ha sido diseñada para cubrir las necesidades de los fabricantes de piezas de concreto polimérico utilizando compuestos a base de resina y cargas minerales para fabricar artículos varios mediante procesos de vaciado.

#### CARACTERÍSTICAS

- Excelente compatibilidad con cargas minerales.
- Curado uniforme de baja concentración que evita torceduras.
- Exotermia dentro de un rango que evita las estrelladuras por concentración de calor.
- Buen balance entre la dureza que desarrolla y la resiliencia que provee a los productos moldeados.

#### BENEFICIOS.

- Baja contracción en el producto terminado lo cual disminuye las deflexiones.
- Buena resistencia al impacto.
- Rápido desarrollo de dureza Barcol, lo que implica alta productividad por molde.

#### APLICACION.

- Fabricación de concreto polimérico y mármol sintético utilizando compuestos a base de resinas y cargas minerales.

Figura N° 125. Ficha técnica de resina de poliéster utilizada en proyecto.

Fuente: Fibrocentro (2017)

## A435-PCA-07

### RECOMENDACIONES DE EMPLEO

A) Se debe mantener un rango entre el 1.0 y el 2.0% de catalizador Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% sobre el peso total de la resina.

B) Se sugiere almacenar la resina a temperaturas entre los 18 - 25 ° C y una humedad relativa entre 40 - 80 % para ayudar al fabricante a obtener una mayor calidad en sus productos. Condiciones controladas de almacenamiento y proceso ayudan al fabricante a tener un producto de calidad consistente.

### ESTABILIDAD DE ALMACENAMIENTO

Siempre y cuando la resina sea almacenada en envases originales cerrados bajo techo a una temperatura no mayor de 25°C el producto tiene una estabilidad de 3 meses a partir de su fecha de fabricación. Pasado el tiempo de estabilidad de almacenaje garantizado se puede observar incremento (Drift) en el tiempo de gel del producto. Durante los meses de verano donde la temperatura ambiente es elevada la estabilidad del producto se garantiza un máximo de dos meses a 30°C ambientales (bajo techo). Para evitar la formación de geles en la parte superior de los envases en el área que no contiene resina, se debe evitar que el recipiente sea expuesto al sol.

El almacenamiento de la resina en recipientes translucidos (totes, tambores, garrafas de polietileno o polipropileno) acelerará la formación de gel y reducirá significativamente la estabilidad del producto.

### SEGURIDAD

Ver Hojas de Seguridad de Materiales y Hoja de Emergencia de Transportación de Resinas de AOC.

**AOC MEXICANA**

Líder Mundial en Tecnología de Resinas  
Potrerillos Lote 12 Maz.2  
Col. Parque Industrial Neza.  
Cd. Nezahualcoyotl  
Edo. México C.P. 57819  
Tel: 01-55-57-16-70-00  
www.aoc-resins.com

### GUIA DE APLICACIÓN

Debido a la característica de curado de la resina los vaciados y/o laminados subsiguientes deben llevarse a cabo a la brevedad posible, en el caso contrario lijese la superficie antes de la siguiente aplicación.

Para asegurar una buena unión del laminado al Gel-Coat, pre-humédese la superficie del Gel-Coat con una capa fina de resina catalizada antes.

Esta resina no está recomendada como resistente a la corrosión ni para aplicaciones que requieran la aprobación FDA debido a esto los tanques para almacenamiento de combustibles o materiales de consumo humano no deben ser fabricados con esta resina.

Si los requerimientos de uso demandan una resina de resistencia a la corrosión o que se requiera aprobación FDA, contactar a un Representante de Ventas de AOC, para solicitar información o Asistencia Técnica sobre las líneas de Resinas Isofállicas, Terefállicas y Vinil Ester, recomendadas para este tipo de aplicación.

### CERTIFICADO ISO-9001-2008

El Sistema de Calidad de AOC MEXICANA DE RESINAS S.A. DE C.V. esta certificado de acuerdo a los estándares de ISO-9001:2008, lo cual nos permite garantizar a nivel internacional la calidad y consistencia de nuestros productos

### NOTAS

(1)

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

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

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

### Nota

Las resinas preaceleradas para exportación se pueden enviar con el acelerador por separado para que el Cliente lo integre, esto se hace para garantizar la vida útil del producto.

Dentro de la información que poseamos los datos aquí obtenidos son confiables. Esta información se suministra al usuario de cualquier otra garantía expresa o implícita, incluida toda garantía de comercialización o uso para un fin particular es independiente de cualquier otra responsabilidad contraída con el fabricante en vista de que el uso de este material esta fuera de nuestro control. Esta compañía no se hace responsable de cualquier daño o perjuicio resultado del mismo. La decisión final respecto a la utilización de este producto para el uso contemplado, el modo de empleo y el caso que su uso infrinja alguna patente, es responsabilidad únicamente del comprador.

58579600, 14.0425, BO\*

Figura N° 126. Ficha técnica de resina de poliéster utilizada en proyecto.

Fuente: Fibrocentro (2017)

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (TESIS DE GRADO)**

Heredia, 08 de mayo, de 2017

Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Tesis de Grado) bajo el título **Caracterización de Concreto Polimérico Elaborado con Resina de Poliéster y Agregados Nacionales** por parte del estudiante: Juan Sebastián Sánchez Yosa, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.**

Suscribe cordialmente,

  
\_\_\_\_\_  
Minor Murillo Chacón

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (TESIS DE GRADO)**

Heredia, 08 de mayo, de 2017


Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Tesis de Grado) bajo el título **Caracterización de Concreto Polimérico Elaborado con Resina de Poliéster y Agregados Nacionales** por parte del estudiante: Juan Sebastián Sánchez Yosa, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.**

Suscribe cordialmente,

  
\_\_\_\_\_  
Andrés Reyes Bonilla



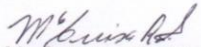
31 de mayo de 2017

Señores  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Latina de Costa Rica  
Heredia

Estimados señores:

Hago constar que efectué la corrección filológica del trabajo final de graduación denominado: *Caracterización de concreto polimérico elaborado con resina de poliéster y agregados nacionales*, realizado por el estudiante Juan Sebastián Sánchez Yosa como requisito de la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Atentamente,

  
María Luisa Rodríguez Alpizar  
Lic. En Filología Española, código 15531  
Colegio de Licenciados y Profesores  
Tels. 8993 -1021

---

Correo electrónico: [mlralpizar@gmail.com](mailto:mlralpizar@gmail.com)



## “Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

**Instrucción:** Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Juan Sebastián Sánchez Yosa

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Tesis

titulado:

Caracterización de concreto polimérico elaborado con resina de poliéster y agregados nacionales

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 02 del mes junio del año 2017 a las 4:00 . Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjurio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

