



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DESARROLLAR UN CONCRETO DE ORIGEN POLIMÉRICO
ADAPTADO A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
NACIONAL**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título del

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:

**Alejandro Enrique Freites Arévalo
Kerman Luis José Sánchez González**

TUTOR:

Ing. Civil MSc. Guillermo Bonilla

FECHA:

Caracas, Junio de 2016



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DESARROLLAR UN CONCRETO DE ORIGEN POLIMÉRICO
ADAPTADO A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
NACIONAL**

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: _____

JURADO EXAMINADOR

Nombre: _____ Nombre: _____ Nombre: _____

Firma: _____ Firma: _____ Firma: _____

Caracas, Junio de 2016

DEDICATORIA

A mi familia.

Alejandro Enrique Freites Arévalo

A mis padres, sin ellos no podría haber llegado tan lejos.

Kerman Luis José Sánchez González

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por estar siempre presente, dándome aliento en los momentos más difíciles, sin tu apoyo no lo hubiese logrado, gracias

A mi padre, quien me inspiro y me motivo a elegir la ingeniería como profesión y carrera de vida.

A los técnicos del laboratorio de materiales de la UCAB, Wilson González por brindar su tiempo para la realización de los ensayos y Yelitza Sirit por establecer un excelente ambiente de trabajo.

Al personal y tesistas del laboratorio de materiales con quienes compartí y conviví por bastante tiempo mucho más que con mi familia.

Al profesor e Ingeniero Guillermo Bonilla quien fue nuestro tutor y guía durante todo este proceso de investigación. Gracias por el tiempo dedicado.

A mis compañeras y futuras colegas Ivania, Josselyn, Milagros e Isabel quienes me apoyaron y estuvieron presentes desde el inicio de esta carrera hasta el proceso de elaboración de este trabajo. Gracias por los buenos momentos.

Por último pero no menos importante, le agradezco enormemente a la familia Rodríguez Mata, quienes me abrieron las puertas de su hogar cuando más lo necesitaba, convirtiéndose en mis segundos padres y en mis segundas hermanas.

A ustedes mil gracias

Kerman Luis José Sánchez González

A mis padres por haberme apoyado en cada una de las etapas durante mi carrera e inculcarme los valores para ser quien soy hoy en día.

A mi tía Yasmira por haber entregado gran parte de su vida en mi crianza y estar siempre atenta cuando más lo necesito.

Al personal de Laboratorio, Yelitza Sirit, Wilson González, Josselyn Malabet, Anthony Cárdenas, Génesis Valles por colaborar con su trabajo, tiempo y ayuda para la elaboración de los ensayos y ser parte de esta investigación.

A nuestros compañeros tesistas de laboratorio: Jovina, Andreina, Luis, Jesús y Rui por sus consejos y generar un buen ambiente de convivencia.

A mi novia Ivania por estar siempre atenta y ayudarme en todo momento.

Al Ingeniero Guillermo Bonilla por ceder su valioso tiempo, conocimientos e información durante el proceso de desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Alejandro Enrique Freites Arévalo

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
I.1) Planteamiento del problema	1
I.2) Antecedentes.....	2
I.3) Objetivos de la investigación.....	6
I.3.1) Objetivo General.....	6
I.3.2) Objetivos Específicos	6
I.4) Alcance y Limitaciones	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
II.1) Polímero	7
II.2) Concreto Polimérico.....	7
II.3) Tipos de Polímeros.....	9
II.3.1) Termoestables	9
II.3.2) Termoplásticos	9
II.3.3) Elastómero	9
II.4) Propiedades de los Polímeros.....	10
II.5) Comportamiento de la fluencia en los Polímeros	11
II.6) Refuerzos en los concretos poliméricos	12
II.7) Áridos en los concretos poliméricos	13
II.7.1) Contenido de humedad en los áridos	13
II.8) Anelasticidad.....	14
II.9) Translucidez	14
CAPÍTULO III.....	15
MARCO METODOLÓGICO.....	15
III.1) Naturaleza de la investigación	15

III.2) Población / Muestra	15
III.3) Variables de ensayo	15
III.4) Recolección de datos.....	17
III.5) Equipo de aplicación de carga	17
III.6) Accesorios Empleados:.....	18
III.7) Materiales Utilizados. Propiedades y Características	18
III.7.1) Mortero Convencional.....	18
III.7.2) Concreto Polimérico No convencional.....	19
III.8) Diseño Experimental.....	19
III.9) Fases de ejecución.....	20
III.9.1) Ubicación de los materiales para la mezcla:	20
III.9.2) Preparación de los agregados	21
III.9.3) Fase de elaboración de probetas	23
III.9.4) Ensayo de translucidez	26
III.9.5) Ensayo de probetas cúbicas a compresión	26
III.9.6) Resultados	27
CAPÍTULO IV.....	28
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	28
IV.1) Colorimetría y Granulometría de la Arena silíceo	28
IV.2) Evaluación de la translucidez en las muestras poliméricas	30
IV.3) Evaluación de las tensiones axiales en probetas cúbicas de mortero convencional mediante el ensayo a compresión.....	31
IV.4) Análisis de las tensiones axiales en probetas cúbicas de concreto con matriz polimérica compuesto con arena de origen silíceo.....	33
IV.5) Análisis de las tensiones axiales en probetas cúbicas de concreto con matriz polimérica compuesto con cemento blanco.....	36
IV.6) Análisis de las tensiones axiales en probetas cúbicas de concreto con matriz polimérica compuesto con cemento blanco más sílice.....	37
CAPÍTULO V	42

CONCLUSIONES	42
CAPÍTULO VI	44
RECOMENDACIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1 Certificaciones del concreto translúcido “ilum”	4
Tabla 3- 1 Cuadro de Variables.....	16
Tabla 3- 2 Matriz Probetas - Ensayos	16
Tabla 3- 3 Cantidad de probetas por dosificación.....	17
Tabla 3- 4 Cantidades de materiales a mezclar.....	18
Tabla 3- 5 Características de Resina Epóxica Cristal.	19
Tabla 3- 6 Dosificaciones por cubo utilizadas	25
Tabla 4- 1 Granulometría de la Sílice.....	29
Tabla 4- 2 Resultados del luxómetro	30
Tabla 4- 3 Resultados de tensión con cemento gris	32
Tabla 4- 4 Resultados de tensión con cemento blanco	32
Tabla 4- 5 Propiedades mecánicas de la muestras tipo “S”	35
Tabla 4- 6 Propiedades mecánicas de la muestras tipo “CB”	37
Tabla 4- 7 Propiedades mecánicas de la muestras tipo “CB+S” y “CPF”	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1 Concreto translúcido “Ilum”	5
Figura 2- 1 Curvas esfuerzos deformación de distintos polímeros.....	10
Figura 2- 2 Clasificación de los polímeros según comportamiento mecánico.	11
Figura 2- 3 Curva tensión - deformación típica de un material dúctil.....	12
Figura 3- 1 Arena Silícea	21
Figura 3- 3 Fibra de polipropileno rizado.....	21
Figura 3- 2 Resina Epóxica.....	21
Figura 3- 4 Ensayo de Colorimetría.....	22
Figura 3- 5 Ensayo de Granulometría.....	23
Figura 3- 6 Elaboración de probetas de morteros convencionales	24
Figura 3- 7 Probetas de concreto polimérico	25
Figura 3- 8 Esquema de Ensayo de Traslucidez	26
Figura 3- 9 Ensayos a compresión de cubos poliméricos	27
Figura 4- 1 Granulometría de la Sílice.....	29
Figura 4- 2 Ensayo de Traslucidez	31
Figura 4- 3 Ensayo a compresión de cubo translúcido	33
Figura 4- 4 Tensión – deformación para muestras tipo “S”	34
Figura 4- 5 % ϵ transversal - % ϵ axial muestras tipo ”S”	35
Figura 4- 6 Tensión – deformación para muestras tipo “CB”	36
Figura 4- 7 Tensión – deformación para muestras tipo “CB + S”	38
Figura 4- 8 Tensión – deformación para muestras tipo “CPF”.....	39
Figura 4- 9 Resultados de tensiones por dosificaciones	40

SINOPSIS

El presente trabajo de investigación tuvo la finalidad de fomentar nuevas técnicas en la elaboración de materiales compuestos, a través del desarrollo de un concreto de origen polimérico que pudiera ser adaptado a la industria de la construcción nacional, realizado con agregados no convencionales como resinas, arena silíceas, cemento blanco y fibra de polipropileno rizado, que permiten crear un material resistente y que a su vez cuente con propiedades ópticas como la translucidez. Principalmente esto se logra con el uso de un polímero transparente conocido comercialmente como resina cristal o resina gemelos el cual actúa como material conglomerante, siendo este lo suficientemente fuerte para soportar altas magnitudes a compresión y así sustituir de forma parcial o total el cemento blanco. En el proceso de elaboración del concreto polimérico fue necesario establecer diversas dosificaciones (10%, 12,5% y 15%) para alcanzar una población de veintidós (22) probetas cúbicas, las cuales mediante ensayos realizados a compresión permitieron evaluar las propiedades mecánicas.

Antes de ser ensayados a compresión se realizaron mediciones luz en las muestras mediante el uso de luxómetro para determinar la translucidez, obteniendo resultados positivos en varias probetas, concluyéndose así que la elaboración de un concreto polimérico que posea altas resistencias y a su vez pueda permitir el paso de la luz, puede ser logrado con los componentes seleccionados en la presente investigación.

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material compuesto con diversos agregados donde existen partículas o fragmentos provenientes de rocas, arenas y piedra caliza, los cuales se caracterizan por ser finos y gruesos. El concreto elaborado a base de cemento Portland, es una mezcla de cemento Portland y agua junto a los agregados mencionados anteriormente. Debido a esto la mezcla final del material se presenta de color grisáceo y gran densidad, lo que hace imposible distinguir colores y formas a través de él. No es sino hasta la época de los 60 que se empiezan a realizar estudios de concretos con polímeros y se empieza a definir el concepto de concreto polimérico (*PC, Polymer Concrete*).

Desde el descubrimiento de los polímeros y plásticos, este tipo de materiales se ha vuelto esencial para la evolución de la tecnología y desarrollo del ser humano, hasta un punto tal que hoy en día todo lo que nos rodea está hecho o es algún derivado de los polímeros, esto se debe en sí por la diversidad de propiedades químicas y mecánicas, además de su durabilidad en el tiempo. Al considerar los plásticos como materiales para el diseño debe conocerse el comportamiento de los mismos frente a los diferentes agentes externos (acciones mecánicas, temperatura, tiempo, entre otras). Por ende, las investigaciones respecto a las diversas propiedades mecánicas son de suma importancia cuando estos materiales se planean utilizar individualmente o en conjunto para la creación de elementos estructurales.

Este trabajo se desarrolló bajo la premisa que pudiera ser desarrollado un determinado tipo de polímero (en este caso la resina epóxica cristal) lo suficientemente resistente para ser aplicado en la construcción nacional. Para tal fin se estudió el efecto de la adición de diversos compuestos a distintas dosificaciones creando un concreto polimérico; discutiendo la influencia directa en el comportamiento mecánico que tienen estos agregados en conjunto evaluando las propiedades ópticas para el resultado final.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

I.1) Planteamiento del problema

A través de la historia siempre se ha buscado mejorar la calidad de las obras tanto en su sistema estructural como en cada uno de los materiales que la componen, debido al paso del tiempo y la evolución de índole civil las exigencias han aumentado año tras año impulsando a los ingenieros a crear nuevas técnicas, nuevas estructuras y a su vez, desarrollar materiales que las hagan posible para que grandes ideas no se queden solo en papel y se hagan realidad en campo.

En Venezuela el uso de concreto polimérico no es de relevancia para la elaboración de elementos en la construcción, actualmente se utilizan como relleno o para múltiples reparaciones de distintos miembros estructurales y no estructurales. Bien sea por lo novedoso del material o el desconocimiento en las mejoras de las propiedades mecánicas del mismo, las investigaciones con concretos poliméricos con propiedades de translucidez no son extensas, por ende surge la necesidad de desarrollar un tema que fundamente en el país los primeros pasos en este tipo de producto. Es de relevancia destacar que este producto carece de agregados gruesos por lo que los especialistas en el tema lo definirían como un mortero y no como concreto.

El objetivo principal fue formular y analizar a través de ensayos las propiedades mecánicas y ópticas asociadas a la translucidez de una nueva mezcla de este material polimérico, que por sus posibles aplicaciones en campo y altas resistencias, se le ha denominado concreto polimérico a pesar de no poseer un agregado grueso ya que teóricamente no existe diferencia técnica entre un mortero y un concreto de polímeros. Esto permitió definir

sus características para aplicarse a la construcción nacional. Dentro de este argumento, surgieron las siguientes incógnitas:

¿Sería posible desarrollar un concreto polimérico con propiedades de translucidez?

¿Será su comportamiento mecánico aprovechable en la industria de la construcción?

¿Sería factible la elaboración de un concreto polimérico a gran escala para ser adoptado en la industria de producción nacional?

I.2) Antecedentes

La creación de un nuevo producto translúcido a base de polímeros es presentado por dos (2) estudiantes de Ingeniería Civil en México de la universidad de UAM, Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Omar Galván, ellos lograron crear un material nuevo en el año 2005, que consiste en un aditivo para la obtención de un concreto translúcido llamado “Ilum”, el cual, como su nombre lo dice, daría como resultado final un concreto a base de polímeros que permitiera, además el paso de la luz, una resistencia suficiente para ser un componente estructural en cualquier proyecto, siendo este un elemento nuevo y totalmente revolucionario ya que representó un gran avance en muchos aspectos de la construcción como ahorro de energía eléctrica y el uso de materiales base como acabado estético.

Cabe destacar que existe otro tipo de concreto translúcido comercial el cual es importante definir ya que se suelen confundir; es el fabricado con base de fibras ópticas, conocido como LITRACON o concreto conductor de luz (Light Transmitting Concrete), creado por el arquitecto Húngaro Aaron Losonczy; que permite ver reflejos de siluetas de un solo lado y la pieza más grande mide 30 x 60 cm; mientras que, a diferencia de el aditivo creado en México, permite la translucidez en cualquier sentido que se vea y es aplicable a grandes volúmenes mezcla.

En el artículo publicado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) del año 2006 refleja lo siguiente:

“Los concretos tradicionales tienen una resistencia que va de los 250 a los 900 kg/cm² (sic); en cambio el concreto translúcido, por ejemplo, puede alcanzar una resistencia de hasta 4500 kg/cm² (sic) y el gris de 2500 kg/cm² (sic)

Por esta característica podría pensarse que los nuevos productos son sumamente pesados, pero no es así. El concreto translúcido tiene un peso (sic) volumétrico máximo de 2,100 kg/m³ y el gris de 1,950 kg/m³, mientras que el LiTraCon mantiene un peso (sic) variable de entre los [2,100 y 2,400] kg/m³, cifras menores a los 2500 kg/m³, que es el peso (sic) de los concretos comerciales.

Además, los productos desarrollados por Sosa y Galván presentan una ventaja más, pues tanto el concreto gris como el translúcido adquieren 90 por ciento de su resistencia final en menos de siete días, lo cual permitiría un ahorro significativo en la industria de la construcción, pues el tiempo para levantar una edificación disminuiría casi 60 por ciento.”(CONACYT, 2006)

Estos estudios fueron realizados en el alma mater de los estudiantes de Ingeniería Civil, la Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco en México (UAM); desde el descubrimiento de este material y por sus múltiples propiedades, se ha despertado el interés en su país natal y de forma internacional de diversas instituciones por estudiarlo. La siguiente tabla muestra los diferentes organismos que han certificado este concreto translúcido.

Tabla 1- 1 Certificaciones del concreto translúcido “ilum”

ORGANISMOS EN MÉXICO	ORGANISMOS INTERNACIONALES
CENAM	MIT
INIME	HARVARD
IIM	LONDON MATERIALS LABORATORY
ONNCE	INM GERMANY
ACI MEXICO	NIMS JAPÓN
	AMT-RILEM

Fuente: Revista Construcción y Tecnología en Concreto, No 124 (Enero, 2007), pp. 34-37

En Venezuela se han realizado diversas investigaciones sobre la mezcla de cemento con polímeros pero, solo una mínima parte se ha enfocado a la translucidez del mismo, tal es el caso del Trabajo Especial de Grado titulado “*Propuesta de una mezcla de concreto traslúcido para la elaboración de elementos estructurales*” elaborado por **Dayanna Di Falco de Parisi**, de la Universidad Rafael Urdaneta de Maracaibo, Venezuela en el año 2008. En este trabajo se realizaron distintas mezclas variando la dosificación de la resina seleccionada de manera incremental, disminuyendo en consecuencia, los demás componentes del concreto. Los resultados no fueron muy favorable ya que ninguna de las probetas reflejó translucidez y al aumentar la concentración del polímero, su resistencia a la compresión fue disminuyendo hasta tal punto que algunas muestras se destruyeron con simplemente retirarlas de sus moldes.

Otro trabajo especial de grado enfocado a este tema fue titulado “*Diseño de mezcla de concreto experimental con un asentamiento de 5”, con el uso de un aditivo para concreto celular traslúcido*” realizado por **Gisela Duran y Arturo Losada**, de la Universidad Nueva Esparta, Venezuela en el año de 2013. Dicha investigación se basó en el uso de fibras ópticas a una mezcla tradicional de concreto la cual tuvo como resultado una disminución de masa de la

muestra y translucidez pero no de forma exitosa debido a la falta de equipos especializados, además de presentar resistencia a la compresión muy bajas, no mayores a 10,6 Mpa.

Un tema de investigación desarrollado en Barquisimeto en el cual se utilizó polímeros fue titulado “*Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un mortero polimérico no convencional*” realizado por **Wilzer Castro, Laura Paredes y Miguel Santeliz**, de la Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado en el año 2014. Este Trabajo Especial de Grado se aplicó una mezcla de mortero con una resina de poliéster y fibra de vidrio en diversas dosificaciones, obteniendo resultado favorables con resistencias a la compresión entre [70 y 80] Mpa pero sin ningún efecto de translucidez.

Internacionalmente, en países como México y España se encuentra diversos estudios pero sin resultados concluyentes, esto en si por la falta de información de los propios creadores, Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Omar Galván, los cuales mantienen su fórmula en secreto y de forma patentada la elaboran comercialmente en su país natal



Figura 1- 1 Concreto translúcido “Illum”.

Fuente: CONACYT

I.3) Objetivos de la investigación

I.3.1) Objetivo General

Desarrollar la formulación de un concreto de origen polimérico adaptado a la industria de la construcción nacional.

I.3.2) Objetivos Específicos

1. Caracterizar el concreto polimérico desarrollado con base a la translucidez del concreto.
2. Analizar el comportamiento mecánico del concreto con matriz polimérica compuesto con arena de origen silíceo.
3. Analizar el comportamiento mecánico del concreto con matriz polimérica compuesto con cemento blanco.
4. Analizar el comportamiento mecánico del concreto con matriz polimérica compuesto con arena de origen silíceo más cemento blanco.

I.4) Alcance y Limitaciones

Este trabajo de investigación tuvo como finalidad elaborar un concreto de origen polimérico con propiedades de translucidez, para lo cual se utilizaron materiales no convencionales.

Para el polímero utilizado se fijó un valor de dosificación único, mientras que, para los agregados se establecieron tres (3) porcentajes base (10%, 12,5%, 15%), a los cuales se vaciaron dos (2) moldes cúbicos por cada dosificación. Con respecto a la translucidez de las muestras, se realizaron ensayos por analogía en normas, midiendo la intensidad de luz pasante a través de las mismas con un luxómetro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El contenido de este marco se enfatiza en la base teórica para la realización de la investigación, de igual forma se destacan los conceptos de mayor relevancia y referencias de estudios realizados que permiten establecer conocimientos previos para el desarrollo del tema. Cabe destacar que investigaciones con concretos poliméricos se han realizado desde décadas pasadas, pero trabajos orientados a las propiedades translucidez de concretos con polímeros es un enfoque relativamente nuevo, lo que conlleva a que la cantidad de estudios sean limitados a nivel nacional e internacional.

II.1) Polímero

Los polímeros, como grupo de materiales, resultan muy difíciles de clasificar desde el punto de vista de su comportamiento mecánico pero Morton y Jones (2006) en su trabajo “*Procesamiento de Plásticos*”, lo definen como “una sustancia cuyas moléculas forman cadenas largas, por lo común de varios millares de átomos de longitud... difieren uno de otro, por la naturaleza química y física de sus unidades repetitivas en las cadenas” (p. 14, 15). Según este concepto, se puede concluir que los polímeros es la unión de millones de cadenas formadas por moléculas simples o monómeros de bajo peso molecular que combinados de formas específicas a través de enlaces químicos arrojan gran diversidad propiedades físicas y mecánicas.

II.2) Concreto Polimérico

Desde la aparición del concreto, siempre se ha buscado mejorar sus propiedades mecánicas modificando y optimizando la calidad de sus elementos básicos hasta la adición de diversos compuestos denominados aditivos. Con el descubrimiento de los polímeros y su

aplicación en la construcción se empieza a despertar el interés al combinar concreto con polímeros, pero no es sino hasta el año de 1971 cuando el *American Concrete Institute*, (ACI) debido a estudios e investigaciones y utilización de concretos y morteros con materiales poliméricos sintéticos, se logra crear el Comité 548, “*Polymers in Concrete*”. Con los primeros acuerdos y trabajos del Comité 548 se edita la ACI SP-40 (1974), donde el concreto (o mortero) de polímero se define como “el material que se prepara mezclando un monómero o resina con un árido, y polimerizando o curando la mezcla después de puesta en obra o moldeada”. (Galán Marín, Carmen. 2001).

En el trabajo doctoral “*Caracterización de un mortero polimérico con resina de polyester insaturado y árido de albero para su aplicación en construcción*”. Realizado por Carmen Galán Marín, de la Universidad de Sevilla. Sevilla - España el año 2001. La autora plantea que a partir del año 1975 a causa diversos estudios en países desarrollados y por el creciente interés de mezclar resinas sintéticas con concretos y morteros, se crean en términos generales 3 clasificaciones que engloban estos “nuevos concretos” los cuales son:

- Concretos impregnados con polímero, PIC (*Polymer Impregnated Concrete*).
- Concretos de cemento y polímero PCC (*Polymers and Cement Concrete*).
- Concretos aglomerados solo con polímero, sin cemento. PC (*Polymer Concrete*).

Bajo esta óptica, es importante resaltar que el autor plantea, según múltiples publicaciones que cuando se habla de un concreto o mortero polimérico, no hay una diferenciación en sus características técnicas importantes, aparte de sus costos y del límite de tamaño máximo de agregados, que se plantea en un intervalo muy pequeño de 5 – 10 mm.

II.3) Tipos de Polímeros

II.3.1) Termoestables

Según M. Periñan (1997) “estos materiales se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde”. A menudo, los polímeros termoestables se obtienen en forma de dos resinas líquidas. Una contiene los agentes de curado, endurecedores y plastificantes, la otra materiales de relleno y/o reforzantes que pueden ser orgánicos o inorgánicos, los más comercializados son: los Poliuretanos, la Urea-resina y melamina, Resinas Fenólicas y Resinas Epóxicas, Resinas de Poliéster.

II.3.2) Termoplásticos

Citando al autor anterior lo define como, “polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78% al 80% del consumo total”. Los más frecuentes son: Polietileno, Polipropileno, Cloruro de Polivinilo (PVC), Poliestireno (PS) y el Estireno-acrilonitrilo.

II.3.3) Elastómero

Generalmente son polímeros termoestables pero pueden ser también termoplásticos, estos se caracterizan por poseer a nivel molecular diversas cadenas enrolladas las cuales pueden mostrar una gran deformación elástica cuando se les aplica una fuerza. Cuando se aplica un esfuerzo, el polímero se alarga al desenredarse la cadena lineal. Cuando el esfuerzo desaparece, las cadenas vuelven a enrollarse y el polímero regresa a su forma y tamaño original, ejemplos de ellos son: Silicona, Caucho natural, Neopreno, y el Polibutadieno.

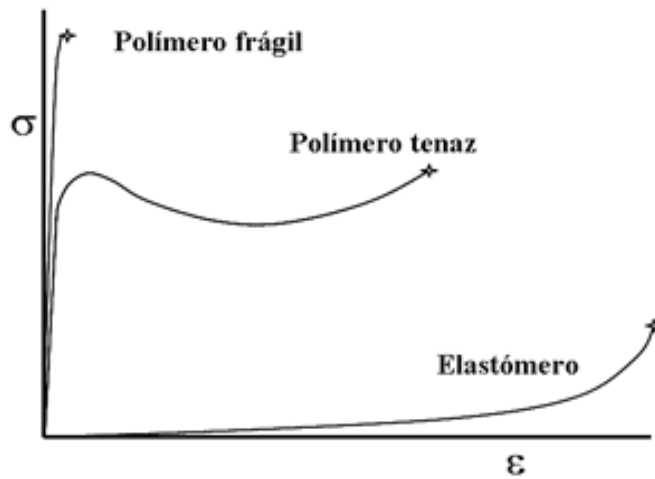


Figura 2- 1 Curvas esfuerzos deformación de distintos polímeros.

Fuente: Odian (2004)

II.4) Propiedades de los Polímeros

Según (M. Rodríguez, 2005) poseen las siguientes características.

- Tienen una baja densidad.
- Son impermeables.
- Son aislantes eléctricos.
- Son aislantes térmicos.
- Su quema es muy contaminante.
- Son resistentes a la corrosión y a estar a la intemperie.
- Resistentes a los ataques químicos.
- Algunos se reciclan mejor que otros.
- Son fáciles de trabajar.
- Tienen propiedades ópticas

II.5) Comportamiento de la fluencia en los Polímeros

Cuando se realiza un ensayo a tracción para diversos polímeros su tendencia es similar a la curva tensión – deformación (σ - ϵ) de un material metálico. Los polímeros tiene la característica de poder soportar deformaciones tanto elástica como plástica cuando se aplica una carga. La deformación elástica se debe a mecanismos, de estirado y distorsión a nivel molecular de los enlaces dentro de la cadena. La de formación plástica se debe a que las cadenas en el polímero tienden a desplazarse una sobre otra fraccionando los enlaces débiles. Cuando se retira la carga, las cadenas se reagrupan formando nuevas posiciones experimentando así una deformación permanente. (R. J. Crawford, 1998).

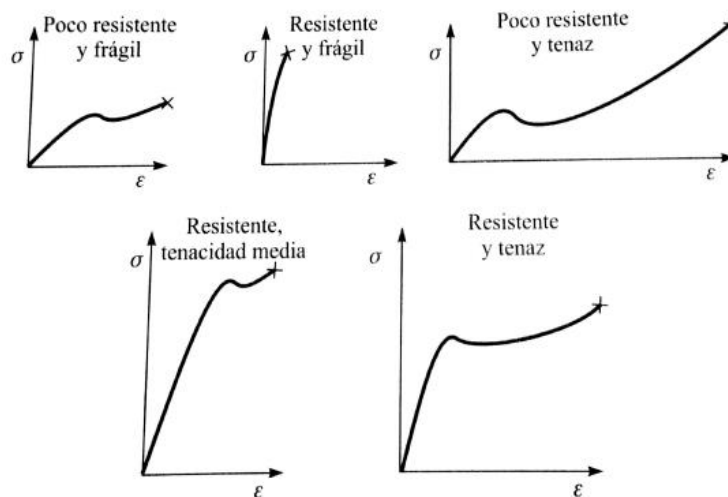


Figura 2- 2 Clasificación de los polímeros según comportamiento mecánico.

Fuente: M. A. Rodríguez, (2005)

Al aumentar la deformación, el material refleja un trayecto elástico en el cual se puede recuperar, teniendo un comportamiento similar a los metales generalmente de forma no lineal. La pendiente de la curva disminuye hasta que se alcanza un primer pico en la gráfica, denominado máximo relativo de la tensión, que puede ser usado para definir el límite elástico, σ_y . El valor de la deformación correspondiente a dicha tensión, ϵ_y , para un polímero es del

orden del 5 -10 %, en comparación con el 0.1 % para los metales (R. J. Crawford, 1998). En este sentido, el límite elástico del material debería ser descrito como el punto en el cual empieza a tener lugar una deformación permanente. Esto es muy difícil de definir en los polímeros ya que a veces es posible recuperar la deformación plástica aparente más allá del límite elástico incrementando la temperatura del material.

Dentro de este contexto, TS (Tensile strength) es el valor de la tensión a la que se produce la rotura y puede ser más pequeña que la tensión correspondiente al punto de fluencia.

De hecho, la diferencia entre deformación recuperable e irrecuperable depende de la escala de tiempo y de la temperatura del experimento. Sin embargo, a pesar de esto, todavía se puede definir la tensión de fluencia como el valor máximo alcanzado por la tensión nominal, como en el caso de los metales.

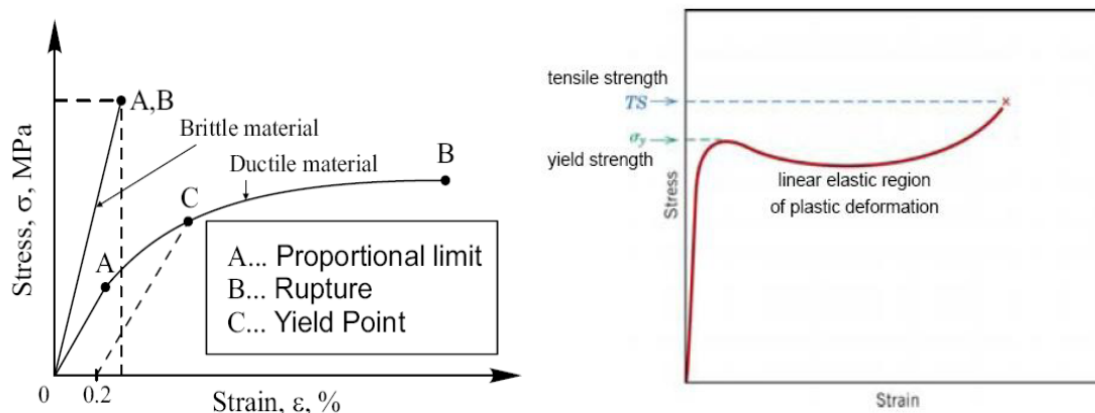


Figura 2- 3 Curva tensión - deformación típica de un material dúctil.

Fuente: R. J. Crawford, (1998)

II.6) Refuerzos en los concretos poliméricos

No es habitual diseñar concretos poliméricos reforzados, sobre todo por cuestiones económicas, generalmente los PC (*polymer concrete*) utilizados en campo son de bajos espesores, debido a esto, las armaduras quedan limitadas a utilizarse de pequeño tamaño o longitud, con lo que se utilizan como refuerzos fibras circulares o rectangulares, sueltas o

unidas en mallas o telas y de pequeñas longitudes, dando lugar a los concretos poliméricos reforzados con fibra (FPC) (Bateller 2011). Estas fibras pueden ser orgánicas o inorgánicas (plásticas o metálicas) logrando así un material más resistente disminuyendo la fragilidad del mismo. Investigaciones de fibras y sus aplicaciones como refuerzos, se han elaborado en las últimas décadas, ejemplos de estos trabajos (Hibrard, 1965; Happey, 1978; Pritchard, 1980). De modo referencial, en este trabajo de investigación se estudió el efecto que causaron las fibras de polipropileno (PP) rizado en las mezclas de concreto polimérico con sílice, manteniendo siempre un mismo porcentaje de la fibra de PP (1%).

II.7) Áridos en los concretos poliméricos

Según Porrero (2012) define que “concreto u hormigón está compuesto por partículas de origen pétreo, de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes”. Para un concreto convencional un árido representa el 80% del peso, pero para un concreto polimérico estos porcentajes pueden disminuir ampliamente; por motivos económicos, las dosificaciones deben tener la mayor cantidad de árido posible, generalmente es un agregado fino o con tamaño máximo de 5mm-10mm; esto con el fin de conseguir el mayor ahorro de polímero, sin la pérdida de su acción conglomerante.

II.7.1) Contenido de humedad en los áridos

Según diversos estudios se ha demostrado experimentalmente (Ohama, 1973), que cuando se utilizan agregados de origen silíceos, con un contenido de humedad mayor del 0,1% influye negativamente sobre las resistencias mecánicas de los PC de poliésteres. En otros trabajos (Hsu, 1984) se estudió este comportamiento pero para una mezcla de agregados silíceos y calizos. Sin embargo, en el caso de árido de origen calizo no hay evidencias experimentales a este respecto. Bajo este contexto, se observa que en los agregados con humedad reduce notablemente la resistencia de los concretos poliméricos, ya que el enlace entre el polímero y el árido se debilita ante la presencia de agua. Se puede observar también una disminución del 40 al 55% en la resistencia a compresión, presentando peor resistencia el

PC realizado con áridos silíceos, a diferencia de los calizos, ambos con el mismo contenido de humedad.

II.8) Anelasticidad

En los materiales existe la suposición que una fuerza aplicada produce una deformación inmediata la cual, se puede recuperar totalmente hasta cierto punto al ser retirada la carga; es decir, que no depende del tiempo, sin embargo, en diversos materiales de ingeniería, existe una componente de la deformación elástica que si es función del tiempo; la deformación es producida mientras se aplique una carga, y al retirarla se requiere que transcurra algún tiempo para que el material se recupere completamente. A este comportamiento dependiente del tiempo se denomina anelasticidad, en algunos materiales poliméricos su magnitud es importante con el cual se denominaría comportamiento viscoelástico.

II.9) Translucidez

Según el diccionario de la RAE, define como translúcido un “cuerpo a través del cual pasa la luz, pero que no deja ver sino confusamente lo que hay detrás de él”. Dentro de este contexto se tiende a confundir la transparencia con translucidez, donde la transparencia en un cuerpo deja pasar la luz fácilmente, mientras que un material translucido es todo lo contrario, haciendo irreconocible las formas reflejadas en él. El concreto por su naturaleza, es un material sólido que no deja pasar la luz, por el origen de sus agregados, pero al modificar sus componentes más básicos y sustituirlo por polímeros y fibras, es posible tener propiedades ópticas de translucidez sin desmejorar su resistencia.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1) Naturaleza de la investigación

Consistió en un estudio de carácter experimental porque radicó en someter el objeto de estudio (probetas cúbicas hechas de concreto poliméricos) a la influencia de ciertas variables en condiciones controladas por el investigador a través de la realización de ensayos, esto con el fin de conocer las diferentes propiedades del mismo, y poder compararse con las de un mortero convencional, cumpliendo con los criterios de la norma venezolana COVENIN 484-93.

III.2) Población / Muestra

En este estudio la población se basó en la creación de 21 probetas cúbicas de 50,8 mm de lado, con un (1) compuesto principal (Resina epóxica cristal), y tres (3) compuestos secundarios (cemento blanco, arena silíceo y fibra de polipropileno rizado). Donde al realizar las muestras se mantuvo siempre constante la dosificación de resina cristal, pero al evaluar los agregados se varió en porcentajes de 10%, 12,5%, y 15%. De modo referencial se realizaron 21 probetas más de mortero tradicional, utilizando 12 con cemento gris y 9 con cemento blanco.

III.3) Variables de ensayo

Como se explicó, se decidió mantener constante la cantidad de resina utilizada y variar los agregados de forma porcentual como se establece en las siguientes tablas.

Tabla 3- 1 Cuadro de Variables

Variable				N° de Probetas			
(Resina Epóxica: Cristal R.0352)	Sílice	Cemento Blanco	Fibra de Polipropileno	10%	12,5%	15%	Total
✓	✓	-	-	2	2	2	6
✓	-	✓	-	2	2	2	6
✓	✓	✓ (2%)	-	2	2	2	6
✓	✓	-	✓ (1%)	1	1	1	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3- 2 Matriz Probetas - Ensayos

Ensayo	Polímero + Cemento Blanco	Polímero + Cemento Blanco (2%) + Sílice	Polímero + Sílice	Polímero + Fibra de Polipropileno 1% + Sílice
Compresión	✓	✓	✓	✓
Traslucidez	✓	✓	✓	x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3- 3 Cantidad de probetas por dosificación

Teniendo en cuenta que el compuesto principal de las distintas mezclas es el polímero (Resina Epóxica: Cristal R.0352).

Variable	N° de Probetas			
	10%	12,5%	15%	Total
Cemento Blanco	2	2	2	6
Cemento Blanco 2% + Sílice	2	2	2	6
Sílice	2	2	2	6
Fibra de Polipropileno 1% + Sílice	1	1	1	3

Fuente: Elaboración propia

Total 21

Adicionalmente se realizó una Probeta compuesta únicamente de polímero, todos los porcentajes fueron realizados en función del peso de la resina.

Total de probetas: 22 unidades.

III.4) Recolección de datos

Los datos recolectados fueron por medio de potenciómetros digitales y procesados por el software ANDISOFT. Para la realización de medición de luxes en las muestras se utilizó el software ANGSTROM METROLOGY.

III.5) Equipo de aplicación de carga

Máquina de ensayo universal marca Baldwin capacidad de 100 toneladas del laboratorio de materiales de la UCAB. Calibración por ICC Ingeniería Control de Calidad. Diciembre 2015.

III.6) Accesorios Empleados:

- Soporte de deformímetro axial para ensayo.
- Potenciómetro Lineal marca REO Transducers.
- Suplemento para ensayo a compresión de cubos de morteros.
- Deformímetro mecánico.
- Tamices.

III.7) Materiales Utilizados. Propiedades y Características

III.7.1) Mortero Convencional

- Cemento: Gris CPCA supercem.
- Cemento: Blanco.
- Arena: de Origen Silíceo (secada al horno).

La dosificación empleada fue la estipulada en la norma COVENIN 484-93, para la elaboración de doce (12) y nueve (9) probetas cúbicas, utilizando cemento gris y blanco respectivamente, con una relación constante agua/cemento de 0,485.

Tabla 3- 4 Cantidades de materiales a mezclar

Materiales	Número de probetas		
	6	9	12
Cemento (g)	500	740	1000
Arena (g)	1375	2035	2750
Agua (ml) Portland (a/c) = 0,485	242	359	485
Otros (flujo de 110 + 5)	-	-	-

Fuente: Norma COVENIN 484-93

III.7.2) Concreto Polimérico No convencional

- Cemento: Blanco.
- Arena: de Origen Silíceo (secada al horno).
- Polímero: Resina epóxica cristal (R.0352).
- Catalizador: Endurecedor (E 16-32).

A continuación se presenta las características mostradas en la ficha de técnica de la resina epóxica o conocida comercialmente como resina “gemelos” por ser mezclada en partes iguales con su catalizador.

Tabla 3- 5 Características de Resina Epóxica Cristal.

	RESINA	ENDURECEDOR
Viscosidad a 19° C.	50 - 85 P.	3 –5 P.
Peso específico	1.15 gr./ c.c.	1.0 gr./ c.c.
Color Gardner	<0.3	<0.3
Proporciones en peso	100 gr.	85 gr.
Proporciones en volumen:	1 parte	1 parte
Curado mínimo	24 horas a 19 ° C.	
Tiempo de gelificado	40 min. a 19 ° C. 20 gr.	

Fuente: Ficha Técnica SINTEPOX

III.8) Diseño Experimental

Fue desarrollado un diseño de tipo experimental que permitiera evaluar la variación de las tensiones axiales en los polímeros al modificar las dosificaciones de los agregados en las siguientes magnitudes 10%, 12,5% y 15%. Por cada dosificación se realizaron dos (2) probetas cúbicas para distintas combinaciones de mezcla para un total 22 muestras. Es importante destacar que en estos morteros poliméricos el componente principal no es el cemento blanco

sino la resina epóxica cristal, la cual se mantuvo en la misma proporción para la elaboración y ensayo a compresión de todas las muestras.

Con respecto a la medición de la translucidez en las probetas, se realizaron ensayos directos que permitieron expresar los resultados en luxes, y caracterizar las muestras según estos datos.

III.9) Fases de ejecución

III.9.1) Ubicación de los materiales para la mezcla:

Para la elaboración de las muestras con concreto polimérico, se procedió a plantear materiales no convencionales y buscar a nivel nacional los agregados que englobaran las propiedades requeridas. Se necesitaba un agregado fino de excelente calidad y pureza, el compuesto que cumplía con estas necesidades luego de la arena de Ottawa, es la arena silíce, distribuida por la empresa “Chemical iónicos, ASOC” ubicada en la zona industrial Charallave-Cúa.

Para el polímero, existe un amplio margen de marcas y familias químicas que brindan diversas propiedades según su uso. A través de muchas investigaciones y documentación bibliográfica proyectada en el marco teórico se procedió a escoger la resina cristal como compuesto principal, lamentablemente esta no se produce en el país y tuvo que importarse desde Colombia por la empresa “Id Arte, C.A”

Lo que respecta a los demás agregados como lo son el cemento gris, el cemento blanco y la fibra de polipileno rizado fueron adquiridos a nivel nacional.



Figura 3- 1 Arena Silícea

Fuente: Propia



Figura 3- 3 Resina Epóxica

Fuente: Distribuidor



Figura 3- 2 Fibra de polipropileno rizado

Fuente: Propia

III.9.2) Preparación de los agregados

Como uno de los objetivos de las muestras era buscar la translucidez, solo se dispuso de agregado fino en las probetas. La arena silícea, que originalmente se encontraba en condición húmeda, fue secada al horno durante veinticuatro horas a una temperatura de 200°C para asegurar la evaporación del agua, tomando un total de diez kilogramos de arena (10 Kg), que posteriormente fue embolsado y sellado.

III.9.2.1) Colorimetría

Siguiendo la norma COVENIN 256 para la “Determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arena para concreto”. Se procedió a ensayar una pequeña parte de la sílice previamente secada al horno. Esto fue un aspecto muy importante, ya que uno de los objetivos era caracterizar las propiedades ópticas en las muestras de concreto polimérico, y con el ensayo de colorimetría se pudo corroborar la calidad y pureza de la arena silícea como agregado.

Se preparó una solución con Hidróxido de sodio diluido en agua al (3%) para luego impregnar la arena fina en un vaso graduado con la mezcla en una proporción de 1/3, el cual

se dejó reposar 24 horas para luego verificar la contaminación con una escala de color de Gardner.



Figura 3- 4 Ensayo de Colorimetría

Fuente: Propia

III.8.2.2) Granulometría

Se caracterizó la arena silíceo a través de un ensayo granulométrico. Como el agregado es catalogado “ultra fino”, la mayoría de tamices se omitieron para la ejecución del ensayo, obteniendo resultados entre los tamices #30 y #200. Este fue un aspecto de relevancia ya que se realizaron pequeñas muestras con resina antes de realizar las probetas; originalmente la muestra se asentaba con el árido silíceo. Luego de la granulometría, se realizaron con las distintas agregados retenidos pequeños cilindros de media pulgada de diámetro (1/2”) y cinco (5) cm de altura, esto con el fin de experimentar y catalogar visualmente cual tamaño de partícula fue el más conveniente a utilizar, para evitar la segregación en las probetas.



Figura 3- 5 Ensayo de Granulometría

Fuente: Propia

III.9.3) Fase de elaboración de probetas

III.9.3.1) Mezcla de mortero tradicional

De modo referencial se elaboraron un total de 21 probetas cúbicas (12 con cemento gris y 9 con cemento blanco utilizando en todas las muestras arena sílicea) esto con el fin de realizar curvas de edad – esfuerzo y comparar los esfuerzos máximos obtenidos a compresión a los (28) días, con los obtenidos en la mezcla de concreto polimérico. Para los cubos con cemento gris se identificaron las probetas como “MO1”; la metodología aplicada es que luego de veinticuatro (24) horas realizadas las probetas se desmoldaron y comenzaron el proceso de curado; estos se sumergieron en agua potable hasta el momento de su ensayo, es decir, se extrajeron en tandas 3 cubos al primer día (1), otros a los tres (3), otros a los siete (7) y la última tanda a los veintiocho (28) días, para un total de doce (12) muestras.

Para el cemento blanco se identificaron los especímenes como “MB”. El proceso realizado fue prácticamente igual al del cemento gris pero variando la edad de ensayo, en este caso se ensayaron las muestras a los tres (3) días, otros a los catorce (14) y por ultimo a los veintiocho (28) días, para un total de nueve (9) probetas.



Figura 3- 6 Elaboración de probetas de morteros convencionales

Fuente: Propia

III.9.3.2) Concreto polimérico no tradicional

En este punto fueron realizadas las probetas cúbicas utilizando la resina epóxica cristal con las dosificaciones y los materiales ya puntualizados en las secciones anteriores. El cemento seleccionado fue blanco, todos los porcentajes fueron basados en el peso del polímero; se mezcló la resina en dos (2) partes iguales con su respectivo catalizador, para luego adicionar los agregados. Es importante destacar que el cemento no se mezcló con agua, y la arena sílicea fue secada al horno antes de usarse, ya que según la bibliografía consultada y citada en el marco teórico indican que, el contenido de humedad en las muestras influye de gran manera y de forma negativa en la resistencia a compresión de las mismas. La nomenclatura para identificar las muestras fue la siguiente:

- Polímero: “CP”
- Polímero + Sílice: “S”
- Polímero + Cemento Blanco: “CB”
- Polímero + Sílice y Cemento Blanco: “CB+S”
- Polímero + Sílice y Fibra: “CPF”

Cuando se tenía más de dos compuestos se estableció un valor constante en una de las variables, en el caso “CB+S” fue de 2% para el cemento blanco, y en el caso de “CPF” fue de 1% para la fibra de polipropileno.

Tabla 3- 6 Dosificaciones por cubo utilizadas

Muestra	Peso resina (gr)	% de agregados	Peso Agreg. (gr)	Fibra de PP (gr) 1%	Cemento B. (gr) 2%	Cantidad de muestras
S	140	10%	15,6	-	-	6
		12,5	20,0			
		15%	24,7			
CB	140	10%	15,6	-	-	6
		12,5	20,0			
		15%	24,7			
CB+S	140	10%	15,9	-	3,3	6
		12,5	20,5			
		15%	25,3			
CPF	140	10%	15,6	1,4	-	3
		12,5	20,0			
		15%	24,7			
CP	140	-	-	-	-	1
					TOTAL	22

Fuente: Elaboración propia



Figura 3- 7 Probetas de concreto polimérico

Fuente: Propia

III.9.4) Ensayo de translucidez

Luego de realizar las probetas y retirarlas del molde, se procedió a caracterizar las propiedades de translucidez mediante un ensayo en analogía con el reglamento de la Comunidad Económica Europea (CEE) N° 679/72. Se creó una cámara oscura de aproximadamente veintitrés (23) cm de largo, similar a un perfil tubular cuadrado; la cámara internamente estaba recubierta de color blanco mate, esto con el fin de reflejar de forma óptima los rayos de luz. En un extremo de la cámara se colocaron las muestras sometiéndolas a una misma intensidad de luz de aproximadamente 1000 lux, del otro lado de la cámara a través de un luxómetro se recolectaron datos de los rayos de luz distorsionados al pasar por las probetas.

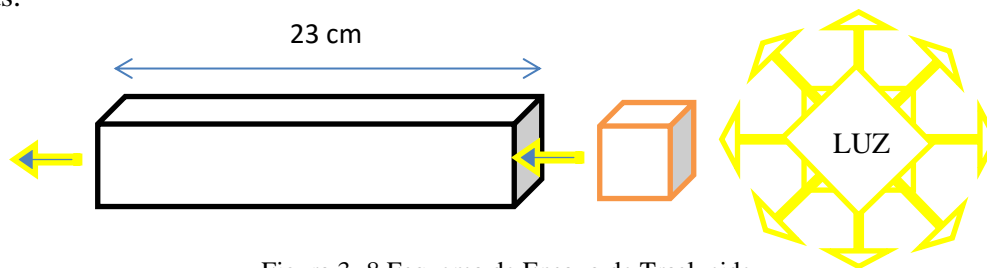


Figura 3- 8 Esquema de Ensayo de Traslucidez

Fuente: Elaboración Propia

III.9.5) Ensayo de probetas cúbicas a compresión

El ensayo a compresión de los cubos se produjo bajo la condición de monotónico creciente hasta llevar las probetas a la falla. Para los morteros elaborados de forma convencional se obtuvieron resultados solo de resistencia ante la aplicación de fuerza axial a los 28 días.

La edad de las muestras fue establecida en un tiempo de siete (7) días a partir de su fecha de ejecución; por su origen plástico los especímenes fueron curados en “frío”, es decir, a temperatura ambiente, ya que el compuesto principal no era el cemento sino la resina epóxica cristal.



Figura 3- 9 Ensayos a compresión de cubos poliméricos

Fuente: Elaboración Propia

III.9.6) Resultados

Luego de recolectar una serie de datos, fue necesario establecer semejanzas entre las variables de estudio, para interpretar los resultados obtenidos y así poder determinar los valores atípicos en la investigación; de esta manera se estableció un criterio para la eliminación de valores anormales, suavizando las curvas obtenidas a través de la serie de datos, quedando como resultado final el promedio de los ensayos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV.1) Colorimetría y Granulometría de la Arena sílicea

Se realizó un ensayo para determinar la cantidad de impurezas en la arena sílicea, siguiendo la norma COVENIN 256. Transcurridas 24 horas se comparó la muestra con un disco con escala Gardner, se pudo determinar que la arena saturada en la solución con Hidróxido de Sodio era cristalina como el agua, siendo menor a uno (1) en la escala Gardner, es decir, el contenido de materia orgánica es inferior o igual a 0,2%, aunque por la cristalinidad obtenida se puede concluir que carece de impurezas.

Posteriormente se realizó la granulometría para caracterizar la sílice y determinar qué tamaño de agregado producía menos segregación. Con el porcentaje retenido acumulado desde el tamiz 3/8" hasta el #100, se calculó el módulo de finura dividiendo la sumatoria entre 100, lo que arrojó como resultado:

$$MF = \frac{\sum \%Ret\ Acum\ (3/8",\ 1/4",\ \#4,\ \#8,\ \#16,\ \#30,\ \#50,\ \#100)}{100} = \frac{124,4}{100} = 1,2$$

Según (Porrero, 2004) establece que, cuando el módulo de finura para los agregados es menor a (2) es catalogado como "ultra fino".

Tabla 4- 1 Granulometría de la Sílice

ABERTURA TAMIZ		MASA RETENIDA (gr)	RETENIDO TAMIZ (%)	RETENIDO ACUM (%)	PASANTE ACUM (%)
mm	pulg				
12,7	1/2	0,0	0,0	0,0	100,0
9,53	3/8	0,0	0,0	0,0	100,0
6,35	1/4	0,0	0,0	0,0	100,0
4,76	#4	0,0	0,0	0,0	100,0
2,38	#8	0,0	0,0	0,0	100,0
1,19	#16	0,0	0,0	0,0	100,0
0,595	#30	26,9	8,69	8,7	91,3
0,297	#50	85,4	27,58	36,3	63,7
0,149	#100	133,9	43,24	79,5	20,5
0,074	#200	61	19,70	99,2	0,8
pasa 0,074	pasa #200	2,5	0,81	100,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

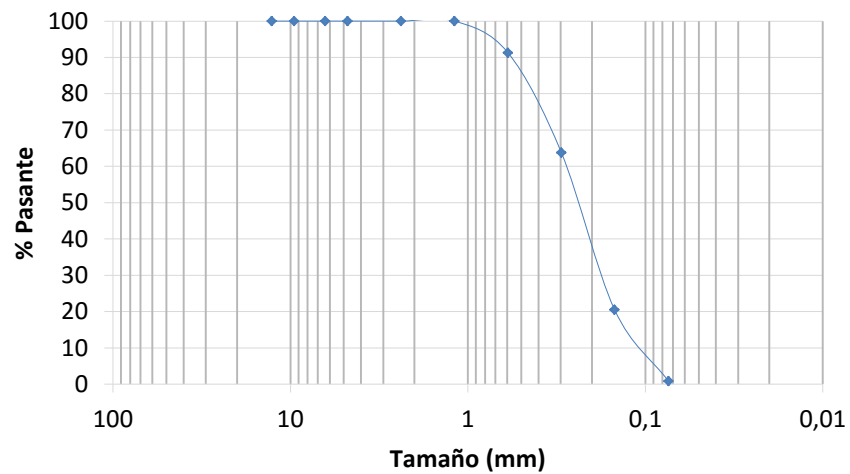


Figura 4- 1 Granulometría de la Sílice.

Fuente: Elaboración propia

IV.2) Evaluación de la translucidez en las muestras poliméricas

Se elaboraron pequeños cilindros (medidas indicadas en el marco metodológico) con resina epóxica cristal y las masas retenidas de arena en los tamices #50, #100 y #200. Luego de esto se realizaron las probetas cúbicas de concreto polimérico con un agregado monogranular retenido en el tamiz #200, por presentar menos asentamiento y crear una distribución más uniforme.

A través del software ANGSTROM METROLOGY se registró la intensidad de la luz que pasa por las muestras según el esquema establecido en el capítulo anterior. Todos los resultados fueron medidos en lux para 10 probetas (1 por cada dosificación) y expuestos a una misma intensidad de aproximadamente 1000 lux, según la siguiente tabla.

Tabla 4- 2 Resultados del luxómetro

Mezcla	% de Dosificación	Intensidad de luz (lux)
CP	-	804,68
S	10%	16,17
	12,5	10,00
	15%	6,00
CB	10%	0
	12,5	0
	15%	0
CB+S	10%	0
	12,5	0
	15%	0

Fuente: Elaboración propia

Según los datos recolectados, fue evidenciado que la muestra “CP” elaborada con resina únicamente, disminuye la intensidad de luz en aproximadamente un 20%, dejando pasar la luz con facilidad; mientras que, para las probetas “S” elaboradas con único agregado de

arena silícea, la iluminación se reduce en más de 98% para todos los porcentajes, presentando translucidez pero de forma muy tenue.

El resto de las muestras elaboradas solo con cemento blanco “CB” y cemento blanco más sílice “CB+S” no permitieron el paso de los rayos de luz a través de la cámara, presentando una lectura nula en el equipo. Bajo este contexto se puede concluir que la arena silícea retenida en el tamiz #200 a pesar de disminuir la segregación en las probetas, aumenta la opacidad en gran magnitud, mientras que el cemento blanco en altas o bajas proporciones, produce en cualquier caso una intensidad nula en las muestras.

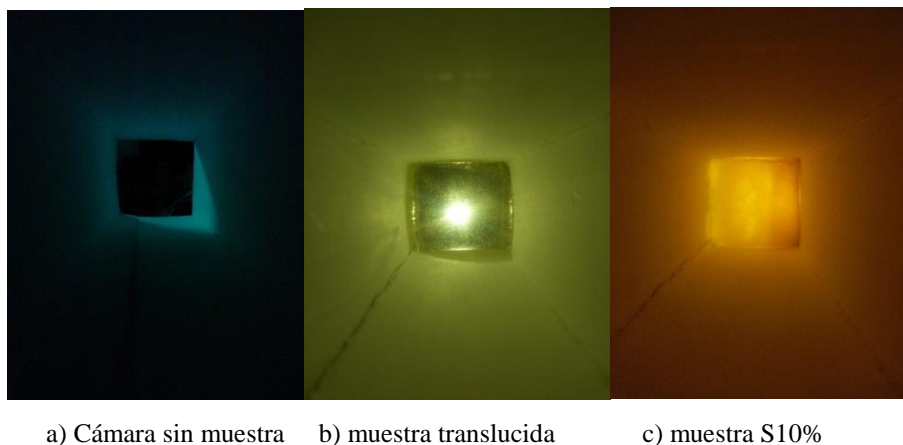


Figura 4- 2 Ensayo de Traslucidez

Fuente: Propia

IV.3) Evaluación de los tensiones axiales en probetas cúbicas de mortero convencional mediante el ensayo a compresión

Se realizaron los ensayos a compresión de probetas hechas con arena silícea, cemento gris y cemento blanco, contabilizando un total de 21 cubos los cuales se ensayaron a diversas edades, con el fin de recolectar valores de resistencia de modo referencial y poder compararlos con los esfuerzos obtenidos con las muestras hechas a base de polímero.

Tabla 4- 3 Resultados de tensión con cemento gris

IDENTIFICACIÓN	Edad (días)	Peso (gr)	Carga de rotura (kg)	Peso Unit (Kg/cm ³)	Tensión (Kgf/cm ²)	PROMEDIO (Kgf/cm ²)
MO1	1	271,8	1300	50,38	50,38	
MO1	1	272,2	1500	58,13	58,13	54,18
MO1	1	273,7	1400	54,14	54,04	
MO1	3	270,4	2800	108,50	108,50	
MO1	3	270,8	2900	112,15	111,93	112,08
MO1	3	271,1	3000	115,79	115,79	
MO1	7	273,8	3900	150,53	151,13	
MO1	7	275,2	4200	162,43	162,75	159,95
MO1	7	274,8	4300	165,65	165,97	
MO1	28	274,3	5100	196,46	196,08	
MO1	28	274,2	4800	185,27	184,54	189,92
MO1	28	276,4	4900	189,50	189,13	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4- 4 Resultados de tensión con cemento blanco

IDENTIFICACIÓN	Edad (días)	Peso (gr)	Carga de rotura (kg)	Peso Unit (Kg/cm ³)	Tensión (Kgf/cm ²)	PROMEDIO
MB1	7	277,4	4700	182,13	182,13	
MB1	7	277,0	4600	177,90	177,55	180,84
MB1	7	276,8	4700	182,13	182,84	
MB1	14	277,1	5900	228,18	228,63	
MB1	14	279,1	6400	248,49	248,98	237,68
MB1	14	277,0	6100	235,45	235,45	
MB1	28	279,2	8400	322,95	322,95	
MB1	28	278,3	8200	316,50	317,75	314,81
MB1	28	274,3	7900	288,92	288,35	

Fuente: Elaboración propia

Para el cemento gris y el cemento blanco se observó que los valores máximos de esfuerzo fueron 190 kgf/cm² y 315 kgf/cm² respectivamente. A partir de estos datos se pudo establecer los cubos con matriz de cemento blanco tiene una mejor resistencia en comparación con el cemento gris para (28) días de edad superando su valor en más de 50%, una de las

causas es por la alta calidad de los materiales que se emplean como materia prima en la creación del mismo.

IV.4) Análisis de las tensiones axiales en probetas cúbicas de concreto con matriz polimérica compuesto con arena de origen silíceo

Inicialmente de manera referencial se ensayó una probeta con 100% de polímero, obteniendo un esfuerzo máximo de 380 kgf/cm² y un módulo de elasticidad 3089 Mpa; así se estableció un punto de partida para conocer si los agregados favorecen o disminuyen la propiedades mecánicas de la resina epóxica cristal.



Figura 4- 3 Ensayo a compresión de cubo translúcido

Fuente: Propia

Se ejecutaron los ensayos a compresión donde las muestras presentaban una deformación considerable. Las primeras muestras ensayadas fueron las tipos “S” con arena silíceo, para los distintos porcentajes de 10%, 12,5% y 15%. Para todas las dosificaciones, el comportamiento alcanzado presenta una forma similar a los gráficos exhibidos en el marco teórico para estudios hechos de tensiones a tracción; presentando un esfuerzo de fluencia para luego superarlo y alcanzar un máximo absoluto.

Fueron analizados los datos obtenidos por las muestras polímero - sílice, de forma general, se presenta una tendencia en donde las curvas poseen comportamiento tenaz, es decir,

se evidencia una alta capacidad de deformación sin llegar a la rotura, en la siguiente gráfica se muestra los resultados de las distintas dosificaciones para la muestras tipo “S”.

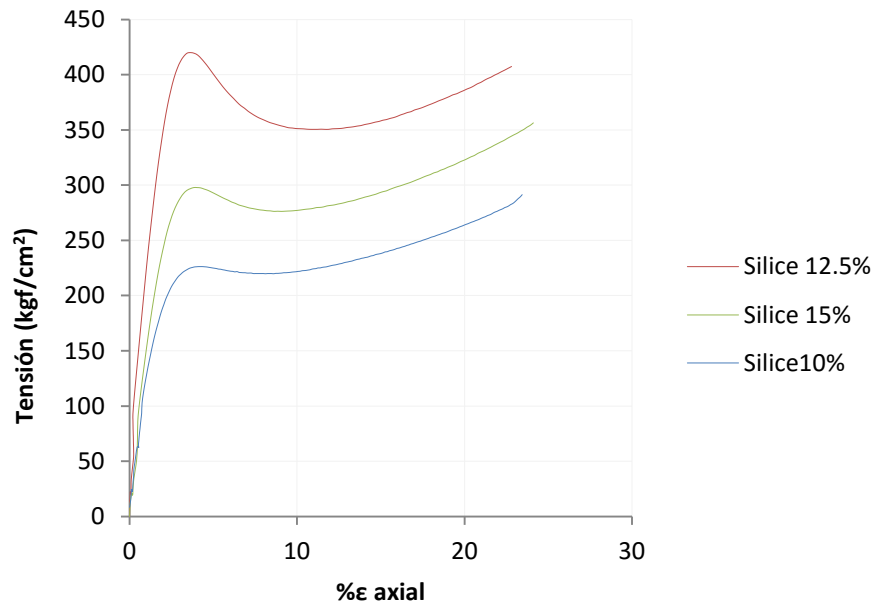


Figura 4- 4 Tensión – deformación para muestras tipo “S”

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar las gráficas de tensión – deformación para las diversas dosificaciones de sílice, presentan una conducta similar ante los esfuerzos, donde cada una de ellas alcanza la tensión pico en el valor del 4% de la deformación axial, en ese instante se presenta un máximo donde la pendiente es cero (0), y luego a partir de este punto el material llega a la deformación plástica recobrando resistencia. El mejor comportamiento se presentó en la dosificación de 12,5%, obteniendo una tensión de 420 kgf/cm² superando así, la resistencia patrón obtenida de la probeta elaborada solo con resina epóxica cristal.

La analogía entre las deformaciones axiales y transversales se presenta mediante la siguiente relación llamado coeficiente de Poisson. El comportamiento de los gráficos reflejó una tendencia lineal para todos los ensayos, en consecuencia el coeficiente de Poisson será

similar, para una constante promedio de (0,4), bajo este contexto se concluye que la muestras elaboradas con este polímero y sílice presenta una conducta resistente y tenaz. Siendo la dosificación óptima (12,5%) para la arena sílicea con respecto al peso de la resina ya que dosificaciones de (15%) disminuye la resistencia con respecto a la muestra patrón.

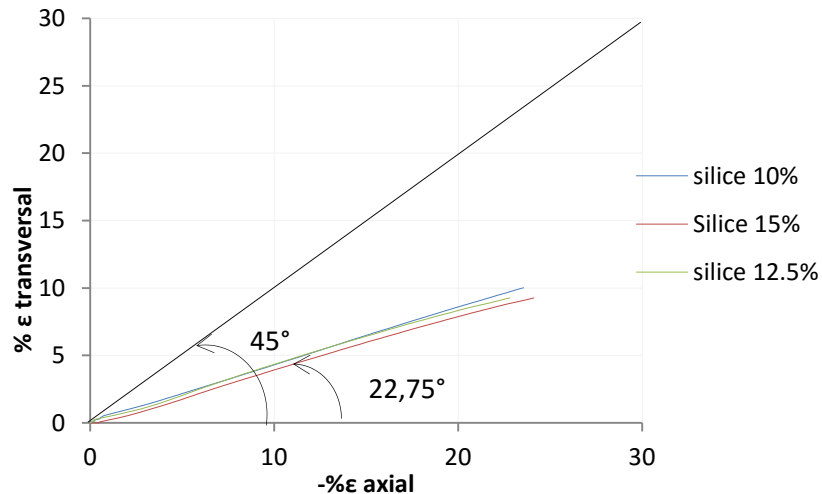


Figura 4- 5 % ϵ transversal - % ϵ axial muestras tipo "S"

Fuente: Elaboración Propia

En forma resumida se presenta en la Tabla 4-5 los resultados del comportamiento mecánico del concreto con matriz polimérica compuesto con arena sílicea:

Tabla 4- 5 Propiedades mecánicas de la muestras tipo "S"

Muestra	Dosificación	Peso (gr)	Tensión Max (kgf/cm ²)	Coefficiente de Poisson
Sílice	10%	148,0	291,35	0,424
	12,5%	152,2	419,97	0,420
	15%	156,4	276,08	0,412

Fuente: Elaboración propia

IV.5) Análisis de las tensiones axiales en probetas cúbicas de concreto con matriz polimérica compuesto con cemento blanco

Para las muestras “CB” se obtuvo un comportamiento similar que las muestras tipo “S”, es decir, se observó que las curvas tenían un máximo relativo y luego llegaba un máximo de rotura. Es importante destacar que para las dosificaciones de 10% se realizaron los ensayos a compresión sin el uso de potenciómetros, por ende la gráficas tensión – deformación se reflejaron solo para porcentajes de 15% y 12,5%.

Del ensayo a compresión se obtuvo la siguiente gráfica:

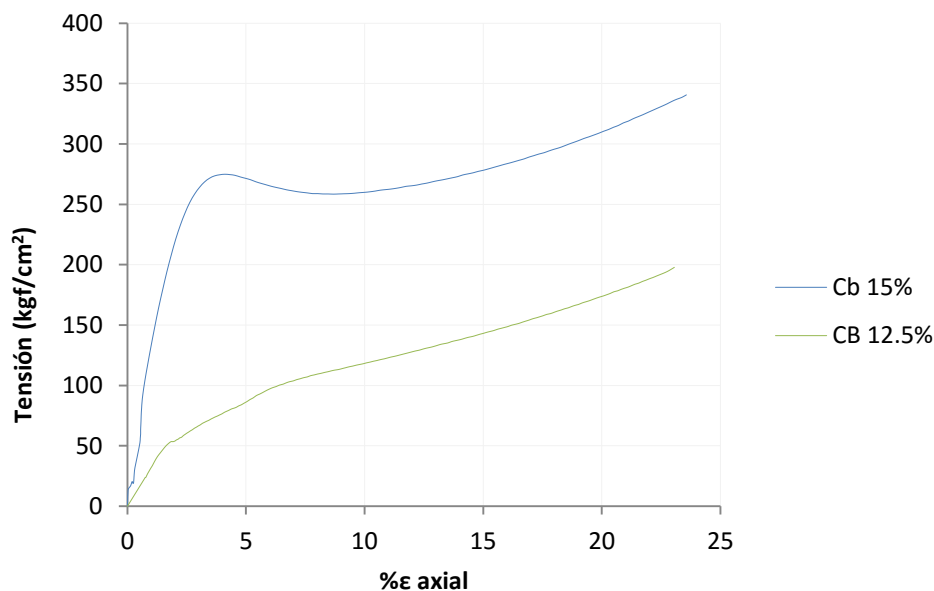


Figura 4- 6 Tensión – deformación para muestras tipo “CB”

Fuente: Elaboración Propia

De las tablas y graficas obtenidas se puede definir que de las tres dosificaciones estudiadas (10%, 12,5% y 15%) con cemento blanco, la formulación óptima se presenta con un 15% con una resistencia aproximada de 341 kgf/cm² presentando un máximo relativo de 275 kgf/cm², bajo este contexto, se observa que este tipo de agregado no mejora las

propiedades de la resina por sí sola, pero es superior respecto a los resultados de las muestras referencial de mortero blanco.

Concluidos todos los ensayos a compresión se obtuvo las siguientes características mecánicas.

Tabla 4- 6 Propiedades mecánicas de la muestras tipo “CB”

Muestra	Dosificación	Peso (gr)	Tensión Max (kgf/cm²)	Coefficiente de Poisson
Cemento blanco	10%	150,1	215,51	-
	12,5%	154,5	202,15	0,410
	15%	153,0	340,61	0,391

Fuente: Elaboración propia

IV.6) Análisis de las tensiones axiales en probetas cúbicas de concreto con matriz polimérica compuesto con cemento blanco más sílice

Se mezcló la resina epóxica cristal con cemento blanco más sílice y adicionalmente se realizaron muestras de resina con sílice más fibra, creando las muestras tipo “CB+S” y “CPF”. En la Tabla 4-7 se reflejan los resultados obtenidos.

Tabla 4- 7 Propiedades mecánicas de la muestras tipo “CB+S” y “CPF”

Muestra	Dosificación	Peso (gr)	Tensión Max (kgf/cm ²)	Coefficiente de Poisson
Cemento Blanco + sílice	10%	155,4	319,65	0,348
	12,5%	158,3	561,90	0,411
	15%	159,8	316,06	0,381
Fibra de polipropileno + sílice	10%	154,3	251,98	0,448
	12,5%	149	284,77	0,444
	15%	155,2	369,06	0,430

Fuente: Elaboración propia

Finalizados los ensayos de compresión axial al que fueron sometidas las probetas cúbicas, se presentan las gráficas producto de dichas mediciones:

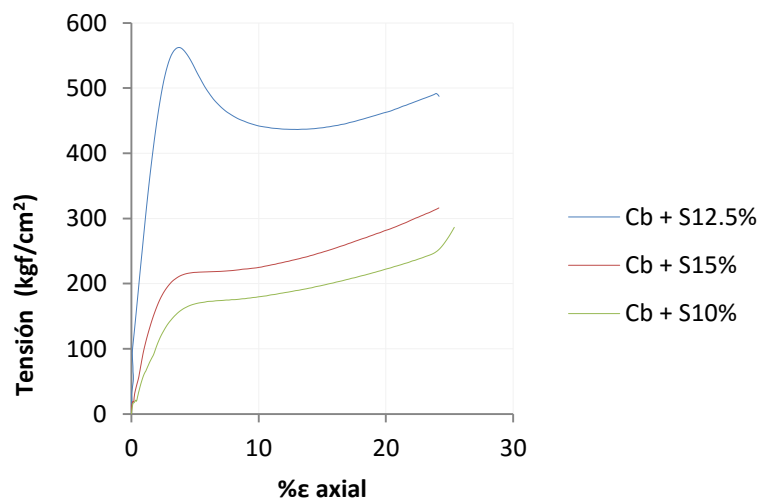


Figura 4- 7 Tensión – deformación para muestras tipo “CB + S”

Fuente: Elaboración Propia

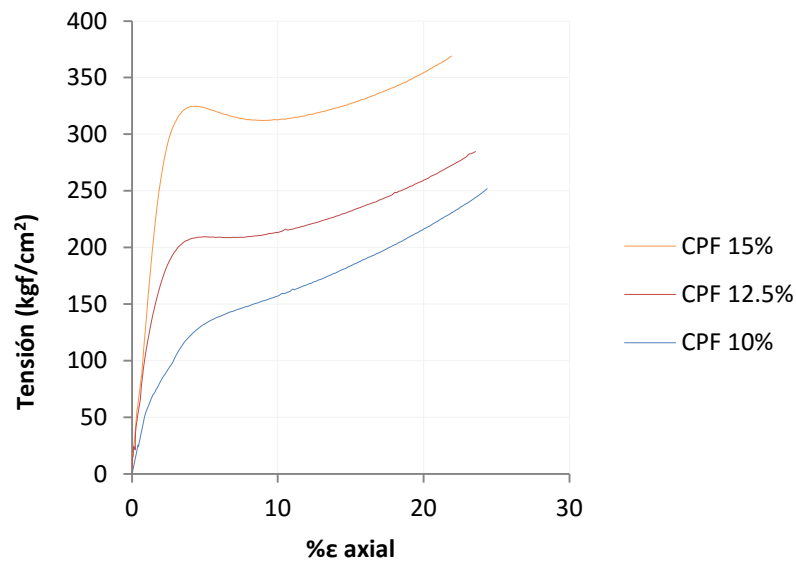


Figura 4- 8 Tensión – deformación para muestras tipo “CPF”

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que las muestras presentaron distintos valores de resistencia por la variación de dosificación de los agregados, mientras mayor sean la resistencia a los esfuerzos mayor rigidez tendrá el material, además, la variación de magnitud entre las curvas se ve afectada por las velocidades de deformación, si se aumenta la velocidad, la magnitud de estas curvas también crece.

Para las muestras “CB+S” se obtuvo el mismo comportamiento que las muestras tipo “S”, es decir, la dosificación óptima se presentó para el porcentaje de 12,5%, exhibiendo una resistencia mayor de 560 kgf/cm^2 , aumentando la resistencia a compresión en un 30% con respecto a la muestra elaborada solo con resina. Al igual que las muestras hechas sólo de arena silíceas, el valor máximo se presentó en un único pico, es decir, no hay presencia de un máximo relativo. El resto de las dosificaciones 15% y 10% de CB+S presentó valores inferiores a las muestras tipo “S” y presentando picos relativos.

De manera referencial, las muestras “CPF”, reflejaron un comportamiento similar al de todas las demás probetas presentaron un valor máximo de 370 kgf/cm^2 evidenciando una dosificación óptima de (15%), se demuestra entonces que la fibra de polipropileno en porcentaje de adición (1%), no tiene mayor influencia en la mezcla de concreto polimérico

Analizando todas las muestras y graficando las tensiones máximas obtenidas según los porcentajes de adición de los agregados se evidenció que la mayor resistencia ante un esfuerzo a compresión fue la combinación de cemento blanco con sílice, siendo inclusive el valor máximo entre todas las mezclas y dosificaciones como se presenta en el siguiente gráfico.

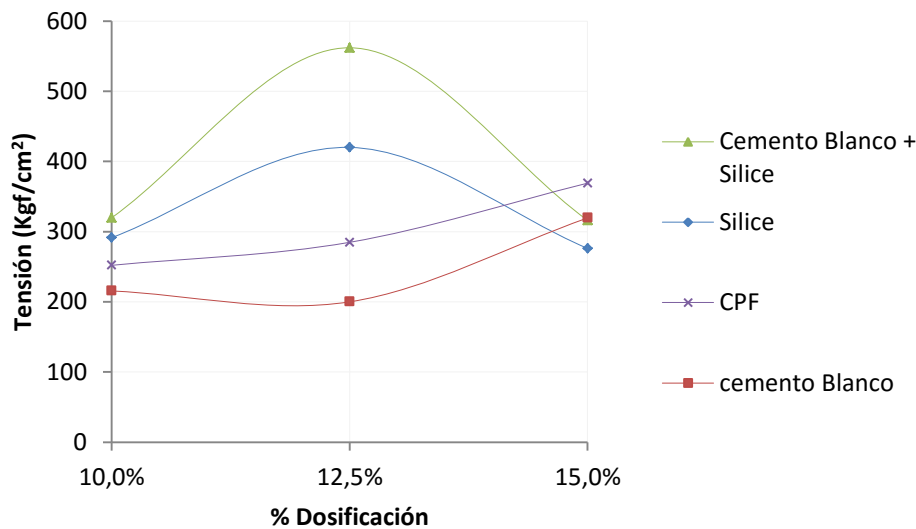


Figura 4- 9 Resultados de tensiones por dosificaciones

Fuente: Elaboración Propia

Se pudo observar en la mayoría de los casos que las dosificaciones óptimas corresponden para los porcentajes de 12,5% de los distintos tipos de muestra, pero el valor de resistencia a compresión mayor se registró para la probeta “CB+S” de 12,5% reflejando una tensión total de 560 kgf/cm^2 . Con respecto a la translucidez, es importante destacar que esta muestra no registro ninguna lectura ante la medición de intensidad de luz, en este sentido, si lo

que se busca es una muestra resistente y que a su vez sea capaz de permitir el paso de luz, la mejor opción sería la muestra tipo “S” con una dosificación de 12,5%.

En términos generales se puede observar que las curvas estudiadas presentan una tendencia, en donde inicialmente el esfuerzo es proporcional a la deformación, desarrollándose un rango lineal y verificándose la Ley de Hooke. Cuando la deformación crece la pendiente de la curva disminuye hasta alcanzar un máximo donde la pendiente es nula, este punto citado anteriormente en el marco teórico se conoce como punto de fluencia (σ_y) el cual según los resultados obtenido, fue de forma relativo o absoluta; superando en muchos casos el valor de la muestra patrón, el mortero convencional y cemento blanco. Bajo esta óptica se puede corroborar la altas resistencias a compresión y pensar en la resina epóxica cristal como un material tangible a ser usado en la construcción nacional.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

La preparación manual de las probetas poliméricas no provocó gran variedad de los resultados en el producto final, se realizaron diversas dosificaciones con un margen de error pequeño por eso se aceptan los resultados dado.

En la evaluación de las propiedades mecánicas de las probetas realizadas con polímeros y sílice variando la dosificaciones se pudo determinar que, la arena silícea es un árido fundamental, ya que aumenta la resistencia de la resina cristal en más de un 10%, modificando las propiedades mecánicas en forma positiva pero presentando un leve asentamiento en las muestras para un tamaño máximo de partículas retenido en el tamiz #200, además de disminuir en un 98% la translucidez de la resina cristal, bajo este contexto se concluye entonces que a menor tamaño partícula ocurrirá menor segregación en las muestras pero se incrementara la opacidad en la mismas.

El cemento blanco por si solo a pesar de arrojar excelentes valores en la mezcla de morteros convencionales en el orden de los 300 kgf/cm²; es un agregado que disminuye la resistencia en la matriz polimérica, además de aumentar la opacidad en las muestras de manera tal que no permite el paso de la luz para ninguna de sus dosificaciones (10%, 12,5% y 15%)

Al combinar el cemento blanco con arena silícea para las probetas tipo “CB+S”, se crea un material compuesto que mitiga el asentamiento del agregado fino y mejora la resistencia a compresión, alcanzando valores más altos que los obtenidos al adicionar los áridos por separado para las muestras tipo “CB” y “S”. Este comportamiento se presentó para la dosificación (12,5%) ya que al aumentar el porcentaje de agregados a un (15%), se reflejaron valores menores a los obtenidos anteriormente.

Finalmente se puede establecer que la formulación estudiada de polímero más sílice a una dosificación de 12,5% posee altas resistencias que pueden ser alcanzadas a los 7 días, por ende, este concreto polimérico puede ser usado en la construcción nacional, además de ser más ligero posee la capacidad de permitir el paso de la luz, siendo este una propiedad interesante para nuevas construcciones enfocadas al ahorro de energía. Es importante destacar que a pesar de las ventajas planteadas, este material no puede ser utilizado a nivel estructural, solo a nivel arquitectónico, debido a sufrir notables deformaciones bajo la acción de altos esfuerzos.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Se recomienda que al utilizar la arena silíceo, debe ser secada al horno, ya que los polímeros son sensibles a la cantidad de humedad que contengan los áridos, afectando negativamente las características mecánicas del mismo

Para las probetas poliméricas que tenían dos (2) tipos de agregado como las “CB+S” (cemento blanco más sílice), se tuvo que establecer una dosificación constante, en este caso fue el cemento blanco con un porcentaje de (2%), bajo este contexto, se deben realizar estudios con mayores dosificaciones para evaluar una formulación óptima que permita el ahorro del polímero y mejora de las propiedades mecánicas.

La mayoría de concretos poliméricos se ven reforzados con fibras de distintos orígenes, a nivel de este trabajo solo se realizaron muestras con fibra de polipropileno rizado en bajas proporciones (1% de peso de la resina), bajo esta óptica, se deben ampliar los estudios de los polímeros reforzados para así obtener correlaciones más de la resina epóxica estudiada y materiales de refuerzo.

Es necesario para este polímero realizar investigaciones de ensayos bajo cargas a largo plazo y estudios de esfuerzos a tracción y a flexión, para obtener correlaciones más precisas con los estudios realizados a compresión, evaluando así la factibilidad de esta resina para la construcción nacional en otras áreas.

BIBLIOGRAFÍA

Normas:

- COVENIN 255:1998. *Agregados. Determinación de la composición granulométrica.* Caracas, Venezuela.
- COVENIN 256:1977. *Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto (Ensayo Colorimétrico).* Caracas, Venezuela.
- COVENIN 484:1993 *Cemento Portland. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros, en probetas de 50,8mm de lado.* Caracas, Venezuela.
- International Organization for Standardization. (2012). *527-1:2012. Plastics - Determination of tensile properties - Part 1: General principles.*

Libros Consultados:

- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición).* México: International Thomson.
- Castro, W., Paredes, L., & Santeliz, M. (2014). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un mortero polimérico no convencional.* Lara, Venezuela: UCLA.
- Crawford, R. (1998). *Plastics Engineering (Third Edition).* Oxford, Inglaterra: Elsevier.
- Garas, V., & Vipulanandan, C. (2003). *Review of Poliéster Polymer Concrete Properties.* Texas, Estados Unidos: Universidad de Houston.
- Guadalupe Lugo García. (2007). *La juventud y la tecnología, Construcción y Tecnología en Concreto. N.* México: IMCYC.

- Porrero, J., Grases, & G. Velazco. (2004). *Manual del Concreto Estructural. Conforme con la Norma COVENIN 1753:03. (1era Edición)*. Caracas, Venezuela: SIDETUR.
- Rodríguez Mendez, M. L., De Saja Saez, J. A., & Rodríguez Pérez, M. A. (2005). *Materiales, Estructura, propiedades y aplicaciones*. España: Thomson.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. (4ta Edición)*. FEDUPEL.

Publicaciones:

- CONACYT. (12 de Agosto de 2015). *Concreto Translúcido*. Obtenido de <http://www.conacyt.mx/comunicacion/agencia/notas-vigentes/>
- Di Falco de Parisi, D. (2008). *Propuesta de una mezcla de concreto traslúcido para la elaboración de elementos estructurales*. Zulia, Venezuela: Universidad Rafael Urdaneta.
- Duran, G., & Losada, A. (2013). *Diseño de mezcla de concreto experimental con un asentamiento de 5", con el uso de un aditivo para concreto celular translúcido*. Nueva Esparta, Venezuela: UNE.

ANEXOS

En el Trabajo realizado fueron obtenidos resultados que permitieron llegar las conclusiones del mismo.

A continuación se muestran una serie de gráficas que permiten visualizar el comportamiento de cada muestra.

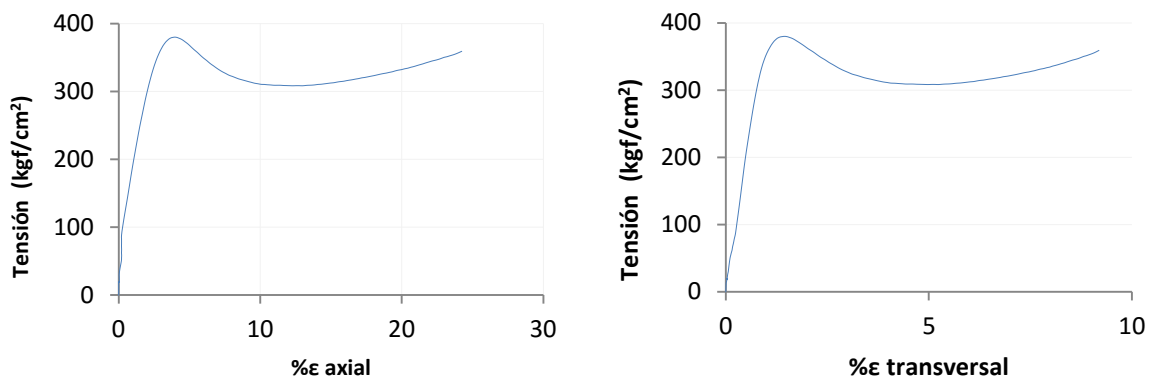


Figura A- 1 Tensión – deformación para muestra Patrón CP

Fuente: Elaboración Propia

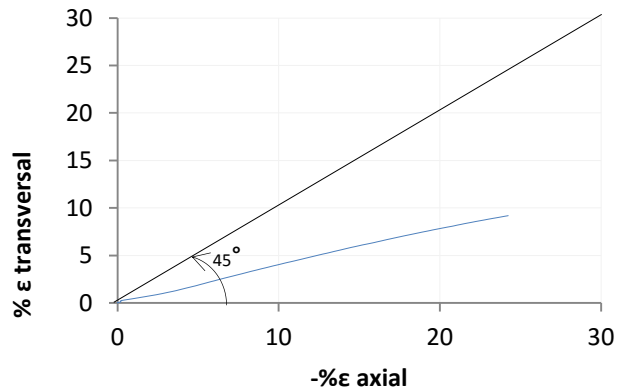


Figura A- 2 % ε transversal - %ε axial muestra patrón CP

Fuente: Elaboración Propia

Representación gráfica de curvas Tensión-Deformación por Dosificación:

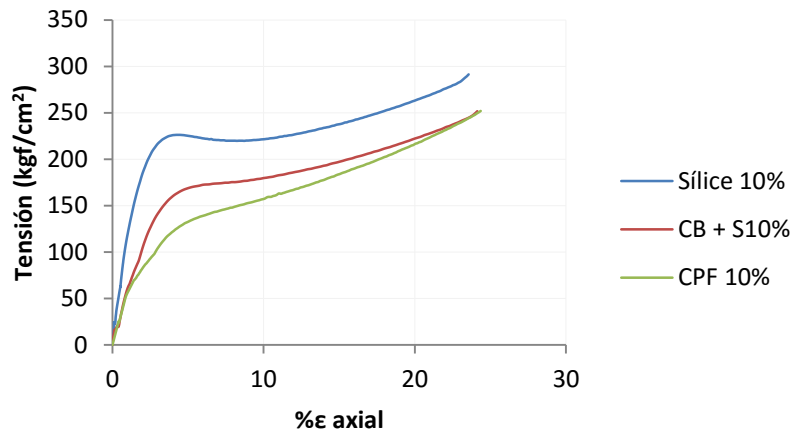


Figura A- 3 Tensión – Deformación para dosificación 10%

Fuente: Elaboración Propia

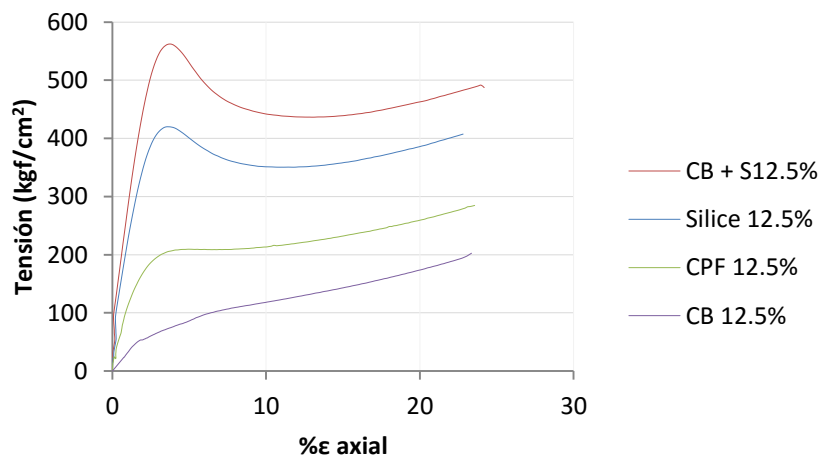


Figura A- 4 Tensión – Deformación para dosificación 12.5%

Fuente: Elaboración Propia

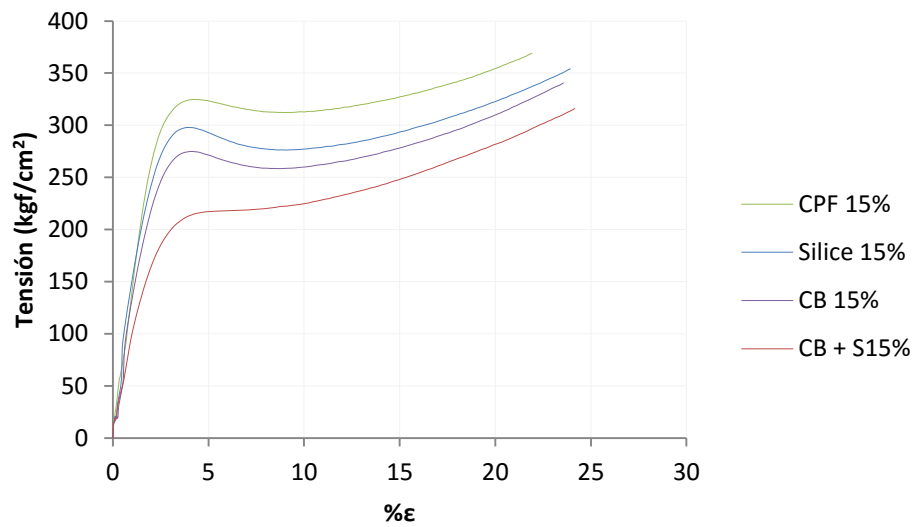


Figura A- 5 Tensión – Deformación para dosificación 15%

Fuente: Elaboración Propia

Representación gráfica de la correlación entre la deformación transversal y la deformación axial con respecto a la dosificación utilizada.

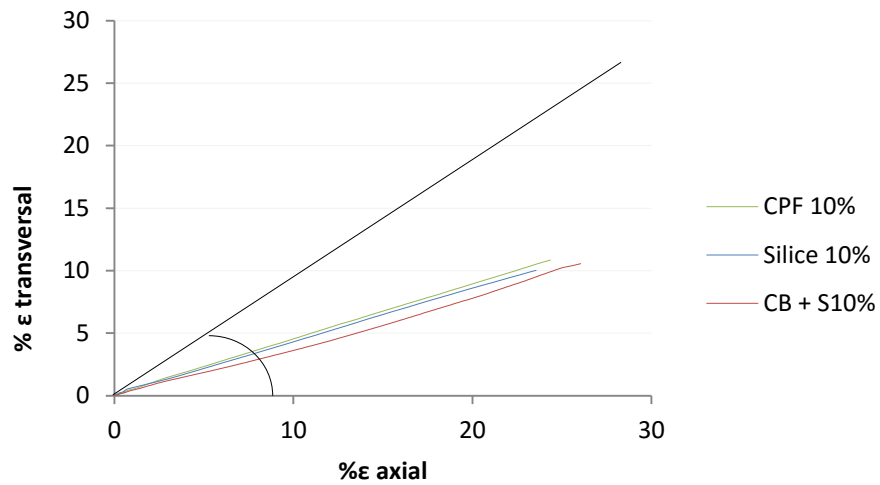


Figura A- 6 Deformación transversal - Deformación axial para muestra de 10%

Fuente: Elaboración Propia

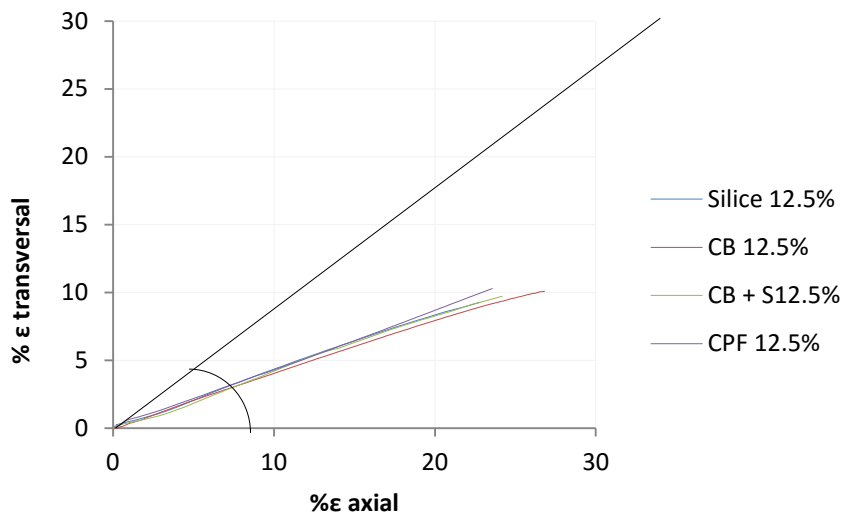


Figura A- 7 Deformación transversal - Deformación axial para muestra de 12.5%

Fuente: Elaboración Propia

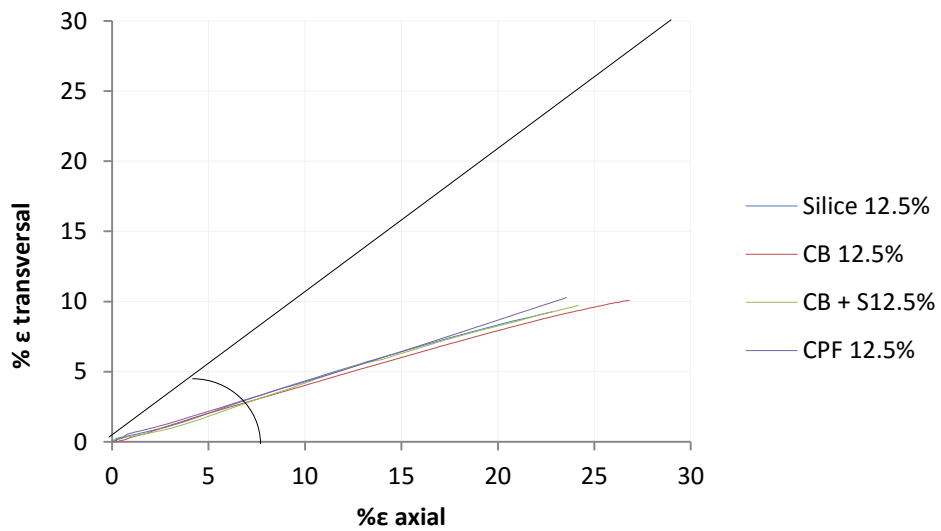


Figura A- 8 Deformación transversal - Deformación axial para muestra de 15%

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestran las intensidades de luz registradas en el luxómetro para el ensayo de traslucidez por cada muestra.

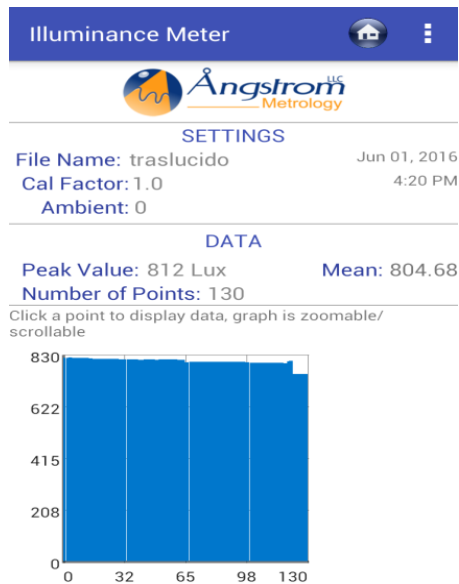


Figura A- 10 Muestra de Polímero (CP)

Fuente: Angstrom Metrology

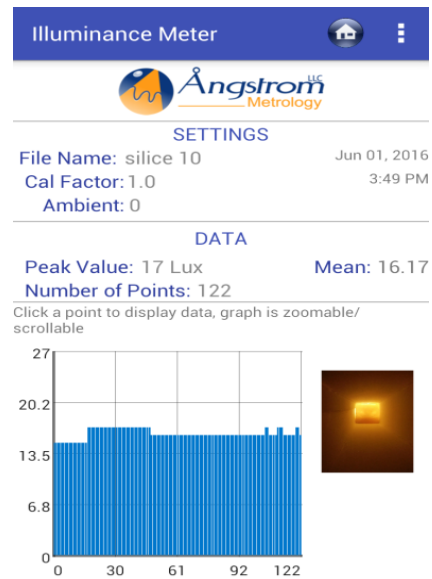


Figura A- 9 Muestra de Polímero + Sílice 10%

Fuente: Angstrom Metrology

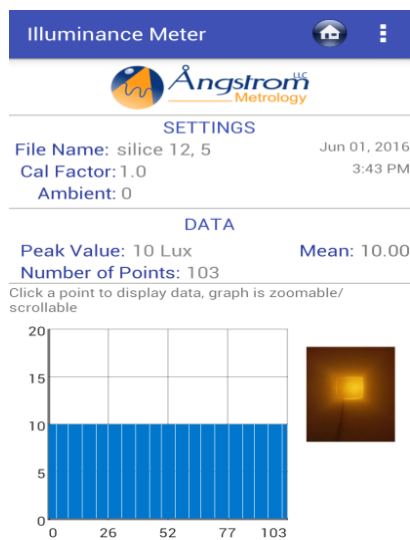


Figura A- 12 Muestra Polímero + Sílice 12.5%

Fuente: Angstrom Metrology

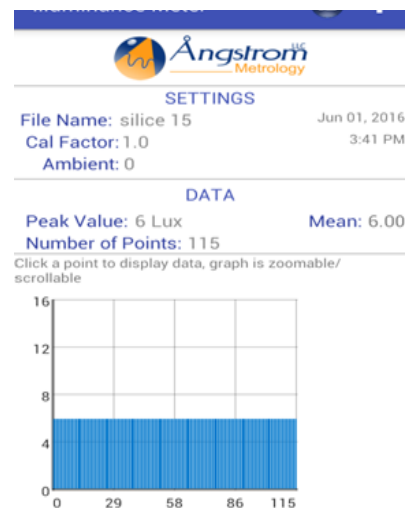


Figura A- 11 Muestra Polímero + Sílice 15%

Fuente: Angstrom Metrology



Figura A- 13 Preparación de concreto polimérico

Fuente: Propia



Figura A- 14 Muestra de concreto polimérico con sílice tipo “S” y “CP”

Fuente: Propia