

# Estudio del porcentaje de baquelita y ABS reciclados en la sustitución del agregado fino en las mezclas de concreto para su utilización en elementos no portantes

MOISÉS OCAMPO FERNÁNDEZ, MARÍA FERNANDA GONZÁLEZ PÉREZ, FRANCISCO AXEL HERNÁNDEZ OLIVARES

**Resumen**— En esta investigación se pretende encontrar un porcentaje óptimo de Baquelita y ABS para la sustitución del agregado natural fino (arena), con porcentajes de quince, treinta, cuarenta, cincuenta y sesenta por ciento, lo anterior, con el objetivo de generar una parte de sustentabilidad en el ámbito de la construcción. Por otro lado, se busca reutilizar estos materiales con la finalidad de que tengan mayor tiempo de uso, dando así un beneficio al medio ambiente; ya que estos son en su mayoría componentes computacionales, y no son utilizados después de su vida útil. Así mismo, se busca lograr que los materiales candidatos funcionen en conjunto con los agregados del concreto, de esa manera, proporcionen una resistencia por lo menos igual o mayor a la necesaria para el uso cotidiano del concreto ( $f'c =$  doscientos cincuenta kilogramos sobre centímetro cuadrado). Para lo anterior se llevó a cabo un análisis granulométrico, tanto de los agregados finos como los agregados gruesos, como de los polímeros reciclados, para poder utilizarlos como material de refuerzo en el concreto. De igual manera se fabricaron probetas de tres x tres x tres cm y con ellas se realizaron pruebas de compresión en un periodo de siete, catorce, veintiuno y veintiocho días de fraguado. Los resultados obtenidos después de la realización de las pruebas mecánicas (compresión) sugieren que la sustitución del quince por ciento de Baquelita presentó una resistencia máxima de ciento treinta y cinco kilogramos sobre centímetro cuadrado, siendo este resultado el mayor en comparación con el resto de las otras probetas con los diferentes porcentajes de sustitución y para el caso del ABS, con el treinta por ciento de sustitución presentó una resistencia de sesenta y siete kilogramos por centímetro cuadrado. Dicha resistencia puede ser utilizada en construcciones que no sean portantes o de baja carga en estructuras, por ejemplo: banquetas de bajo perfil, calles primarias y calles secundarias. También puede ser usado en las paredes de división o muros divisorios, pisos de casas y losa aligerada, entre otros.

MARÍA FERNANDA GONZÁLEZ PÉREZ Y FRANCISCO AXEL HERNÁNDEZ OLIVARES pertenecen a la carrera INGENIERÍA CIVIL de la ESCUELA DE INGENIERÍA y realizaron el proyecto dentro del curso de Comportamiento de los Materiales (Email: maria.gonzalez@lasallep.mx).

El proyecto fue asesorado por DR. MOISÉS OCAMPO FERNÁNDEZ  
Los autores agradecen a: La Universidad La Salle Pachuca

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es el resultado de residuos inadecuados mal gestionados en países altamente poblados como Nigeria, India, Brasil, entre otros, donde se utilizan materiales de plásticos en el embalaje. La generación de residuos en estos países es alta y el manejo que se le llega a dar es algo mínimo. Una de las formas de gestionar estos residuos es la reutilización de materiales de desecho [1].

De todo el mundo, México, con sus más de 30 millones 733 mil toneladas al año de basura (84 mil 200 toneladas diarias) ocupó en el año 2000, el décimo lugar entre los países que más basura generan en el mundo [2]. Es alarmante la cantidad de basura que se desperdicia en nuestro país, teniendo en cuenta que las cifras se han ido incrementando con el paso del tiempo. Cabe resaltar, que, a la fecha, son pocas las acciones que se hacen para poder crear un cambio sobre el desperdicio desmedido de artículos desechables.

Una forma de aprovechar la basura, hablando de plásticos, dentro del ámbito de la construcción, es sustituyendo los materiales convencionales y tratándose de los agregados finos (arena), por plásticos, tales como lo son la Baquelita y el ABS.

Dicho esto, se conoce, que existen polímeros que pueden sustituir a los agregados finos dentro de la mezcla del concreto, tales como el polipropileno [3], PET [4] y caucho [5]; no asegurando mantener la resistencia del concreto para cargas elevadas, pero con la posibilidad de implementarse en construcciones que resistan cargas mínimas.

## II. CONCEPTOS BÁSICOS

**ABS:** Por sus siglas en inglés (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), es un plástico muy resistente al impacto, utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos. Es un termoplástico amorfo.

**Baquelita:** por su composición química es hidróxido de polioxibenciletilenglicol, polímero proveniente de las tarjetas de computadoras.

**Mezcla de concreto:** homogenización de los agregados finos y gruesos, junto con agua.

**Agregados finos y gruesos:** Dentro de la mezcla de concreto se tienen varios tipos de componentes, (arena, grava y cemento).

En la parte de los agregados finos están la arena y cemento; para los agregados gruesos, es la grava.

Probetas: son elementos utilizados para la experimentación en las pruebas de compresión del concreto.

### III. METODOLOGÍA DE PROPUESTA

#### Objetivo general

Determinar la viabilidad del uso de desechos tales como: ABS y Baquelita para aumentar las propiedades mecánicas del concreto convencional y además generar sustentabilidad en el sector de la construcción y también obtener un producto ecológico 100% sustentable.

#### Objetivos específicos.

- Recolectar el ABS y Baquelita de computadoras en desuso.
- Triturar los polímeros recolectados.
- Realizar análisis granulométrico de los polímeros triturados.
- Realizar las mezclas de concreto con la sustitución de los porcentajes respectivos a cada uno de los materiales reciclados.
- Elaborar cinco probetas de dimensiones tres por tres por tres cm, para, posteriormente, hacer pruebas de compresión.
- Realizar pruebas de compresión a las probetas del concreto puro y a las probetas de concreto con materiales reciclados, con la finalidad de determinar la resistencia máxima, la deformación y el módulo de Young, en los diferentes periodos de tiempo de fraguado establecidos.

#### Justificación.

Los polímeros propuestos para la experimentación tienen una resistencia mecánica alta, por lo cual, se espera que sean excelentes candidatos para reemplazar al agregado fino en el concreto. Además, estos materiales tienen un proceso de biodegradabilidad lenta, por lo que podrían utilizarse dentro de una construcción, sin que ésta se vea afectada.

#### Fundamentos teóricos.

Paula Dávila Mercado (2010), en su proyecto de grado de la Universidad Nacional Autónoma de México, titulado “Efecto de la Adición de Fibras Sintéticas sobre las Propiedades Plásticas y Mecánicas Del Concreto”, determinó que el índice de grietas disminuye a mayor cantidad de monofilamentos no fibrilados en la mezcla, obteniendo una reducción cercana al 62% para una dosificación de 1 kg/m<sup>3</sup> [6].

Con los resultados de este estudio, se puede constatar que el uso de agregados finos distintos a la arena, podría ser una solución eficaz en cuanto a las grietas se refiere.

Barros y H. Ramírez (2012), en su trabajo de grado de la Universidad Central de Ecuador – Quito, titulado “Diseño de Hormigones con Fibras de Polipropileno para Resistencias a la Compresión de 21 y 28 Mpa con Agregados de la Cantera de Pifo”, obtuvo, luego de comparar el comportamiento mecánico del hormigón con agregados y sin agregados, que la concentración adecuada de fibra de polipropileno es del 0.13% del volumen del hormigón, es decir 1.2 kg de fibra por cada metro cúbico de hormigón, además de encontrar ligeros

incrementos de resistencia a la compresión del 4% y 16% para 21 Mpa y 28 Mpa, respectivamente [7].

#### Antecedentes del problema.

Con la inclusión de polímeros sustituyendo agregados finos en la industria de la construcción se podría dar una solución tanto a la parte del cuidado del medio ambiente como para la reducción de costos dentro de las obras civiles.

Sachin et al. (2012) expresaron el hecho de que, para cumplir con los requisitos de la globalización, en la construcción de edificios y otras estructuras, el concreto desempeña un papel fundamental y una gran cantidad de este está siendo utilizada. La arena, que es uno de los constituyentes utilizados en la producción de concreto convencional, se ha vuelto costosa y también escasa. En el contexto de un entorno tan sombrío, hay gran demanda de materiales alternativos a partir de residuos industriales.

#### Diseño de técnicas de recolección de información.

La dosificación del concreto consiste en generar una proporción adecuada entre materiales activos (cemento y agua) y materiales inertes (grava y arena) para obtener como resultado una resistencia determinada de acuerdo con las especificaciones del estudio.

En cuanto a los materiales inertes, el análisis granulométrico de la grava y de la arena es de vital importancia para que el concreto adquiera ciertas propiedades de resistencia, entre otras. La determinación de la granulometría del agregado fino y grueso se hace mediante el método para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños por medio de cribas, como se menciona en la norma NMX-C-077-0NNCCE, la cual habla sobre el porcentaje que pasa del agregado fino por tres diferentes cribas con sus respectivas medidas (dos punto treinta y seis y cuatro punto setenta y cinco milímetros), aquel porcentaje que logra pasar, se toma en cuenta a partir de 100gr y 500gr recolectados, respectivamente. Todo material que pase por la última criba dispuesta será el utilizado para la elaboración de las probetas.

Para la dosificación del concreto de esta investigación, se realizó mediante una escala de los materiales activos e inertes que integran al concreto, buscando cumplir con las especificaciones marcadas por la proporción correspondiente del concreto.

Para la prueba de la resistencia máxima del concreto, se eligió un concreto con  $f'c$  = doscientos cincuenta kilogramos sobre centímetro cuadrado, y se adaptaron las proporciones considerando un agregado grueso máximo de diecinueve milímetros, con una escala de uno: dos. Dadas las dimensiones de la probeta de acuerdo con las especificaciones de la Máquina Universal a utilizar, en la Tabla 1 se muestra cada uno de los tamices para poder hacer uso tanto de la arena como de la grava y gracias a ello, es como se consideró la granulometría para el concreto mostrada en la Tabla 2, que representa las proporciones necesarias para la elaboración del concreto convencional y que sirva de análisis para esta investigación.

Tabla 1. Granulometría considerada para la elaboración del concreto.

Tipo de Suelo	Tamiz (ASTM)	Tamiz (mm.)	Abertura real (mm.)
Grava	3/8"	10	9.52
	N° 4	5	4.76
Arena	N° 10	2	2.00
	N° 20	0.9	0.84
	N° 40	0.5	0.42
	N° 60	0.3	0.25
	N° 140	0.1	0.105

Las dosificaciones para el concreto fueron dispuestas de acuerdo con la Tabla 2 para realizar la investigación, usando así una escala aproximada a la escala real, permitiéndonos manipular de mejor manera las probetas de concreto convencional y realizar las pruebas de compresión y alcanzar la resistencia propuesta ( $f'c$  = doscientos cincuenta kilogramos sobre centímetro cuadrado).

Tabla 2. Dosificación del concreto.

Cemento (kg.)	Arena (kg.)	Grava (kg.)	Agua (lts.)
0.4	0.77	1.4	0.2

Una vez calculadas las proporciones del concreto, se seleccionaron los materiales reciclados a utilizar, posteriormente, los polímeros de desecho se trituraron hasta que su tamaño alcanzó el adecuado para así poder sustituir la arena. En el caso de la Baquelita y el ABS fue de cinco milímetros.

Ya triturados los polímeros y los moldes listos se proceden a mezclar los materiales. Se deben hacer probetas tanto de concreto sin partículas de polímero como probetas con partículas de polímero con la finalidad de comparar los valores de resistencia a la compresión.

Los materiales mezclados fueron: cemento, una porción de agua, grava, arena y el sustituto (en su caso), utilizando las proporciones previamente calculadas; las proporciones para cada porcentaje de sustitución se muestran en la Tabla 3.

Para la elaboración de las probetas, se fabricaron moldes de madera donde se obtuvieron cubos de dos distintos tamaños, con espaciamentos para colar cinco probetas, uno con dimensiones de cinco x cinco x cinco centímetros, éste considerando la norma mexicana NMX-C-109-ONNCCE-2013, y el otro molde de tres x tres x tres centímetros. La norma habla sobre el tipo de cabeceado que se le debe dar a especímenes que no estén planos con una tolerancia de cero punto cinco milímetros y de igual forma enuncia la manera adecuada para el curado del concreto, el cual no debe de sufrir vibraciones durante doce horas después de haber realizado los especímenes. Así mismo es

importante mencionar que los moldes tienen que ser cubiertos por placas rígidas para evitar pérdidas del mortero.

En total se fabricaron cuarenta y cinco probetas suficientes para realizar pruebas a los siete, catorce, veintiuno y veintiocho días, ésta última fecha es el día en el que el concreto alcanza comúnmente su resistencia máxima. Para objeto de este análisis sólo se tomaron en cuenta las pruebas realizadas a las probetas de menor tamaño (tres por tres por tres centímetros), ya que se tienen datos más precisos y completos.

Tabla 3. Dosificaciones en kg para la elaboración de concreto considerando un 15, 30, 45 y 60% de sustitución de material convencional por material reciclado.

Material agregado (kg.)	Porcentaje de sustitución	Cemento (kg.)	Arena (kg.)	Grava (kg.)	No. de muestras
Concreto	---	0.4	0.77	1.4	5
ABS	0.12	15%	0.4	0.53	1.4
	0.23	30%	0.4	.54	1.4
	0.35	45%	0.4	0.42	1.4
	0.46	60%	0.4	0.31	1.4
Baquelita	0.12	15%	0.4	0.53	1.4
	0.23	30%	0.4	.54	1.4
	0.35	45%	0.4	0.42	1.4
	0.46	60%	0.4	0.31	1.4

### Pruebas de Compresión.

La mezcla se colocó en los moldes previamente aceitados, esto con el objetivo de que la mezcla no se adhiriera y al desmoldarlo no existan pérdidas de material, al hacer el colado de la mezcla es necesario tener cuidado de vibrar correctamente el material para así eliminar cualquier espacio libre y tener las probetas en un estado óptimo para su estudio.

Posterior al colado se deja fraguar el material por lo que se debe desmoldar al día siguiente, se tienen que colocar las probetas en un recipiente con suficiente agua como para cubrir las, éste es un proceso de curado que se le hace al concreto para que alcance sus características de cohesión y humedad óptima. Pasado los siete días se selecciona una probeta y se somete a pruebas de compresión en una máquina universal. Este mismo procedimiento se realizó también a los catorce, veintiuno y veintiocho días.

Las pruebas de compresión que se realizaron a cada una de las probetas se llevaron a cabo en el laboratorio de materiales ubicado en la escuela de Ingeniería en la Universidad La Salle Pachuca.

El procedimiento para las pruebas de compresión fue el mismo para cada una de las probetas. Una vez calibrada la máquina se colocó la probeta en la mordaza del equipo, ya colocada la

probeta se ingresaron las medidas de las probetas en la computadora, después se inició a la prueba.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Teniendo los resultados de todas las pruebas realizadas a las probetas se realizó un análisis comparativo entre la resistencia del concreto normal con las probetas que contienen agregados reciclados, para determinar qué muestra tiene las mejores propiedades mecánicas.

Las primeras probetas realizadas para tener un punto de comparación fueron las de concreto sin agregado de desechos reciclados, las cuales se comprimieron a los siete, catorce, veintiuno y veintiocho, el dato relevante para el análisis es el esfuerzo de fractura dado en kilogramo sobre centímetro cuadrado, los datos se muestran en la Tabla 4, así como se muestra el diagrama de esfuerzo deformación en el Gráfico 1.

Tabla 4. Resultados de cada día de prueba para el concreto convencional.

Día	7	14	21	28
$\epsilon$ (deformación)	13.25	39.88	33.70	30.41
$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	139.4723	120.6645	187.85	250.13

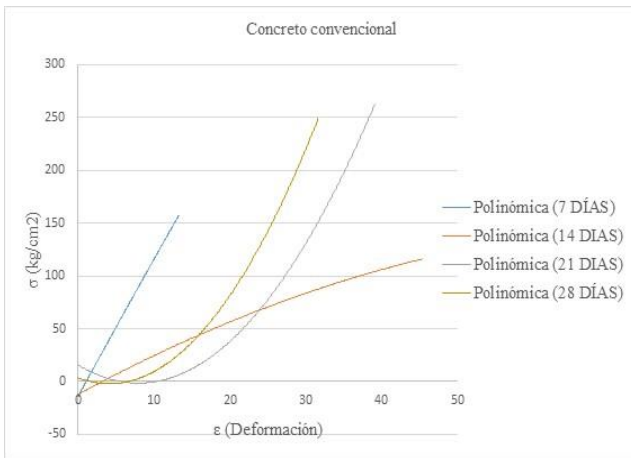


Gráfico 1. Diagrama esfuerzo-deformación de concreto convencional, a los 7, 14, 21 y 28 días.

Es notorio el comportamiento de un concreto convencional, gracias a las pruebas realizadas dentro del laboratorio, constatando que su resistencia máxima y la deformación correspondiente se alcanza hasta el día veintiocho, teniendo como resultado doscientos cincuenta kilogramos sobre centímetro cuadrado con una deformación de treinta punto cuarenta y uno. Mientras tanto, las demás gráficas, en el caso de la de veintiocho y veintiuno días, muestran las mismas pendientes, haciendo saber que de igual forma tienen un gran valor de rigidez.

Los siguientes gráficos son resultado de la elaboración de las probetas con la sustitución del agregado fino

Para la parte de la Baquelita, se obtuvieron los siguientes resultados,

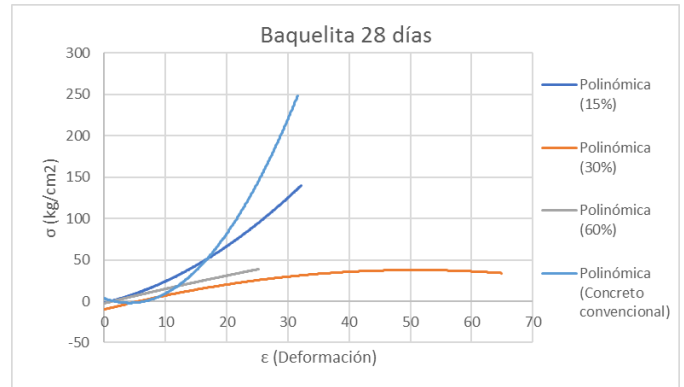


Gráfico 2. Diagrama esfuerzo-deformación de concreto del día 28 teniendo como sustituto a la baquelita con porcentajes de 15%, 30%, 45% y 60%.

Tabla 5. Resultados de cada porcentaje sustituido en la mezcla del concreto a los 28 días.

Porcentaje	15%	30%	45%	60%
$\epsilon$ (deformación)	32.38	55.33	0.58	25.22
$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	135.16	68.66	59.93	35.68

A partir de la unión de las gráficas a los veintiocho días de fraguado de cada porcentaje, se pudo diferenciar cuál de ellos podría ser el más adecuado para su uso en la práctica. Cabe resaltar, que se llegaron a asemejar las pendientes de algunos casos, polinómicas de sesenta por ciento y quince por ciento, brindando así conocimiento sobre su tipo de rigidez y de igual forma, su grado.

Dentro de la tabla se especifica con mayor claridad cuál es el porcentaje que mejor logró adecuarse a las características que ofrece el concreto como una mezcla homogénea. Tomando los datos de quince por ciento con resistencia de ciento treinta y cinco punto dieciséis kilogramo sobre centímetro cuadrado, con una deformación de treinta y dos punto veintidós, la de treinta por ciento con veinticinco punto treinta y tres kilogramo sobre centímetro cuadrado, con una deformación de sesenta y cuatro punto treinta y tres, la de cuarenta y cinco por ciento con cincuenta y nueve punto veintidós kilogramo sobre centímetro cuadrado, con una deformación de veinticinco punto treinta y tres y las de sesenta por ciento con treinta y cinco punto treinta y ocho kilogramo sobre centímetro cuadrado, con una deformación de veintidós punto veintidós, resulta sencillo percatarse del cambio drástico que se presenta tanto en un porcentaje como en otro, logrando constatar que la más adecuada sustitución es la de quince por ciento, con una resistencia máxima de ciento treinta y cinco punto dieciséis kilogramo sobre centímetro cuadrado, en el caso de la baquelita. Contiene un módulo de elasticidad de tres kilogramos sobre centímetro cuadrado.

En el caso del ABS se obtuvo lo siguiente,

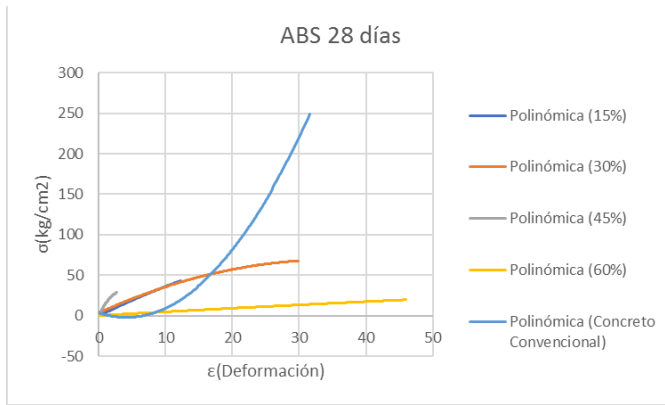


Gráfico 3. Diagrama esfuerzo-deformación de concreto del día 28, teniendo como sustituto al ABS, con porcentajes de 15%, 30%, 45% y 60%.

Tabla 6. Resultados de cada porcentaje sustituido en la mezcla del concreto a los 28 días.

Porcentaje	15%	30%	45%	60%
ε(deformación)	10.56	29.37	1.87	43.33
σ (kg/cm <sup>2</sup> )	45.99	70.47	52.9	26.28

Debido a la unión de las gráficas a los veintiocho días de fraguado de cada porcentaje, se puede notar cuál de ellos podría ser el más adecuado para su uso en la práctica. Cabe resaltar, que se llegaron a asemejar las pendientes de algunos casos, brindando así conocimiento sobre su tipo de rigidez y de igual forma, su grado.

Dentro de la tabla se observa con mayor claridad cuál es el porcentaje que mejor logró adecuarse a las características que ofrece el concreto como una mezcla homogénea. Tomando los datos de quince por ciento con resistencia de treinta y cinco punto treinta y cuatro kilogramo sobre centímetro cuadrado, la de treinta por ciento con sesenta y siete punto cero siete kilogramo sobre centímetro cuadrado, la de cuarenta y cinco por ciento con veintiocho punto ochenta y ocho kilogramo sobre centímetro cuadrado y las de sesenta por ciento con veintiuno punto cero siete kilogramo sobre centímetro cuadrado, existe mayor facilidad para percatarse del cambio drástico que se presenta tanto en un porcentaje como en otro, logrando constatar que la más adecuada sustitución es la de treinta por ciento, con una resistencia máxima de sesenta y siete punto cero siete kilogramo sobre centímetro cuadrado, en el caso del ABS.

Contiene un módulo de elasticidad de tres punto cinco kilogramos sobre centímetro cuadrado para la del treinta por ciento.

### V. CONCLUSIONES

Los resultados, en cuanto a la resistencia máxima del ABS y la Baquelita que son tomados en consideración son: Para la Baquelita, el porcentaje de sustitución del quince por ciento es el más favorable de acuerdo a las pruebas, que tiene una resistencia máxima de ciento treinta y cinco punto dieciséis

kilogramos sobre centímetro cuadrado y para el ABS, el treinta por ciento de sustitución, que tiene una resistencia del sesenta y siete punto cero siete kilogramos sobre centímetro cuadrado, los cuales podrán ser bien aprovechados en construcciones que no sean portantes, como por ejemplo, para banquetas de bajo perfil, calles primarias y calles secundarias, ya que al no transitar carga pesada por las banquetas, no habría ningún problema hacer uso del ABS y de la Baquelita dentro de la mezcla del concreto. También puede ser usado en las paredes de división o muros divisorios, ya que cumple con la resistencia necesaria, pisos de casas de y losa aligerada, entre otros.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la totalidad de las pruebas realizadas, a lo largo de esta investigación, existe la posibilidad de hacer uso de los materiales reciclados como sustitutos con buena adherencia dentro de la mezcla del concreto, los cuales, se aseguran de brindar una mayor resistencia a la mezcla, sin mucha variación, a comparación del concreto convencional. Cabe resaltar que esto podría ser un gran beneficio tanto para el medio ambiente, en cuanto a la reducción de basura, para un mejoramiento de los ecosistemas, así mismo para la construcción, que podría innovar la forma en cómo se ha estado elaborando el concreto.

El desarrollo de este estudio aportó conocimientos de acuerdo con los temas desarrollados en la carrera de ingeniería civil, haciendo hincapié en la materia de comportamiento de materiales en donde se hace un mayor análisis de la importancia de comprobar las propiedades y límites de resistencia de los materiales utilizados en la industria de la construcción, igualmente nos da un compromiso ético y de responsabilidad social en la selección de materiales.

### REFERENCIAS

- [1] J.O. Akinyele, R.O. Hassan. (abril 2015). *Partial replacements of fine aggregate with polypropylene fibers in reinforced concrete slabs*. Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering, VIII, 124.
- [2] Mora J. A. (2004). *El problema de la basura en la Ciudad de México*. 2019, mayo 20, de Fundación de Estados Urbanos y Metropolitanos. Sitio web: [http://www.paot.mx/contenidos/paot\\_docs/pdf/basura\\_df.pdf](http://www.paot.mx/contenidos/paot_docs/pdf/basura_df.pdf)
- [3] Espinoza, C., *Estudio de la fibra sintética de polipropileno en las fisuras por retracción plástica de losas aligeradas de concreto con resistencia f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> y f'c= 245 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Huancayo 2017* (Tesis de titulación). Universidad Continental, Facultad de Ingeniería.
- [4] Reyna, C. *Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería.
- [5] Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Bravo, A.J., Guevara, H. (2008). *Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas*. Revista de la Facultad de Ingeniería, 1, 67-75.
- [6] Dávila, M. P., *Efecto de la adición de fibras sintéticas sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- [7] Barros, V., & Ramírez, H., *Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Pifo* (Tesis de titulación). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería.