

Utilización de Residuos Sintéticos para Mejorar Las Capacidades de Materiales para Construcción

J. Rentería-Soto*¹, J.R. Betancourt-Chavez², A.T. Espinoza-Fraire³, J.A. Sáenz-Esqueda⁴.

Resumen—Las llantas en desuso generan contaminación al medio ambiente dado que impulsan la propagación de plagas y son muy peligrosas si se produjera un incendio, dada su naturaleza es complicado apagarlas, la quema incontrolada de las llantas genera sustancias cancerígenas, también los residuos plásticos del proceso de reciclado, son desaprovechados debido a la falta de un uso específico para ellos, por lo que son desechados causando un problema de contaminación debido a que tienen una biodegradación aproximada de 100 años. La investigación plantea la utilización de los residuos para mejorar la capacidad del concreto, ya que es uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción, se diseñó una mezcla de concreto y se modificó con la adición de fibras de caucho y polipropileno en diferentes porcentajes en relación del cemento, se elaboraron las mezclas y se ensayaron a edad de 7, 14 y 28 días, se analizó el comportamiento de la mezcla en estado fresco y la resistencia a la compresión y se revisó la incidencia de ambos desechos sobre las mezclas de concreto, obteniendo que no afecta la trabajabilidad y en algunos casos mejora la resistencia.

Palabras claves—Residuos plásticos, caucho sintético, contaminación, concreto.

Abstract— The disused tires generate pollution to the environment since they promote the spread of pests and are very dangerous if a fire were to occur, given its nature it is difficult to extinguish them, the uncontrolled burning of the tires generates carcinogenic substances, also the plastic waste of the recycling process, they are wasted due to the lack of a specific use for them, so they are discarded causing a contamination problem because they have an approximate biodegradation of 100 years. The research proposes the use of waste to improve the capacity of concrete, since it is one of the most used materials in the construction industry, a concrete mixture was designed and modified with the addition of rubber and polypropylene fibers in different percentages in relation to the cement, the mixtures were elaborated and they were tested at ages of 7, 14 and 28 days, the behavior of the mixture in fresh state and the resistance to compression was analyzed and the incidence of both residues on the concrete mixtures was checked, obtaining that it does not affect the workability and in some cases improve compressive strength.

Keywords—Plastic waste, synthetic rubber, pollution, concrete.

I. INTRODUCCIÓN

El principal factor que define la vida útil de una llanta es la distancia que recorre, siendo medida en kilómetros (km), normalmente es de 50 000 [1]. Reutilizar los neumáticos representa además de evitar la gran acumulación, ahorrar petróleo para la fabricación de nuevos, para la fabricación de un neumático de coche normal se necesitan 32 litros de petróleo crudo, mientras que para el reacondicionamiento de uno se necesitan 11 litros, una llanta de camión (que es mucho más grande) requiere 100 litros y para uno reciclado 32 litros aproximadamente, que constituye un ahorro entre el 30 % y el 50 % de material [2].

El término plástico, tiene un origen griego que significa “que puede ser moldeado por el calor”. Los plásticos también son comúnmente llamados polímeros en virtud de que son productos orgánicos, a base de carbono, con moléculas de cadenas largas [3]. El polipropileno es un polímero que se emplea en la fabricación de numerosos envases de alimentos, tales como bandejas, bolsas, envoltorios, etc. [4]. En el caso del polipropileno, y de algunos otros plásticos, tienen resultados negativos de biodegradación según estudios realizados por algunos autores [5]-[7].

En la actualidad se enfrentan retos importantes en la industria de la construcción, siendo el concreto el encargado de cubrir gran mayoría de estos retos ya que es el material más importante en esta industria. El concreto es una mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua [8]. Tiene dos principales clasificaciones, concreto simple y concreto reforzado, el segundo es aquel que se emplea con algún elemento extra para aumentar sus propiedades o resistencia [9]. En [10] se presenta un estudio del efecto de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto fresco y endurecido, los autores reportan que las fibras modifican de manera positiva la mayoría de los factores observados. En [11] desarrollaron una investigación sobre la adición de perlita y fibras de polipropileno en yeso, los principales resultados obtenidos

^{1,2,3,4} Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Av., Universidad s/n Fracc. Filadelfia de Gómez Palacio, Dgo. CP. 35010. *juan.renteria@ujed.mx.

son que no disminuye la resistencia, disminuye la densidad y la resistencia a la flexión aumenta. El reporte presentado en [12] contiene el estudio de una mezcla de concreto adicionado con fibras de polipropileno, se observó el nivel de adherencia que se presenta entre la matriz cementante y las fibras, obteniendo que con 2.5% de fibras y otro aditivo se logran resultados favorables de adherencia.

La presente investigación contempla el desarrollo de una mezcla de concreto convencional y reforzarlo adicionándole fibras sintéticas de polipropileno y caucho de llantas, ambos materiales son residuos del proceso para la reutilización, pero debido a que al cortar las piezas de polipropileno la sierra acumula fibras de diferente tipo, mezclándolas y haciendo imposible la reutilización, en el caso de las fibras de caucho, el proceso de reacondicionamiento de los neumáticos da como residuo las fibras. En ambos casos las partículas sobrantes son desechadas siendo un potencial contaminante para el medio ambiente.

El objetivo de la investigación es mejorar la capacidad a compresión del concreto sin afectar las características en estado fresco para no afectar la colocación, utilizando materiales de desecho y disminuir la afectación al medio ambiente.

II. METODOLOGÍA

Se elaboró una mezcla de concreto simple y se agregaron fibras de desecho, se fabricaron las mezclas con distintos porcentajes y se midieron las propiedades en el laboratorio de materiales.

A. Materiales

Se utilizaron agregados provenientes de la región de la Comarca Lagunera de Durango. La arena se procesó para cumplir con la granulometría ya que directamente de banco no tiene las características correctas de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE-1997. los materiales son los siguientes:

- Agua
- Cemento CPC 30R Cemex
- Agregado grueso, grava de caliza triturada
- Agregado fino, arena de río

Se diseñó la mezcla para una resistencia de 150 kg/cm², revenimiento de 15 cm ± 2.5cm. El diseño inicial fue para un metro cúbico (Tabla I) de acuerdo al método de volumen absoluto que presenta el Portland Cement Association (PCA) [14]. Tomando como base la mezcla se agregaron fibras en distintos porcentajes. Siendo para el polipropileno adiciones de 5%, 10% y 15% y para el caucho se

consideraron solo 10% y 15%. Los porcentajes añadidos fueron en función del peso del material cementante.

TABLA I
AGREGADOS PARA MEZCLA

Agregados	Cantidad (kg)
Agua	200.00
Cemento	270.00
Grava	959.40
Arena	769.94

En total se fabricaron 6 mezclas de 0.10 m³ cada una, mezcla base (M1), dos con caucho 10% (M2) y 15% (M3) y tres con polipropileno 5% (M4), 10% (M5) y 15% (M6). De la cantidad fabricada se realizaron las pruebas en estado fresco y se elaboraron los especímenes y se curaron en inmersión total en agua para obtener la resistencia a la compresión a la edad de 7, 14 y 28 días.

III. RESULTADOS

Se le efectuaron pruebas en estado fresco a cada mezcla elaborada, los resultados se presentan en la Tabla II, donde se enlistan de M1 a M6, los factores medidos son: revenimiento, temperatura y densidad de la mezcla.

El revenimiento se encuentra dentro de los valores aceptables según el PCA [14], a excepción de la mezcla con 5 % de adición de caucho la cual presenta un valor muy por debajo del valor de diseño. La temperatura no presentó variación en ninguna de las mezclas, en cuanto a la densidad, sí presenta diferencias en su medición, la mezcla sin algún tipo de agregado presenta el valor más alto, mientras que las mezclas M2 Y M4 que tienen el mismo porcentaje de adición presentan diferencia, siendo más pesada la mezcla con polipropileno, pero por solo 14.6 kilogramos, comparando las mezclas M3 y M5 que tienen 10% de adición pasa lo contrario se vuelve más pesada la mezcla con caucho. La mezcla M6 es la más ligera de las 6, siendo 3.68 % menor que la mezcla base.

TABLA II
RESULTADOS EN ESTADO FRESCO

	%	Revenimiento (cm)	Temperatura (°c)	Densidad (kg/m ³)
Base	0	17	28	2232.21
Caucho	5	8	29	2212.94
	10	15	28	2190.46
Polipropileno	5	15	29	2227.54
	10	17	30	2170.27
	15	17	30	2150.06

Se fabricaron dos cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura para cada edad en cada una de las mezclas, siendo un total de 36 cilindros. Las tablas 3, 4 y 5 contienen el

resultado a la compresión medio del ensayo de los dos cilindros para edades de 7 días, 14 días y 28 días respectivamente.

Para la edad de 7 días la Tabla III contiene los resultados, deben aproximarse al 75% de la resistencia de diseño, la mezclas sin agregado extra y las dos mezclas con caucho si cumplen con esta premisa pero las mezclas con polipropileno no. A los 14 días las mezclas deben obtener por lo menos el 85%, los resultados para las mezclas mostrados en la Tabla IV, tienen la misma tendencia, solo las tres mezclas que cumplieron a la primera edad también lo hacen a esta edad. Para los 28 días las mezclas M1, M2, M3 Y M4 alcanzan el 100% de la resistencia de diseño, los resultados se presentan en la Tabla V.

TABLA III
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 7 DÍAS

Mezcla	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M1	118.42	78.94%
M2	123.52	82.34%
M3	119.06	79.37%
M4	63.66	42.44%
M5	50.92	33.95%
M6	38.19	25.46%

TABLA IV
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 14 DÍAS

Mezcla	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M1	138.19	92.13%
M2	146.44	97.63%
M3	132.43	88.29%
M4	101.85	67.90%
M5	114.59	76.39%
M6	120.95	80.63%

TABLA V
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS

Mezcla	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M1	152.80	101.87%
M2	164.26	109.51%
M3	150.26	100.17%
M4	159.15	106.10%
M5	133.43	88.95%
M6	127.32	84.88%

La variación en la densidad reportada en la Tabla II, se produce debido a que el peso de los agregados sintéticos que conforman las mezclas es inferior al de los agregados pétreos, disminuyendo a medida que se incrementa el porcentaje de adición de las fibras.

La Figura 1 contiene un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de los cilindros, en la cual se observa que a la edad de 7 días las mezclas con polipropileno presentan una tendencia descendente, a mayor porcentaje de fibras menor es la resistencia, para las mismas mezclas a los 14 días la tendencia es lo contrario al anterior, a mayor porcentaje mayor resistencia, pero a los 28 días de edad los

resultados se vuelven a comportar como a la edad de 7 días. La variación de los resultados se puede atribuir a que a temprana edad las fibras no tienen suficiente adherencia con la pasta del concreto y se comportan sin resistencia alguna, las mezclas con caucho tienen un comportamiento más uniforme, ascendente en las 3 edades, pero comparando las mezclas M2 y M3 se observa que la mezcla con el 5% de adición desarrolla mejores resultados, superiores a los obtenidos en la mezcla M1.

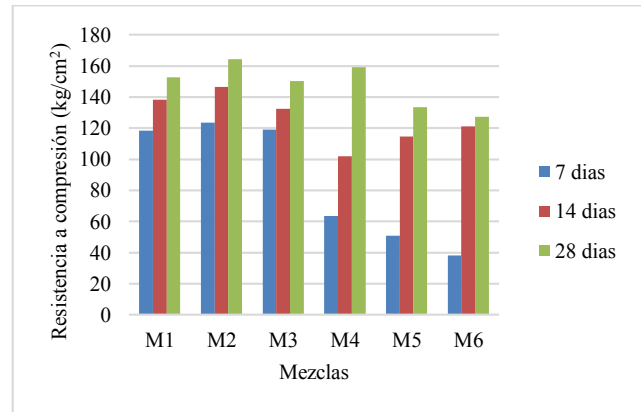


Figura 1. Resistencia a la compresión.

IV. CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos se concluye que en estado fresco no se afectan las propiedades, y las fibras ayudan a disminuir el peso volumétrico del concreto a mayor porcentaje de fibras menor es la densidad. La capacidad a compresión no se ve afectada con fibras de caucho, en las tres edades tabuladas para porcentajes de 5% y 10% pero la primera presenta resultados superiores concluyendo que con 5% de fibras de caucho es posible disminuir el peso del concreto y mejorar los resultados a la compresión. El concreto con fibras de polipropileno no puede ser empleado para edades tempranas ya que tiene valores de resistencia muy desfavorables, pero en adiciones del 5% a 28 días de edad si mejora la resistencia. Para ambos materiales es posible emplearlos con 5% de adición en función del material cementante ya que disminuye la densidad y mejora la resistencia, aunado a esto se beneficia el medio ambiente por darle uso a los desechos.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango por el apoyo para la realización de la investigación. Se extiende un especial agradecimiento al personal del laboratorio de la misma facultad por el apoyo en la realización de las pruebas.

VI. REFERENCIAS

- [1] Sánchez Juan, R. (2012). "Segunda vida de los neumáticos usados." *Química Viva*, 11 (1), 24-39.
- [2] Flores, D. (2013). "Diseño, fabricación y caracterización de aplicaciones constructivas de hormigones de consistencia seca con adiciones de materiales de procedencia orgánica e inorgánica de neumáticos fuera de uso (NFUs)," tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España.
- [3] Pérez, J. G. (2014). "La industria del plástico en México y el mundo." *Comercio exterior*, 64(5), 6.
- [4] *Plastivida Argentina* (1997). *Ecoplast*, 1(4), 27 pp.
- [5] Müller R.-J., Deckwer W.-D. (2000). "Biologically degradable polymers." *GBF Annual Report 1999-2000*, edit. por Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig, Alemania, 35-54.
- [6] Lombardi C.C., Cavalcante M.S., Gregori R.E. (1978). "Estudo comparativo de biodegradabilidade no solo de alguns países e plásticos utilizados em embalagens comerciais." En: *Actas del III Congresso Brasileiro de Limpeza pública-I Congresso Pan-Americano de Limpeza pública*, Sao Paulo, Brasil, 22 al 25 de agosto, 19 pp.
- [7] Alonso, M. S., Viturro, C. I., Sueldo, M. G., Lozano, A. R., & Madregal, S. O. (2015). "Biodegradación de polipropileno: evaluación gravimétrica y por espectroscopia infrarroja." Universidad Nacional de Jujuy, Buenos Aires.
- [8] ACI Committee 318, 2014, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318S-14) and Commentary (318RS-14)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 587 pp.
- [9] IMCyC, 2008, "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto-Método de prueba", *El concreto en la obra PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES*, Instituto Mexicano de Cemento y del Concreto, pp 67-71, noviembre 2008.
- [10] Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (2011). "Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. Concreto y cemento." *Investigación y desarrollo*, 2(2), 35-47. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100003&lng=es&tlng=pt
- [11] García Santos, A. (2009). "Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido." *Materiales de Construcción*, 59(293), 105-124.
- [12] Santos, A. G., Rincón, J. M., Romero, M., Hernández-Crespo, M., & Morales, R. T. (2004). "Microestructura de un material compuesto basado en una matriz de cemento reforzado con fibras de polipropileno." *Materiales de construcción*, (274), 73-82.
- [13] NMX-C-077-ONNCCCE-1997. (1997). *Agregados para concreto análisis granulométrico y métodos de prueba*. Recuperado el 25 de septiembre de 2018
- [14] PCA, 2004, "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", *Portland Cement Association*, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004, 448 pp

VII. BIOGRAFÍA



Rentería-Soto Juan. Nació en Gómez palacio, Durango, México el 6 de noviembre de 1985. Estudió la licenciatura en ingeniería civil en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, obtuvo el grado de maestría en ingeniería civil en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en el año 2016 y actualmente estudia el doctorado en la Universidad Autónoma de Chiapas.

Trabajó en control de calidad para la empresa PRODEMEX de agosto del 2011 a julio del 2012 en la construcción de Centro Federal de Readaptación social en el ejido 6 de Octubre, Gómez Palacio, residente de obra para la misma empresa en la construcción del Hospital General de Gómez palacio en el 2016, realizó un intercambio de un semestre en la

UANL en el semestre B 2012 y una estancia de investigación en la UAM-AZC en el 2014. Desde agosto del 2016 trabaja como profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la UJED.

El MIC Rentería trabaja en la caracterización de propiedades mecánicas de nuevos materiales y comportamiento estructural.



Betancourt-Chávez Julio Roberto. Obtuvo el grado en la Universidad de Sonora a través del Doctorado en Ingeniería Civil CUMex en marzo de 2015, fue Jefe de Posgrado en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, durante el periodo comprendido de febrero de 2007 a septiembre de 2016. Perteneció al grupo de Investigación "Tecnología de la Construcción". Actualmente es profesor-investigador en la misma Facultad y trabaja en proyectos para el desarrollo de nuevos materiales en la construcción utilizando residuos como aditivos o sustitución de agregados. Ha participado en congresos a nivel Nacional e Internacional, también ha publicado artículos de investigación en revistas indexadas.



Espinoza Fraire Arturo Tadeo. Nació el 19 de abril de 1983 en Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de Ingeniería en Electrónica en la especialidad de Control Automático e Instrumentación en 2008 en el Instituto Superior de Lerdo, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Mecatrónica y Control en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 2011 y 2015 respectivamente.

Trabajó en la empresa Ingeniería Mexicana de Sistemas del 2007 al 2008, realizó estancias de investigación en el laboratorio Franco-Mexicano en el CINVESTAV Zacatenco en el 2010 y una estancia de investigación en la Université de Technologie de Compègne en el 2011 en Francia. Desde el 2017 labora como Profesor Investigador en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio Durango, México.

El Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire es parte del comité técnico internacional del International Conference on Unmanned Aircraft Systems y nivel C del sistema nacional de investigadores (SNI). Sus áreas de interés son: vehículos aéreos no tripulados, control lineal y no lineal, sistemas embebidos y aplicaciones con vehículos aéreos no tripulados.



Sáenz Esqueda José Armando. Nació en Gómez Palacio, Durango el 15 de julio de 1988. El historial académico es el siguiente:

- Ingeniero en Mecatrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2010.
- Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica y Control, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2013.

Doctor en ciencias por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el área de Mecatrónica y Control. Sus áreas de interés son: Control no Lineal, Robótica Móvil, Visión Artificial.

Dr. Sáenz es miembro de la Asociación Mexicana de Robótica.