

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



REVISIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DEL CONCRETO HIDRÁULICO ELABORADO CON ADICIONES DE PLÁSTICO RECICLADO

T E S I S

que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS

JOSÉ LUIS BELTRÁN ARMENTA

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ALEJANDRO MUNGARAY MOCTEZUMA
CODIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ MANUEL GUTIERREZ MORENO**

MEXICALI, B. C., A JUNIO DEL 2020

Resumen

Uno de los materiales mayormente usados para la construcción en México es el concreto, siendo un material que permite el crear elementos constructivos a través de él o ser parte de un sistema constructivo, contando con un gran potencial para ser mejorado e incorporado en el mercado debido a la demanda con la que cuenta.

Asimismo, el estudio ecológico y ambiental ha crecido de manera exponencial a través de los años, de manera muy puntual en el ámbito de los residuos plásticos contaminantes, influyendo en la creación de gran variedad de sistemas, programas y actividades de recolección, reutilización y reciclaje de residuos plásticos.

Con este estudio se busca ayudar al medio ambiente a través de la concientización de la importancia del reciclaje de plásticos para la obtención de una mezcla de concreto hidráulico con plástico que pueda ser utilizable para la construcción, en este caso sustituyendo el concreto convencional, aportando con esto un elemento no convencional y que sea fácil de emplear.

Se concluye en que es posible obtener una mezcla competitiva con respecto a una mezcla normal para la construcción de diferentes elementos, siempre y cuando se cumplan con las condiciones adecuadas y con ello lograr ayudar al medio ambiente.

Abstract

One of the materials mostly used for construction in Mexico is the concrete, being a material that allows creating constructive elements through it or being part of a constructive system, having great potential to be improved and incorporated into the market due to the demand that it has.

Likewise, ecological and environmental studies has grown exponentially over the years in a punctual way in the field of polluting plastic waste influencing in the great creation of system variety, collection of programs and activities, reuse and plastic waste recycling.

This study seeks to help the environment by raising awareness of the importance of recycling plastics to obtain a mixture of hydraulic concrete with plastic that can be used for construction, in this case replacing conventional concrete, providing with this an unconventional element and that is easy to use.

It is concluded that it is possible to obtain a technically competitive mix compared to a normal mix for construction, as long as the appropriate conditions are met and, therefore, also help the environment.

INDICE

	Página
1. Marco de la investigación.....	5
1.1 Objetivo.....	5
1.1.1 General.....	5
1.1.2 Específicos	5
1.2 Hipótesis.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.4 Introducción	6
2. Antecedentes.....	7
2.1 Concreto	7
2.1.1 Definición	7
2.1.2 Historia	7
2.2 Plástico	8
2.2.1 Definición	8
2.2.2 Historia	8
2.2.3 Tipos de plástico.....	9
2.2.4 Ventajas del plástico.....	10
2.2.5 Desventajas del plástico	10
2.2.6 Estadísticas de producción y consumo del plástico.....	10
2.2.7 Contaminación por plástico	13
3. Revisión De Literatura	16
3.1 Experiencias del concreto con adición de diferentes plásticos reciclados	16
3.1.1 Propiedades en estado fresco.....	16
3.1.2 Propiedades en estado endurecido	18
3.2 Patentes relacionadas	32
3.2.1 Materiales o elementos	33
3.2.2 Equipo o método.....	34
3.3 Normatividad.....	35
4. Metodología.....	37
4.1 M1: Estadísticas de consumo y contaminación del plástico	37
4.2 M2: Experiencias del uso del plástico en el concreto hidráulico	37

4.3 M3: Evaluación del comportamiento de los principales indicadores evaluados...	38
5. Resultados y Discusión.....	39
5.1 Objetivos	39
5.2 Tipos de plásticos empleados.....	39
5.3 Relación de resultados en los principales indicadores	43
6. Conclusión.....	44
7. Referencias	45

1. Marco de la investigación

1.1 Objetivo

1.1.1 General

Evaluar los factores técnicos del concreto hidráulico elaborado con plástico reciclado y realizar una comparación de éste mismo contra una mezcla convencional de concreto a través de las experiencias de investigaciones, identificando los principales indicadores.

1.1.2 Específicos

- Verificar cuales son los plásticos que se pueden reciclar y ser usados en la elaboración de concreto pudiendo ser útiles para la elaboración de concreto con plástico.
- Verificar cuales son los principales indicadores que deben ser evaluados para corroborar la competitividad de un concreto hidráulico elaborado con plástico reciclado.
- Comparar resultados del comportamiento entre un concreto elaborado con plástico reciclado y el sistema convencional.
- Emitir las condiciones por las cuales es posible llegar a una mezcla de concreto con plástico reciclado que cumpla con los principales indicadores para la región de Mexicali, Baja California.

1.2 Hipótesis

o: Los elementos fabricados con concreto teniendo como agregado el plástico reciclado representan una alternativa competitiva en términos técnicos contra concreto convencional.

1.3 Justificación

Es de suma importancia el reducir la contaminación que se le ha dado a nuestro medio ambiente, producto del constante abuso del ser humano en actividades que tienen relación con el consumo de productos que se convierten en desechos sólidos como lo es el residuo plástico, lo cual conlleva a buscar la incorporación de este contaminante al área de la construcción, buscando el aprovechar de la manera más optima el recurso disponible en el medio ambiente. Mencionado lo anterior, el aprovechamiento de residuos plásticos genera en las mezclas de concreto: a) Una mayor cantidad de materia prima al alcance del ser humano, b) disminuciones en la cantidad de plásticos que se encuentran contaminando el medio ambiente, c) impacto social debido a la preocupación que se tiene hoy en día por la contaminación y reutilización de

desechos sólidos y d) modificaciones en la respuestas ante pruebas de laboratorio pudiendo presentar grandes beneficios técnicos.

1.4 Introducción

El interés que dio inicio a realizar este proyecto es la problemática existente dentro de nuestra sociedad relacionada con el tema de la contaminación, refiriéndonos con el manejo de desechos sólidos inorgánicos que deterioran el medio ambiente, puntualmente los plásticos. Es por ello, que surge la idea de implementar una solución a la afectación que día con día va generando problemas a la sociedad, desde el ámbito ecológico y económico. Este problema se origina por el manejo inadecuado de los plásticos, la falta de organización en el trabajo de clasificación y reciclaje, razones que producen contaminación, proliferación de enfermedades afectando directamente a los seres vivos que se encuentran cerca de estas zonas afectadas, lo que genera que sea necesario una gestión adecuada y el conocimiento básico para poder recurrir a base de los residuos plásticos que sean de aprovechamiento y con ello generar un menor impacto en el entorno [1].

Aspectos sociales como el alza mundial del precio del petróleo ha disparado el interés por el reciclado de los materiales plásticos en los últimos años [2]. Tan solo en el 2016, se generaron alrededor de 335 millones de toneladas de plástico, cantidad a la que al mismo tiempo se le debe sumar las fibras sintéticas que usan en los artículos de vestimenta, y otros productos; y se estima que, para el año 2020, se superaran los 500 millones de toneladas de plástico anuales [3].

Es por ello, que se genera la propuesta de aprovechar los desechos plásticos que se encuentran contaminando el medio ambiente dentro de la ingeniería civil en la elaboración de un concreto, siendo uno de los materiales mayormente utilizados a nivel mundial en la construcción.

2. Antecedentes

2.1 Concreto

2.1.1 Definición

El concreto consiste en la combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en algunas ocasiones de ciertos aditivos, combinación que da como resultado una mezcla cuyas propiedades físicas permite el ser moldeable, misma que al fraguar forma un elemento rígido y resistente (N·CMT·2·02·005/04).[4]

El cemento Portland es el cemento más utilizado en la realización del concreto [5], siendo que el un producto resultante de la pulverización de clinker Portland, misma que cuenta con la adición de una o más formas de sulfato de calcio, permitiendo a su vez la adición diversos productos siempre y cuando que su adición no afecte negativamente las propiedades del cemento resultante [6].

2.1.2 Historia

Históricamente la aplicación de materiales cementantes data desde tiempos muy antiguos, siendo que los egipcios ya utilizaban yeso impuro calcinado, los griegos y romanos relacionándose por la caliza calcinada para posteriormente mezclar cal con agua, arena y algún material grueso triturado como lo es la piedra, ladrillo y las tejas quebradas, formando así el primer concreto de la historia. Asimismo, los romanos, encontraron la solución para construcciones bajo el agua, creando un mortero de cal mezclado con ceniza volcánica o teja de arcilla quemada, para producir el denominado cemento puzolánico, haciendo referencia al lugar de donde proviene, el pueblo de Pozzuoli, lugar donde se encontró por primera vez la ceniza volcánica [7].

Durante la Edad Media existió una disminución considerable en la calidad y uso del cemento, siendo que hasta en el siglo XVIII se observó un avance en el conocimiento de los cementos. Fue John Smeaton quien descubrió que se obtenía un mejor mortero cuando es mezclado puzolana con caliza que contaba con alta cantidad de arcilla, siendo este último un material que no era considerado conveniente, Smeaton fue la primera persona en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica, material proveniente de quemar una mezcla de cal y arcilla [7].

Posteriormente se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, hasta llegar con la patente del “*cemento portland*” que se obtuvo en 1824 por Joseph Aspdin, protegiéndolo bajo del nombre de “*Artificial Stone*” [8], llegando al fin al prototipo del cemento moderno en 1845 por Isaac Johnson, quemando una mezcla de arcilla y caliza hasta crear clinker, produciendo la reacción necesaria para formar un compuesto cementante [7].

2.2 Plástico

2.2.1 Definición

El término “*plástico*” proviene del griego, el cual significa que puede ser moldeado gracias al calor, refiriéndose a la maleabilidad o plasticidad, del material durante su fabricación, permitiendo ser fundido, prensado o extrusionado, logrando llegar a diferentes formas según sea el uso final de este mismo; es utilizado comúnmente para describir a una gama de materiales sintéticos o semisintéticos, siendo materiales orgánicos, al igual que la madera, papel o la lana [9].

En este sentido se pueden distinguir tres categorías generales del plástico según su origen [10]:

- I. *Plásticos naturales*: los provenientes de la naturaleza que pueden llegar a ser moldeados aplicando calor, como lo son algunas resinas de árboles.
- II. *Plásticos semisintéticos*: derivados de la modificación o alteración de productos naturales, mediante la mezcla con otros materiales.
- III. *Plásticos sintéticos*: producto de la alteración de la estructura molecular de materiales a base de carbono, siendo un petróleo crudo, por lo general carbón o gas.

2.2.2 Historia

Desde inicio de los tiempos, el ser humano se ha esmerado por crear materiales que ofrezcan mejores beneficios que los propios materiales que se pueden obtener de la naturaleza; es por ello, que el inicio de la evolución del plástico empieza desde el uso de materiales naturales que contaban con propiedades plásticas intrínsecas, como lo es la laca o la goma de mascar, siguiendo por la modificación química de materiales naturales como el caucho, la nitrocelulosa y el colágeno, y, terminando con la gran variedad de materiales meramente sintéticos que se reconocen como plásticos modernos, apareciendo hace más de 100 años [9]:

- En 1855, Alexander Parkes, inventó el denominado “*parkesina*”, siendo lo que hoy en día se conoce como celuloide.
- Entre 1838 y 1872 fue polimerizado por primera vez el policloruro de vinilo (PVC).
- En 1907 tuvo lugar el avance fundamental por parte del belga-americano Leo Baekeland creando la baquelita, siendo el primer plástico fabricado en serie realmente sintético.

No fue hasta antes del siglo XIX que la utilización de los plásticos naturales era solamente conocida y no generalizada, siendo que a partir de la revolución industrial, debido al rápido aumento de la población y el incremento del estándar de vida en las

poblaciones, dio lugar a una alta demanda por bienes naturales elaborados por plástico, tanto en productos ornamentales para la sustitución de los productos naturales que limitaban la producción de productos a gran escala, logrando con ello que el uso del plástico fuese el responsable de desplazar al metal, las fibras naturales, la madera, constituyéndose como un bien alternativo más económico, siendo contrastado durante la Segunda Guerra Mundial, cuando el costo por fundir metales se incrementó de una manera acelerada en comparación al costo que implicaba el moldear plástico [10].

2.2.3 Tipos de plástico

La mayoría de los productos con envasado plástico que podemos adquirir de manera comercial cuenta con una identificación, llamado *Código de identificación de plásticos y resinas* el cual es algo desconocido para la mayoría de las personas, siendo una herramienta creada por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en el año 1988 para saber diferenciar el tipo de plástico y su reciclaje, clasificándose del 1 al 7 [11], como se muestra de la manera siguiente:

Tabla 2.1 Tipos de plásticos [12], modificado.

#	Plástico	Símbolo	Aplicaciones	Usos después del reciclado
1	Polietileno Tereftalato	PET	Botellas, envasados de productos alimenticios, alfombrado, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos.
2	Polietileno de Alta Densidad	PEAD	Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas para detergentes, contenedores, tubos.
3	Polietileno de Baja Densidad	PEBD	Film adhesivo, bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento de contenedores flexibles, tuberías para riego.	Bolsas para residuos e industriales, tubos, contenedores, film de uso agrícola, vallado.
4	Policloruro de Vinilo	PVC	Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas bancarias, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores.
5	Polipropileno	PP	Envases para productos alimenticios, cajas, tapones, piezas de automóviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas, textiles.
6	Poliestireno	PS	Botellas, vasos, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina.
7	Otros		Botellas, platos para hornos.	No aplica.

2.2.4 Ventajas del plástico

El aumento en la producción del plástico es debido a las variadas propiedades beneficiosas como lo son [13]:

- a) Versatilidad extrema y una muy buena capacidad de adaptarse para satisfacer necesidades técnicas.
- b) Mayor ligereza ante los demás materiales del mercado, reduciendo el consumo en fletes.
- c) Buenas propiedades de seguridad y higiene para el envasado de alimentos.
- d) Durabilidad y longevidad.
- e) Resistencia ante químicos, agua e impacto.
- f) Buenas propiedades de aislamiento térmico y eléctrico.
- g) Elaboración económica.
- h) Capacidad de adherencia con otros materiales (papel de aluminio, papel, adhesivos).
- i) Estéticamente bien visto.
- j) Elegido como material para estilos de vida humana.
- k) Funciones inteligentes – materiales y sistemas.

2.2.5 Desventajas del plástico

La producción de plástico como en la mayoría de procesos industriales, también se aplica el uso de productos químicos potencialmente dañinos, que se agregan como estabilizantes o colorantes, los cuales han sido sometidos a evaluaciones de riesgos ambientales y su efecto en la salud humana, tal es el ejemplo del uso de ftalatos (o ésteres de anhídrido ftálico) empleado para la elaboración de PVC, siendo que en el pasado el PVC se había utilizado en la elaboración de juguetes para niños pequeños y existía la incertidumbre de que fuese posible que se desprendieran ftalatos cuando entraban en contacto con saliva. Con respecto al medio ambiente, la mayoría de los plásticos no son degradables y su descomposición puede durar mucho tiempo una vez que son depositados en vertederos, en particular el caso de los envases de plástico, debido a que poco después de su compra se vuelven parte de rellenos sanitarios con cada vez menos espacios [13].

2.2.6 Estadísticas de producción y consumo del plástico

Según datos emitidos por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la producción mundial de plásticos tan solo en el año del 2018 se había multiplicado 20 veces en los últimos 50 años. [14] habiendo un crecimiento en la producción igual a 3.16% para este mismo año [15] con una elaboración mundial de 359 millones de toneladas de plásticos, siendo que a nivel geográfico, Asia concentra el 51% de la producción mundial, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte

(TLCAN, o NAFTA por sus siglas en inglés) con el 18% seguida por Europa con el 17%, Medio Oriente y África concentrando el 7%, Latinoamérica por su parte produjo el 4% y los países del área de Comunidad de Países Independientes (CEI, o CIS por sus siglas en inglés), el 3%, teniendo diferencias en cuanto a producción según el año 2017 (incluyendo termoplásticos, poliuretanos, termoestables, elastómeros, adhesivos, recubrimientos y selladores y fibras de PP; y sin incluir PET y fibras de poliacril).

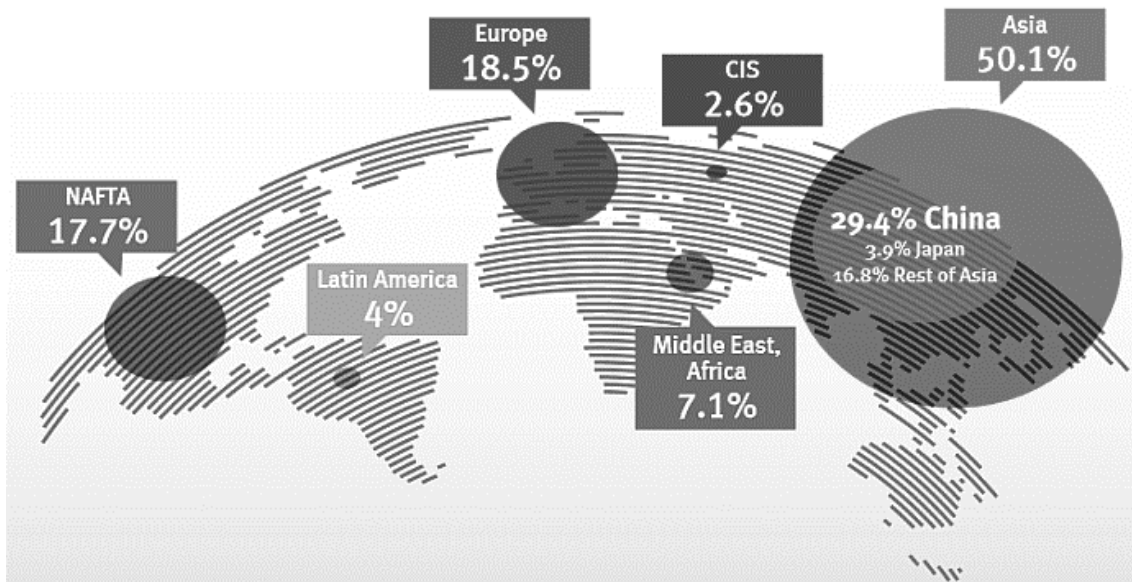


Figura 2.1 Distribución global de la producción de plástico, año 2017 [16]

Los plásticos han superado a la mayoría de los materiales hechos por el hombre y durante mucho tiempo han estado bajo escrutinio ambiental. Sin embargo, se carece de información global sólida, particularmente sobre su destino final, es por ello que Roland Geyer et al. [17] tras identificar y sintetizar datos dispersos sobre la producción, uso y manejo final de la vida útil de las resinas de polímeros, fibras sintéticas y aditivos, presentan un análisis global de plásticos producidos en masa, estimando que hasta el 2018 se habían producido un total de 8,300 millones de toneladas métricas (Mt) de plásticos vírgenes, además exponiendo que a partir del 2015, aproximadamente se habían generado 6,3000 Mt de desechos plásticos, de los cuales cerca del 9% fueron reciclados, 12% incinerados y el 79% se acumuló en vertederos o en el medio ambiente natural, y estimaron que 2,500 Mt de plásticos, o el 30% de todos los plásticos alguna vez producidos están actualmente en uso.

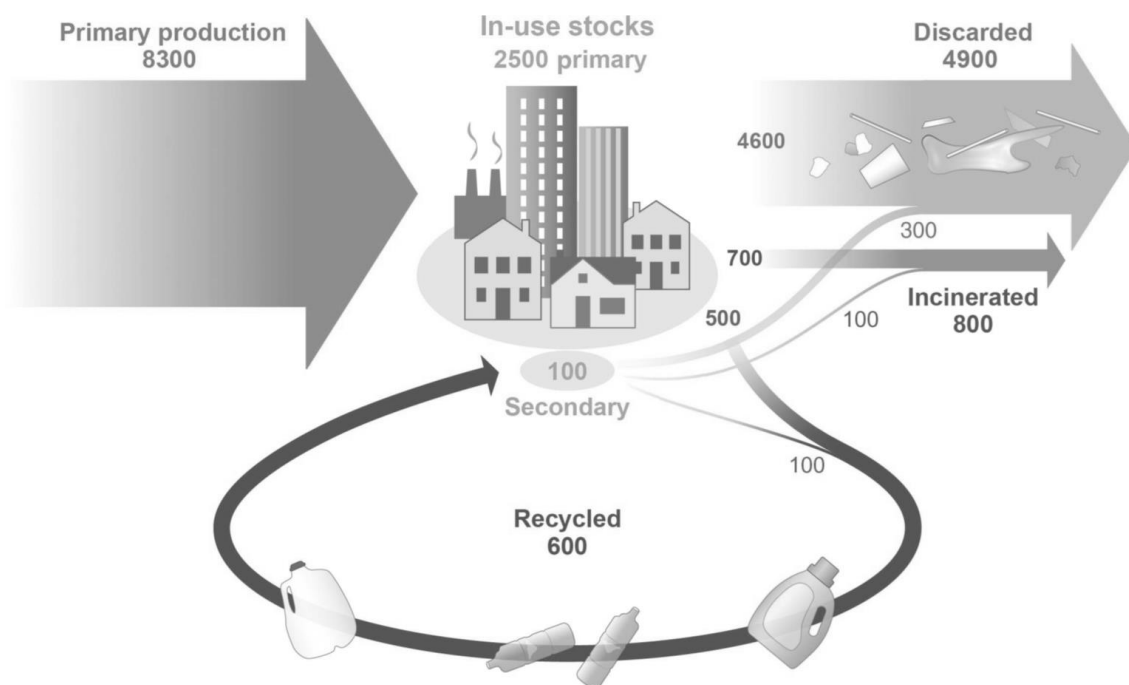


Figura 2.2 Producción global, uso y destino de resinas poliméricas, fibras sintéticas y aditivos (1950 a 2015; en millones de toneladas métricas) [17]

La organización Greenpeace [3] nos proporciona datos sobre la producción global de plásticos asegurando que en tan solo los últimos 50 años la producción se ha disparado, en especial en las ultimas décadas, contrastando que en tan solo los últimos 10 años de ha producido más plástico que en toda la historia de la humanidad desde que su producción empezara en el año 1950, siendo tan solo en Europa que la mayor parte de los plásticos se emplean en la fabricación de envases, su demanda en el 2016 fue del 39.9%, mismos envases que podrían en el medio ambiente, dañando los ecosistemas.

En cuanto al porcentaje de demanda de los usos que se les dan comúnmente a los plásticos, es posible tomar el ejemplo de Europa [18] para tener una idea hacia que sectores es que estos están destinados (sin tomar en cuenta el tipo de plástico), siendo el a) empackado y almacenamiento el destino más común, representando casi el 40% del total, seguido de la industria de la b) construcción y c) “otros” (equipamiento médico muebles, piezas destinadas para la ingeniería mecánica o construcción de máquinas), con un 19.8% y 16.7% respectivamente, contribuyendo con un 10.1% se encuentra el sector d) automovilístico, 6.2% el sector e) eléctrico y electrónico, un 4.1% el f) hogar y deporte, y por último con el 3.4% el sector g) agrícola.

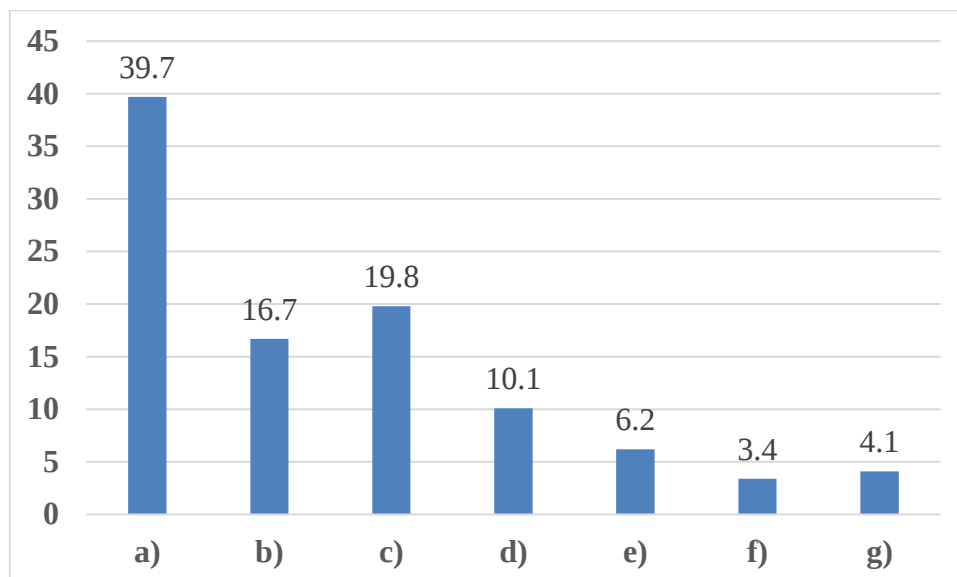


Figura 2.2 Producción mundial de plástico por tipo de uso en Europa, 2018 (%) [18] – Elaboración propia

El incremento en la población y el cambio en los patrones de consumo de la sociedad ha propiciado la generación de productos con plástico, tan solo en México, la generación per cápita en el año 2015, fue de 1,2 kg/habitante/día, lo que llevo a una generación de 53.1 millones de toneladas de plástico [ANIC], según datos de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIC), en comparación a lo mencionado por María Luisa Santillán [19] diciendo que en México en el año 2018 se produjeron 300 millones de toneladas de plásticos al año, de las cuales solo se llega a reciclar el 3%.

2.2.7 Contaminación por plástico

Cualidades físicas del plástico como la impermeabilidad al agua, su capacidad de ser duro o blando, rígido o flexible, opaco o transparente y de ser moldeado a la forma geométrica que se desee lo han convertido en un material básico para la sociedad en el consumo y uso de distintos ámbitos, sin embargo, cuenta con una serie de peculiaridades que lo convierten en un reto ambiental durante su gestión al ser consumido [20].

Las cifras calculadas por Roland Geyer et al. [17] muestran los datos de producción de plásticos primarios describen una tendencia temporal sólida a lo largo de toda su historia, concluyendo a base de sus resultados que si la producción continuara en esta curva misma curva, la humanidad habrá producido 26,000 Mt de resinas, 6,000 Mt de fibras y 2,000 Mt de aditivos para finales del año 2050, además de suponer patrones de uso consistentes y proyectando las tendencias actuales de gestión global de residuos para el 2050, 9,000 Mt de residuos plásticos habrán sido reciclados, 12,000 Mt incinerados y 12,000 Mt desechados en vertederos o en el medio ambiente natural (Figura 2.4), exponiéndose en la figura como líneas continuas los datos históricos de

1950 hasta el 2015 y las líneas discontinuas muestran proyecciones de tendencias históricas.

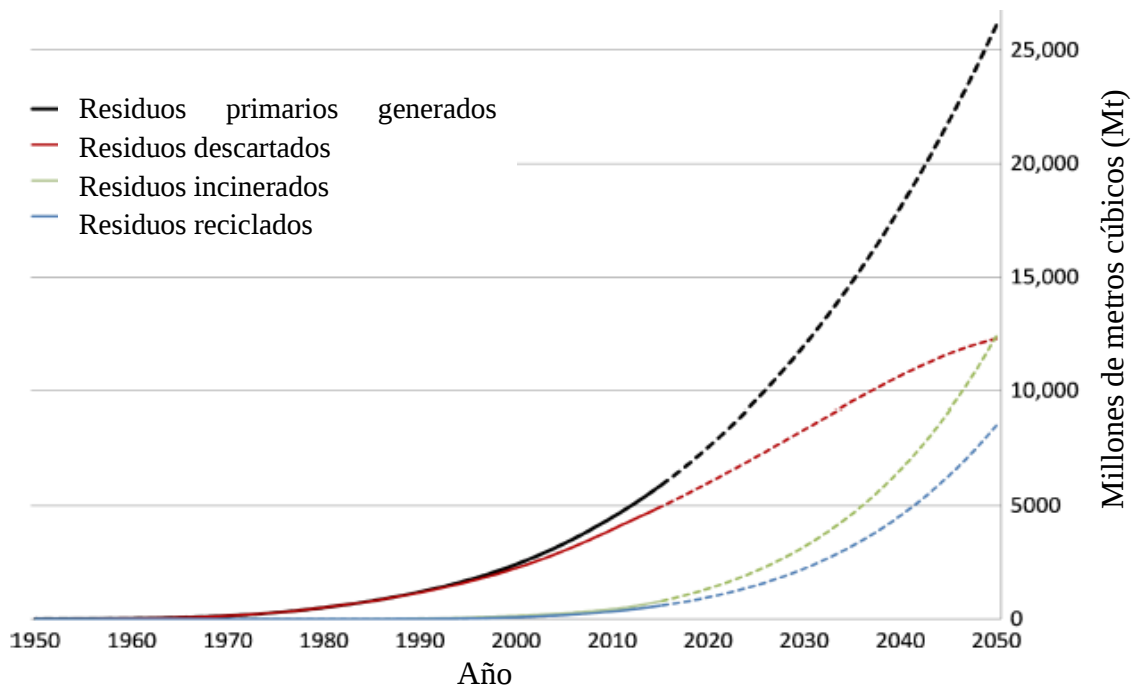


Figura 2.3 Generación y eliminación acumulativa de residuos plásticos (Mt) [17]

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [21], refiere que en los últimos 50 años se multiplicó 20 veces la producción mundial de plásticos, aproximadamente de 320 millones de toneladas en ese lapso de tiempo, de las cuales 13 millones llegaron a distintos cuerpos de agua como son los mares y océanos, terminando por hundirse, flotar o quedando a la deriva en las playas, siendo que en el año 2017 por primera vez en la historia ocupó los primeros 10 lugares objetos de objetos recolectados en cuerpos de agua, dejando fuera de la lista los envases de vidrio [22] constituyendo entre el 60% y 80% de los residuos marinos [3] en su mayoría tratándose de microplásticos debido a sus dimensiones, estimándose que hay entre 5 y 50 mil millones de microplásticos en el mar.

La British Broadcasting Corporación (Corporación Británica de Radiodifusión) [23] con el fin de dar relevancia con el tema de la contaminación del plástico, realizó una publicación acerca de una recopilación de 5 gráficos en las cuales muestra la amenaza del plástico para el planeta, reflejando datos importantes como lo es con las botellas de plástico, representando uno de los productos con mayor presencia en el mercado y que tan solo en el 2016 se vendieron alrededor de 480,000 millones de botellas lo que es igual a 1 millón de botellas por minuto.

La industria del plástico en México se desarrolló de una manera competitiva en exportaciones contra potencias como Alemania, Estados Unidos, Canadá y Asia en el primer semestre del 2018, dejando claro que los polímeros siguen siendo los principales actores para la producción de enseres de diversa índole, con un alto consumo per cápita, representando cifras nada buenas para el planeta [24].

El crecimiento económico e industrial en nuestro país se produce a través de maquinaria, bienes de inversión y de consumo, lo cual genera residuos y desechos que en su conjunto producen la contaminación ambiental [25] siendo la basura el foco de atención, misma que en México en el año 2000 estaba compuesta por varios materiales susceptibles a la recuperación o reciclaje para ingresar de nuevo a una cadena productiva, en donde el plástico tenía un papel del 11%, en comparación al dato obtenido durante una caracterización de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Chihuahua, México, en el año del 2006 en donde se refleja un 11,9% de plástico [26], en la ciudad de Mexicali en el año 2003 con una caracterización de los desechos sólidos domésticos obteniendo como resultado un 6.1% [27], en Guadalajara un 9% de la misma manera en el 2003 y un 7.9% en Morelia en el 2001 [28].

3. Revisión De Literatura

3.1 Experiencias del concreto con adición de diferentes plásticos reciclados

La incorporación de residuos de construcción y demolición, escoria de procesos industriales (de alto horno o arco eléctrico), residuos plásticos como materiales y otros han representado una búsqueda por la producción de concreto sustentable, que adicionalmente tiene otros beneficios como otorgar mayor durabilidad o hacerlo más ligero o económico, dependiendo de la adición y el porcentaje de reemplazo de que se trate dentro del concreto como tal. Dicha práctica se documenta desde 1952 [29], pero recientemente se ha realizado mucha investigación al respecto, a continuación, expongo algunos de los resultados más representativos del concreto con adición de diferentes plásticos como agregado fino y grueso.

De manera general el mejor desempeño del concreto con adiciones plásticas se obtiene cuando las propiedades de los materiales y el diseño de mezclas incluye las siguientes variables: 1) relación a/c (agua/cemento), 2) utilizar diferentes tipos de plásticos cuyo corte o forma se puede presentar de maneras distintas ya sea triturado por alguna máquina o cortado de manera manual para lograr formas y dimensiones específicas, siendo que se trata en su mayoría de plástico que se presenta de manera comercial y accesible para la comunidad de una manera relativamente fácil de manipular, 3) utilizar el residuos plásticos (RP) como sustitución de agregado fino (arena) más que de agregado grueso (grava) o viceversa, tomando en cuenta ya sea el volumen de cada uno de los tipos de agregado para el remplazo o del volumen total de una mezcla.

3.1.1 Propiedades en estado fresco

3.1.1.1 Densidad

Al-Manaseer & Dalal [30] realizaron investigaciones acerca del efecto del plástico como agregado en la densidad del concreto en estado fresco y para éste propósito realizaron 12 mezclas de concreto diferentes con distintas proporciones de a/c y con proporciones de 10%, 30% y 50% de agregado plástico, concluyendo en que: 1) la densidad del concreto disminuye con el contenido de agregado plástico en él; 2) la reducción en la densidad es directamente proporcional al contenido de plástico que se adiciona; y 3) la reducción del concreto es de 2.5%, 6% y 13% para concretos con 10%, 30% y 50% con plástico respectivamente (figura 3.1).

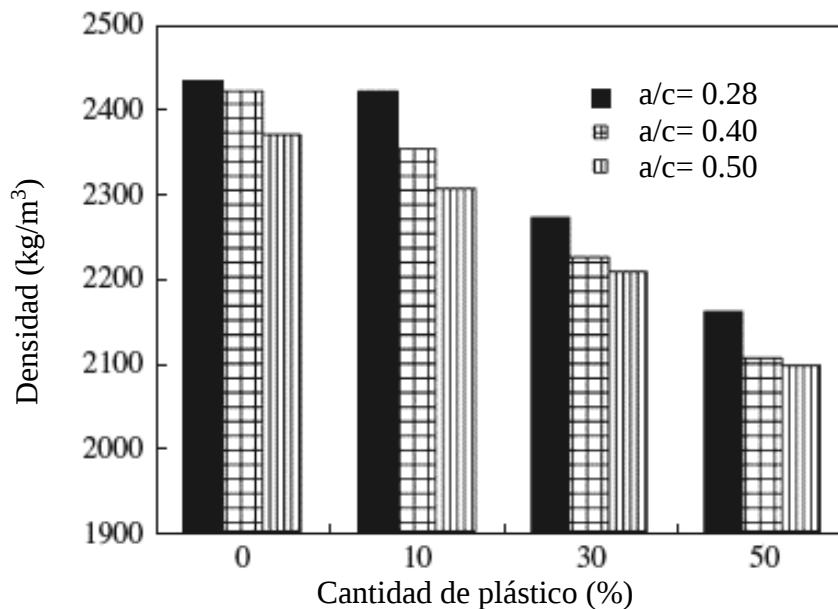


Figura 3.1 Densidad en estado fresco contra cantidad de plástico en porcentaje [30]

Choi et al. [31] por su parte realizaron estudios en la densidad de un concreto ligero con adiciones de botellas de PET, con proporciones de a/c de 45%, 49% y 53%, y niveles de reemplazos en el concreto ligero de 25%, 50% y 75% con respecto al volumen de agregado fino, concordando con la teoría de la reducción en la densidad.

A.M. Azhdarpour et al. [32] presentaron resultados de las mediciones de densidad fresca mostrando que la adición de fragmentos de plástico a la mezcla de concreto disminuyó las densidades de concreto fresco, contando con una pérdida máxima de densidad de 9% y ocurrió en las muestras que contenían 30% de fragmentos de plástico, en comparación con el resto de sus diseños de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% con fragmentos de PET como reemplazo de arena y una relación de a/c de 0.5.

Así como es evaluada la densidad con reemplazos en el agregado fino, también hay evaluaciones con reemplazo en el agregado grueso, como lo hizo para evaluar la densidad de una mezcla de concreto M.J. Islam et al. [33] realizando 5 mezclas con PET como agregado grueso en proporciones de 20%, 30%, 40% y 50% y relaciones de agua/cemento de 0.42, 0.48 y 0.57.

3.1.1.2 Contenido de aire

Debido a que el concreto se trata de una mezcla que cuenta con una serie de vacíos en su composición, es posible que guarde cierta cantidad de aire, es por ello que investigadores como Bayasi & Zeng [34] evaluaron como es que fibras de 12.7mm y 19mm de polipropileno pueden afectar en el contenido de aire de una mezcla de concreto, reportando un incremento máximo en el contenido con la inclusión de fibras de plástico de 3% cuando la mezcla contiene 0.5% de plástico con un largo de 19mm y una reducción de 0.5% cuando contiene 0.1% de fibras de 12.7mm de longitud.

De manera contraria, Soroushian et al. [35] llegaron a reportar reducciones en el contenido del aire como resultado de incluir fibras de plástico reciclado en una mezcla de concreto a manera de refuerzo, con una reducción significativa de 1% en el contenido de aire.

Para el proceso de la caracterización de un concreto ligero F.K. Alqahtani & I. Zafar [36] utilizaron la adición de plástico procesado con una forma indefinida, obteniendo aumento que van desde 5% y 39% en comparación con pruebas realizadas con piedra pómez y un concreto convencional, además de contar con una tendencia creciente para de 4% al 60% para una serie de proporciones en aumento de plásticos de diferentes dimensiones.

3.1.2 Propiedades en estado endurecido

3.1.2.1 Disminuciones en la resistencia a la compresión

Respecto a la disminución de la resistencia a la compresión, en general los autores coinciden que a mayor porcentaje de reemplazo es mayor la disminución de la resistencia compresión del concreto hidráulico. De forma específica Saikia & De Brito (2004) [37] reportan una disminución de 27%, 48% y 65% cuando los reemplazos son de 5%, 10% y 15% respectivamente en el agregado fino para mezcla de concreto, así como con los mismos porcentajes de reemplazo M.M. Al-Tayeb et al. [38] publican reducciones en el mismo orden de 21%, 33% y 40% utilizando plásticos provenientes de vehículos; de la misma manera, Rajat Saxena et. al. [39] presentan datos en sus gráficas en donde la tendencia de reducción de la resistencia entre el 5% y 10% de sustitución de arena parece poder representarse con una constante cambiando de manera dramática al sobrepasar el 10% de contenido de plástico reciclado.

Cabe señalar que el tamaño de las partículas de PET o cualquier otro tipo de plástico triturado empleado en la arena tienen un impacto sustantivo en el desempeño del concreto en el estado endurecido, de tal forma que se pueden tener diferencias de la disminución de resistencia como las que reporta Azhdarpour [32] que por su parte difiere de ellos porque para el 5% y 10% de reemplazo encontró una ganancia en la resistencia de 45.71% y 8.57% respectivamente, pero coincide en que para porcentajes de reemplazo posteriores al 10%, teniendo disminuciones que van desde el 11.4% cuando se lleva a cabo un 15% de reemplazo y 45.7% cuando el reemplazo es de 30%.

Por otro lado, Khalid et al. [40] reporta prácticamente nula variación entre la resistencia del concreto original y aquella que cuenta con 1.5% de reemplazo indistintamente del tipo de forma del corte en el PET, así como por su parte Bhogayata & Arora [41] realizaron un reemplazo en la misma proporción con diferentes tipos de tamaño de plástico metalizado con respecto al volumen de la mezcla de concreto con la diferencia de encontrar una alteración no muy significativa al 1% de reemplazo.

Ruiz-Herrero et. al. [42] por su parte realizó pruebas para sustituciones del 2.5%, 5%, 10% y 20% en tres diferentes tipos de mezclas de concreto con plástico reciclado PE, PVC y PE+PVC, obteniendo los mejores resultados para la mezcla de PVC, con una reducción mínima del 7.8% con una adición del 2.5% y una reducción crítica de 80.9% al adicionar 20% de plástico reciclado, sobrepasando la disminución publicada por Colangelo et. al. [43] igual a 60% cuando el remplazo es igual a 20% para una mezcla de poliolefina y PET, siendo estas dos últimas reducciones mencionadas totalmente distintas al resultado de M.J. Islam et al. [33] con una disminución del 9.28% para una mezcla con PET como agregado grueso.

M.A.-T. Mustafa, et al. [44] señala que al contar con remplazos de policarbonato en el agregado fino con valores de 5%, 10% y 20% es posible encontrar reducciones en la resistencia de 7.14%, 11.9% y 23.8% con respecto a la muestra elaborada con concreto convencional.

En comparación a distintos autores Vaillancourt & Sorelli [45] elaboraron diferentes tipos de mezclas de concreto con diferentes tipos de proporciones de mezclas de plásticos (PP, PE, PS, PVC) y combinaciones entre estos mismos en sustituciones de agregado grueso, llegando hasta una pérdida del 46.9% cuando realizaron un remplazo máximo del 20%.

Existen autores que además se han apoyado de algún tipo de aditivo químico para mejorar la trabajabilidad de la mezcla esperando tener mejores resultados, como lo son Semiha A. et. al. [46] quienes además realizaron sustituciones de 30%, 40%, 50% y 60% acuerdo al volumen total de una mezcla y no de la cantidad de arena con PET triturado, obteniendo disminuciones en la resistencia de 41%, 54%, 62% y 78% respectivamente, variando cantidades de agregados gruesos y finos, pero con la excepción de solo incorporar plástico reciclado con las dimensiones de un agregado fino, contrastando gran diferencia al utilizar polietileno (PP) triturado en sustitución de acuerdo a la cantidad de arena, y aunque al igual se ha utilizado un tipo de aditivo, cuando el remplazo es de 30% S. Yang et al. [47] encontró una diferencia insignificante.

Con respecto a la modernización y automatización de las cosas se ha dado paso al crecimiento en el mundo digital lo cual ha creado un tremendo aumento en la producción de residuos electrónicos [48,49] siendo una opción el utilizar los desechos de plástico electrónico tal como lo hicieron Treasa Shinu & S. Needhidasan [50] realizando sustituciones en el agregado grueso del 12%, 17% y 22% con *E-Plastic*, con reducciones de 3%, 17.3% y 24% respectivamente, en comparación a Kumar & Baskar [51] que utilizando el mismo tipo de plástico experimentaron con remplazos parciales de la misma manera en el agregado grueso con niveles del 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, teniendo como resultado una reducción máxima de 47.41% cuando existe un remplazo del 50%.

J.R. Correia et. al. [62] utiliza PET en 3 distintas presentaciones para evaluar su desempeño con un remplazo de 7.5% y 15% con respecto al agregado natural total

(suma entre agregado grueso y fino), teniendo una reducción mínima de 12.27% para una mezcla con remplazo del 7.5% y una reducción máxima de 37.5% cuando el remplazo es igual a 15% con plástico procesado.

A. Jain et al. [63] trituran bolsas de plástico para lograr utilizarse como sustituto de agregado fino para niveles del 5%, 10%, 15% y 20%, con cambios de en la resistencia a la compresión de acuerdo a la mezcla de control con disminuciones de 13.48% cuando el remplazo es del 5% y una disminución máxima de 87.77% cuando el remplazo es igual al 20%, además de realizar la evaluación de indicadores en estado endurecido como su modulo elástico, permeabilidad, resistencia a la abrasión, capacidad de absorción a la energía y análisis microestructural.

Si bien el plástico puede ser llevado a diferentes procesos de preparación dentro de las pruebas de laboratorio, existe la denominación de “pellets” para el resultado de procesar plástico y lograr dimensiones y formar deseadas con la aplicación de calor y presión, tal como lo ha realizado Skominas et al. [64] con el empleo de pellets de polietileno (PE) y polipropileno (PP) dentro de los porcentajes de agregado grueso (5%, 10%, 15%, 20% y 25%) comparando los resultados entre su mezcla de referencia y los especímenes de cada plástico plasmando mayores variaciones en la resistencia al emplear pellets de PE.

Así mismo, estudios sobre las propiedades del concreto ligero basadas en la aplicación de residuos plásticos como el polipropileno (PP) ha sido aventurada por M. Záleská et al. [65], utilizándolo como remplazo en el agregado fino de 3 diferentes maneras: triturado, granulado y reforzado con fibra de vidrio, con niveles del 10%, 20%, 30% y 50%, con el fin de conocer de qué manera pudiese dar los mejores resultados, concluyendo en que para fines del indicador de la resistencia a la compresión, la mejor opción es la utilización del polipropileno reforzado con fibra de vidrio, ya que presentó un mejor comportamiento contra los demás especímenes.

Procesos en el plástico reciclado como su limpieza, lavado y exposición a temperaturas adecuadas para que por medio de presión sea posible el darle una forma en específica, han sido actividades tomadas puntualmente por Akinyele & Ajede [66], cuando al realizar sustituciones en la arena del 5%,10%,15% y 20% lograron llegar a datos de 0.5%, 26.4%, 33.6% y 53% de disminución en la resistencia respectivamente a los 7 días de su elaboración, afirmando que una mezcla elaborada con una sustitución del 20% puede cumplir con la normativa ACI 213 (2003) [67] para un concreto ligero, pasando los 15 K/mm² recomendados de resistencia.

Siguiendo con la línea de investigación acerca del uso del tereftalato de polietileno (PET) triturado como agregado fino, Al-Hadithi & Al-Ani [68] llegaron a disminuciones de 12.5%, 17.5% y 27% en la resistencia con remplazos del 2.5%, 5% y 7.5%, siendo el último valor muy parecido a los presentados por J.R. Correia et al. (62) con respecto al rango de resistencias obtenidas durante sus pruebas de laboratorio.

Las reducciones porcentuales promedio a las que llegaron S. M. Malkapur [69] en las resistencias para 10%, 20% y 30% de reemplazo en agregado grueso con residuos de polietileno expandido de alta densidad (PEAD o HDPE por sus siglas en inglés) son 2.3%, 7.8% y 13.6%, respectivamente, representando una pérdida de resistencia constante, aseguran que todas las mezclas han alcanzado resistencias a la compresión satisfactorias variando entre 30 y 35 MPa, comparado con la normativa utilizada que establece un mínimo de 20 MPa, además es posible contrastar el valor obtenido al nivel de reemplazo de 20% con el de M.J. Islam et al. [33], debido a que ambos llegaron a un resultado similar de reducción al utilizar residuos plásticos como parte del agregado grueso, solo que la primera investigación con uso de un plástico diferente.

Ishwar S. Yadav [70] elabora una investigación en laboratorio acerca de las propiedades del concreto conteniendo plástico reciclado como agregado grueso para mezclas con diferentes proporciones no de reemplazo si no de relación de agua-cemento, con el fin de evaluar el comportamiento en la resistencia así como en otros indicadores, obteniendo una reducción máxima del 74.24% en la resistencia cuando se sustituye todo el agregado natural grueso por plástico y con una relación agua-cemento (w/c) de 0.44.

Y. W. Choi et al. [31] estudiaron los efectos del agregado ligero de botellas de tereftalato de polietileno (PET) sobre la resistencia a la compresión del concreto planificando proporciones de mezcla de concreto para que las relaciones agua-cemento (w/c por sus siglas en inglés) fueran 45%, 49% y 53%, y las relaciones de reemplazo en las mezclas fueron 25%, 50% y 75% en volumen de agregado fino. Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión se dan en la tabla 1, lográndose apreciar que la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto disminuyó con el aumento de los agregados de PET (tal como la mayoría de los autores lo han seguido presentando) y que, para un contenido particular de agregado de PET, la resistencia a la compresión aumentó con la reducción de w/c; en la tabla 2 es posible observar de la misma manera los porcentajes de disminución en la resistencia a los que llegó el mismo autor.

Tabla 3.1. Propiedades del concreto en estado endurecido [31]

w/c	Sustitución PET %	Resistencia a la Compresión (MPa)			Resistencia a la Tensión (MPa)	Modulo Elástico (MPa x10 ³)
		3 días	7 días	28 días		
53	0	18.4	24	31.5	3.27	23.5
	25	17.6	23.4	29.7	2.65	23
	50	17.1	21.5	26.3	2.25	21.2
	75	14.8	19.2	21.8	2.04	18.5
49	0	19	27.8	34.6	3.27	23.3
	25	18.8	26.7	33.7	2.76	22.8
	50	18.6	24.3	29.1	2.35	18.1
	75	15.8	21.6	23.2	1.94	16.7
45	0	24.8	31.3	37.2	3.32	25.5
	25	23.2	27.4	33.8	2.8	18.7
	50	22	26.5	31.8	2.55	17.3
	75	20.7	24.8	24.9	2.04	15.6

Tabla 3.2. Disminución en la resistencia a la compresión según resultados –
Elaboración con base a resultados de autor [31]

w/c	Sustitución PET %	Disminución en la Resistencia a la Compresión		
		3 días	7 días	28 días
53	25	4.35%	2.50%	5.71%
	50	7.07%	10.42%	16.51%
	75	19.57%	20.00%	30.79%
49	25	1.05%	3.96%	2.60%
	50	2.11%	12.59%	15.90%
	75	16.84%	22.30%	32.95%
45	25	6.45%	12.46%	9.14%
	50	11.29%	15.34%	14.52%
	75	16.53%	20.77%	33.06%

Z.Z. Ismail & AL-Hashmi [71] tomaron la decisión de elaborar mezclas con proporciones del 10%, 15% y 20% de remplazo en la arena con plástico triturado, contando con 80% de polietileno y 20% de poliestireno, con una proporción de agua-cemento del 0.53, tal como se muestra en la tabla 3, obteniendo resultados en la resistencia a la compresión de reducción tal y como se muestra en la figura 1 conforme se reemplazaba mayor cantidad de plástico reciclado, llegando a la resolución de que esto podría atribuirse a la falta de adherencia entre las superficies del plástico y la mezcla de cemento-arena-agua conforme la cantidad de plástico reciclado aumentaba.

Tabla 3.3. Mezclas de concreto con plástico reciclado [71]

Símbolo/ Mezcla	Materiales					W/C o W/(C+PR)
	Cemento (kg/m ³)	Agregado (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)	Plástico Reciclado (kg/m ³)	Cantidad Plástico (%)	
PI1 (referencia)	380	1020	715	0	0	0.53
PI2	380	1020	715	71.5	10	0.53
PI3	380	1020	715	107.25	15	0.53
PI4	380	1020	715	143	20	0.53

*W/C: Relación agua/cemento por sus siglas en inglés (water/cement)

**PR: Plástico reciclado

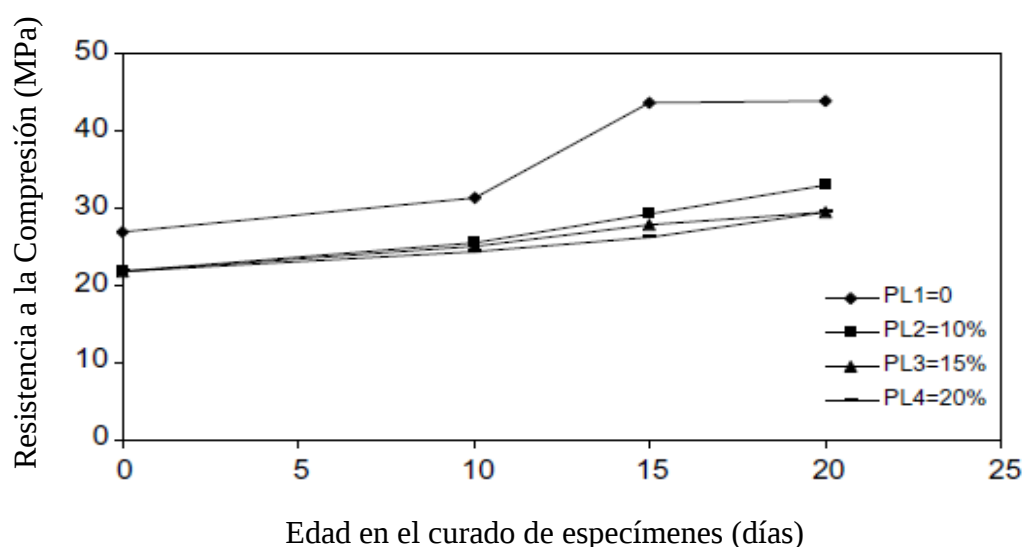


Figura 3.2. Resultados de resistencia a la compresión [71]

Al realizar cubos de concreto de muestra con dimensiones de 50x50x50 mm utilizando la normativa ASTM C109/109 M-2013 Awham Mohammed Hameed et al. [72] realizó las pruebas de resistencia para un concreto ligero con adiciones de PET como agregado grueso en porcentajes de 1%, 3%, 5%, 7% y 10% con respecto al peso unitario de la mezcla, obteniendo reducciones a partir de superar el 1%, llegando a una disminución de hasta 19.3% cuando se realiza una adición del 10% de PET.

J. Thorneycroft et al. [73] por su parte también evalúa el comportamiento de un concreto estructural con un reemplazo de PET del 10% de la cantidad total de arena, mismo plástico que se adiciono de 10 diferentes maneras, con diferencias desde el tipo de tamaño de partícula o corte, tratamientos del agregado con algún químico o aditivo obteniendo los mejores resultados en la prueba de resistencia a la compresión para una mezcla con agregado PET graduado y estratégicamente utilizado para remplazar el tamaño original de la arena llegando a tener un aumento en la resistencia de 1.1% y para una mezcla con fibras de PET vírgenes (no reciclados) de 1.3%.

R.V. Silva et al. [74] realizó la comparación entre 2 niveles de porcentajes de reemplazo de plástico reciclado tipo PET con 3 diferentes dimensiones o cortes, de 7.5% y 15% con sustituciones en agregado grueso así como en agregado fino, las proporciones son apreciables en la tabla 4, en donde es posible notar como la relación agua-cemento varió para cada mezcla, además de proporcionar las cantidades usadas para cada tipo de unidad de plástico, concluyendo con resultados de laboratorio a los 28 días de la resistencia a la compresión de 36MPa para una mezcla de referencia (sin ningún tipo de adición de plástico reciclado) contra sus otras 5 mezclas, con disminuciones como se muestran en la tabla 5, siendo la más crítica de 46.3% para mezclas con reemplazos del 7.5% al agregado grueso y del 15% al agregado fino.

Tabla 3.4. Composición de mezclas de concreto [74]

Mezcla de Concreto	Cemento (kg/m3)	Agua (kg/m3)	Agregados Naturales (kg/m3)		Agregado Plástico (kg/m3)			W/C
			Grueso	Fino	PC	PP	PF	
Mezcla referencia	350	189	1003.1	800.6	-	-	-	0.54
C7.5PC	350	213.5	855	750.4	61.4	-	-	0.61
C7.5PP	350	185.5	1008.2	668.4	-	66.9	-	0.53
C15PP	350	182	1013.4	534.7	-	134.4	-	0.52
C7.5PF	350	196	992.7	660	-	-	64.2	0.56
C15PF	350	213.5	966.9	513.9	-	-	125	0.61

*PC: Plástico grueso. **PP: Pellets de plástico. ***PF: Plástico fino.

Tabla 3.5. Resultados de resistencia a la compresión (tabla modificada) [55]

Mezcla de Concreto	Resistencia a la Compresión a los 28 días (MPa)
Mezcla referencia	36.7
C7.5PC	19.7
C7.5PP	35.3
C15PP	31.9
C7.5PF	24.7
C15PF	19.7

El uso del polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno y PET fueron los diferentes tipos de plásticos empleados por Artid Poonyakan et al. [75] para evaluar su desempeño en un concreto de baja conductividad térmica, llevando los 4 tipos de plástico bajo un proceso de adecuación de forma y utilizarse como reemplazo del 5% al 50% con respecto al volumen total de la mezcla convencional, siendo solamente el PET el empleado para porcentajes de 40% y 50%, mostrando que el concreto con plásticos reciclados de PET dan un mejor rendimiento con una menor reducción de la resistencia, variando de solo -38% a -17% cuando la fracción de volumen de fibra aumentó de 10% a 50%.

Adiciones elevadas de plástico reciclado han provocado la disminución en la resistencia a la compresión llevando a autores como I.H. Alfahdawi et al. [76] a optar por una adición menor en comparación a diversos autores, utilizando 0.25% de fibras de PET (figura 3.3) con respecto al peso del agregado grueso, además de utilizar ceniza volcánica y nanosilica con respecto a la cantidad de cemento, llegando a la evaluación de la resistencia a la compresión después de exponer los especímenes bajo 3 diferentes temperaturas (26°C, 400°C y 700°C) obteniendo resultados de reducción conforme la cantidad de cemento disminuía consecuentemente a las mayores adiciones de ceniza y nanosilica.



Figura 3.3. Fibras de PET trituradas a partir de residuos de botellas de agua potable [76]

3.1.2.2 Aumentos en la resistencia a la compresión

Generalmente es común encontrar resultados de investigadores en donde el comportamiento de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de algún plástico reciclado en comparación a una mezcla convencional o autocompactante se refleja en resultados negativos, pero, hay autores que logran obtener mejoras en éste indicador, Al-Hadithi & Hilal [77] aseguran aumentos del 37.7% y 43.4%, para sustituciones de 1% y 1.5% respectivamente, reflejando datos muy diferentes a los presentados por Khalid et al. [40] debido a sus reducciones para los mismo porcentajes de adiciones.

Aunque el uso de aditivos para mejorar la trabajabilidad y resultados de pruebas de laboratorio para diferentes mezclas han llegado a los mismos resultados negativos en cuanto a la resistencia a la compresión, así como las pruebas que han omitido el uso de las mismas, S. Yang et al. [47] logró obtener mejoras en la resistencia para niveles de remplazo del 15% y 20% para un concreto ligero autocompactante, utilizando polipropileno (PP), de la misma manera que posteriormente lo hizo M. Záleská et al. [78], pero con resultados contrarios.

Mencionado anteriormente Azhdarpour et al. [32] para niveles del 5% y 10% de reemplazo encontró una ganancia en la resistencia, obteniendo valores en sus pruebas de 51 Mpa y 38 Mpa respectivamente, siendo este último parecido a los que publica F. Mahdi et al. [79] en sus pruebas para el 10% de remplazo utilizando diferentes aditivos, pero con el mismo tipo de plástico.

El empleo de la resina de poliéster como parte material aglutinante junto con el uso de residuos de plástico electrónico (E-Plastic) fue la opción tomada por Bulut & Sahin [80] tomando en cuenta las dimensiones de los agregados gruesos y finos para realizar remplazos de 5%, 15% y 25%, entrando con ello al grupo de investigadores que han utilizado algún aditivo para optimizar los resultados esperados, logrando obtener aumentos en la resistencia llegando a valores de 47.31 MPa, 76.33 MPa, 63.36 MPa entre otros valores para la misma prueba para mezclas con variaciones en resina y plástico electrónico.

Como se vio en el apartado anterior Awham Mohammed Hameeda et al. [72] muestran reducciones en la resistencia a la compresión para 4 tipo de muestras realizadas con adición de PET como agregado grueso, pero, para el 1% de acuerdo al peso total de la mezcla encontraron una mejora de 0.5% para un concreto ligero tal como se muestra en la figura 3.4.

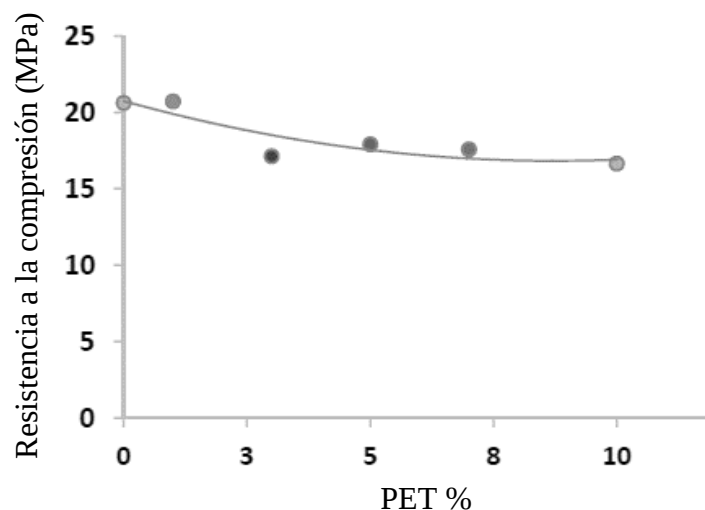


Figura 3.4. Resistencia a la compresión con respecto al porcentaje de plástico reciclado [72]

Por su parte J. R. C. Ricardo [81] mostró en su estudio que la adición de hasta 1% de PET durante la fabricación de concreto no influye en la calidad del mismo, en términos de su resistencia a la compresión, utilizando una relación de agua/cemento de 0.45, utilizando la adición con respecto al peso del cemento, obteniendo valores promedio ligeramente más altos que el concreto estándar, pero concluyendo que estos valores no son suficientes para crear diferencias significativas. Por esta razón, afirma que el factor de adiciones de PET no influye en la resistencia a la compresión en ninguna de las edades estudiadas de 7 y 28 días.

3.1.2.3 Resistencia a la tensión

Autores como Al-Manaseer & Dalal [30] en el año 1997 estudiaron el efecto de un materiales plásticos en una mezcla de concreto y evaluaron la resistencia a la tensión con diferentes proporciones de agua/cemento concluyendo en que: a) la resistencia a la tensión tiende a disminuir cuando al concreto se le adiciona plástico como agregado, obteniendo disminuciones de 17% para un contenido de 10% de plástico; b) para distintas proporciones de plástico, la resistencia a la compresión disminuye cuando la relación de agua/cemento aumenta; y c) que la falla por tensión del concreto con plástico no exhibe el mismo efecto visualmente que un concreto convencional, la falla por tensión de división fue más una falla gradual, en general, se encontró que las muestras que contenían agregados plásticos eran más capaces de resistir la carga de tensión después de la falla sin una desintegración completa, descubriéndose que la falla era de naturaleza más dúctil cuando aumentaba el porcentaje de agregados plásticos.

Bajo la influencia del PET como agregado en un concreto ligero [31], el comportamiento a la tensión con mezclas de relación de agua/cemento de 45%, 49% y 53% con reemplazos de 25%, 50% y 75% con respecto al volumen total de agregado fino reflejó el mismo comportamiento de reducción en la resistencia conforme la

cantidad de plástico aumentaba, pero para cierta cantidad en especial de PET, la resistencia a la tensión aumenta con la reducción de la relación de agua/cemento.

Azharpour [32] muestra que cuando se añade PET en sustituciones de 5% y 15% de agregados de concreto, la resistencia a la tensión del concreto para un curado de 28 días aumentó a 26% y 34%, respectivamente, relacionando la edad de curado del concreto con la resistencia a la tensión del concreto. Al hablar de las superficies de falla, al tratar con fragmentos plásticos flexibles, una parte de la tensión de corte se convierte en tensión de tracción que se consume para superar la resistencia a la tensión de los fragmentos de plástico, analizando que los agregados utilizados de PET debido a su estructura alargada y en forma de lámina, los fragmentos de plástico toleran una parte de la tensión aplicada antes de su separación de otros materiales, contrastando que los agregados de concreto son frágiles y tienen forma casi esférica, lo que los hace tener menos resistencia contra la tensión aplicada.

3.1.3 Otras Investigaciones

Si bien el plástico sin importar su tipo, es maleable gracias a sus propiedades físicas y químicas, logrando no solo ser triturado a las dimensiones adecuadas como la mayoría de los autores lo hacen para sus experimentaciones para lograr su adición y/o remplazo en una mezcla de concreto ya sea como un fino o un grueso, también hay quienes buscan lograr un reforzamiento en las mezclas, tal es el caso de Foti & Paparella [82] que tomaron la decisión de crear rejillas con tirar de PET y lograr un reforzamiento en losas de concreto, siendo estos sus especímenes para pruebas de laboratorio, obteniendo resultados significativos aplicación de fuerza y comportamiento de la misma con relación al tiempo de reacción.

F. Fraternali et al. [83] optaron por evaluar los efectos de las fibras de PET recicladas sobre las propiedades mecánicas y el curado del agua de mar en una mezcla de concreto, con un nivel de sustitución del 1% con respecto al volumen total, teniendo como referencia la cantidad de 13.4 gr de fibras de PET (ondulado o liso) por litro, partiendo por realizar pruebas a especímenes sin ningún curado o exposición adicional y pruebas para ser evaluadas después de un curado de 6 y 12 meses tras haber sido sumergidas en el mar, teniendo como resultado reducciones en especímenes en mezclas con curado convencional de 5.7% y 8.2% para PET liso y ondulado respectivamente contrastando variaciones mínimas en comparación a sus especímenes con exposición en el mar con reducciones de 8.9% y 10.3% para PET liso y ondulado a 6 meses respectivamente contra las muestras con duración de 12 meses con las mismas características de PET de hasta 10.1% y 11.5%.

Es posible conocer las propiedades y cuales han sido los diferentes tipos de plásticos empleados en las diversas investigaciones siendo la excepción la presentada por Bahareh Kaveh et. al. [84] debido que se utilizó una mezcla elaborada por residuos plásticos y un aditivo para conformar un material llamada “Plasmega” llevándola hasta

temperaturas de entre 120°C y 200°C para dar una forma deseada y lograr realizar una comparación con una mezcla convencional, realizando pruebas solamente en estado endurecido, como son su densidad, absorción, permeabilidad, velocidad de pulso ultrasónico, resistencia a la compresión y tensión, y ataques por sulfatos y cloruros.

Una de las novedades en la investigación elaborada por J.R. Correia [62] es el evaluar el rendimiento mecánico de una mezcla de concreto con agregados de desechos plásticos seleccionados una vez sido expuesta a elevadas temperaturas llegando a los 800°C, evaluando indicadores como respuesta térmica, resistencia a la compresión y tensión, modulo elástico, pruebas de velocidad de pulso ultrasónico, absorción de agua y dureza superficial.

En otros rubros de la construcción también se ha utilizado el uso del PET como sustitución en algún tipo de agregado, como lo es en el tema del uso de desechos plásticos (tereftalato de polietileno) en una mezcla de concreto asfáltico empleado por Hassani et al. [85], con remplazos del 20%, 30%, 40%, 50% y 60%, encontrando resultados similares a las de una mezcla asfáltica normal cuando el remplazo es del 20% tratándose del 5% del peso total de espécimen de prueba.

En Nigeria Akinyele & Toriola [86] evaluaron el efecto de los residuos de plásticos triturados como parte de agregado fino en las propiedades estructurales de los bloques de arena y concreto, utilizando porcentajes del 5%, 10%, 15%, 20% y 100%, pasando por una revisión de resistencia a la compresión, módulo de flexión, densidad y absorción de agua; de una manera muy parecida Zeneeb Majeed et al. [87] reemplazaron parcialmente el total de agregados con residuos plásticos granulados de PEAD en forma granulada en bloques de concreto sólido para la construcción de viviendas en la India, en proporciones de 12%, 14%, 16% y 18%, evaluando indicadores solamente en estado endurecido.

El comportamiento higrotérmico de un concreto ligero con remplazos de polipropileno ha sido estudiado por M. Záleská et al. [88] basados en la evaluación en laboratorio de indicadores como: propiedades térmicas, parámetros de transporte de agua y vapor dentro del espécimen en estado endurecido y contenido de vapor de agua.

Zavala Arteaga [89] nos presenta como es posible el aprovechar PET triturado dentro de una mezcla de concreto con fines no estructurales, consistiendo en una mezcla de “cementoplástico” para la elaboración de elementos arquitectónicos, como es el ejemplo de adoquines o elementos modulares, investigación parecida a la realizada por Ahmad K. Jassim [90] al emplear el uso del 15% al 60% de PEAD dentro de una mezcla de cemento-plástico (CP) elaborando ladrillos para evaluar la densidad, trabajabilidad, resistencia a la compresión, mismos especímenes que fueron hechos con el mismo porcentaje del 25% de agua en relación al volumen total.

Rosana Gaggino [91] desarrolló un componente constructivo liviano con buenas respuestas en indicadores como el peso, aislación térmica, y resistencia mecánica,

siendo lo suficientemente aceptable para ser empleado dentro de la contracción de muros laterales en viviendas, mismo que cuenta con adiciones de plástico reciclado producto de la tecnología de reciclado adaptada utilizando PET, polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno bioorientado (BOPP) y cloruro de polivinilo (PVC) sin necesidad de lavado previo al ser triturados e incorporados a la mezcla de concreto.

K. Nováková et al. [92] definen una visión de un ciclo de vida ideal para el uso, reciclado y reutilización del PET para la lograr un aprovechamiento optimo, a diferencia de los demás autores que se han caracterizado por la trituración y sustitución de algún tipo de plástico, se propone el realizar una botella de plástico con una geometría adecuada para ser utilizada como elemento constructivo bajo condiciones adecuada (figura 3.5), creándose un sistema de unión o modular entre los elementos con mejores resultados cuando éstos son llenados con arena.



Figura 3.5. Proceso de reciclaje y elaboración de "PET(b)rick [92]

Como se ha visto el bloque de concreto o ladrillo han sido tema de interés en común para autores que buscan la manera de poder utilizar algún porcentaje de remplazo de plástico reciclado en ellos o si bien tratar de sustituir el elemento como tal [69,91,92], y no es la excepción de Sina Safinia & Amani Alkalbani [93] que experimentaron con un bloque de concreto cuyas dimensiones permitieron el utilizar 8 botellas de PET completas dentro del bloque, evaluando solo indicadores como densidad en estado endurecido y resistencia a la compresión contra un bloque convencional llegando a una diferencia del 57% en la resistencia al usar botellas de plástico.

Otro ejemplo del uso de las botellas PET utilizadas como unidad de construcción es el caso que se realizó en Egipto por A.M.H. Mansour & S.A. Ali [94] al buscar tener resultados competitivos al sustituir el uso del block convencional para construcción de muros al 100% por botellas de plástico llenas con arena seca, arena satura o aire, unidas con mortero, usando una metodología de evaluación de indicadores similar a la de Sina Safinia & Amani Alkalbani [93], en la figura 3.6 es posible apreciar el procedimiento de preparación de pruebas.

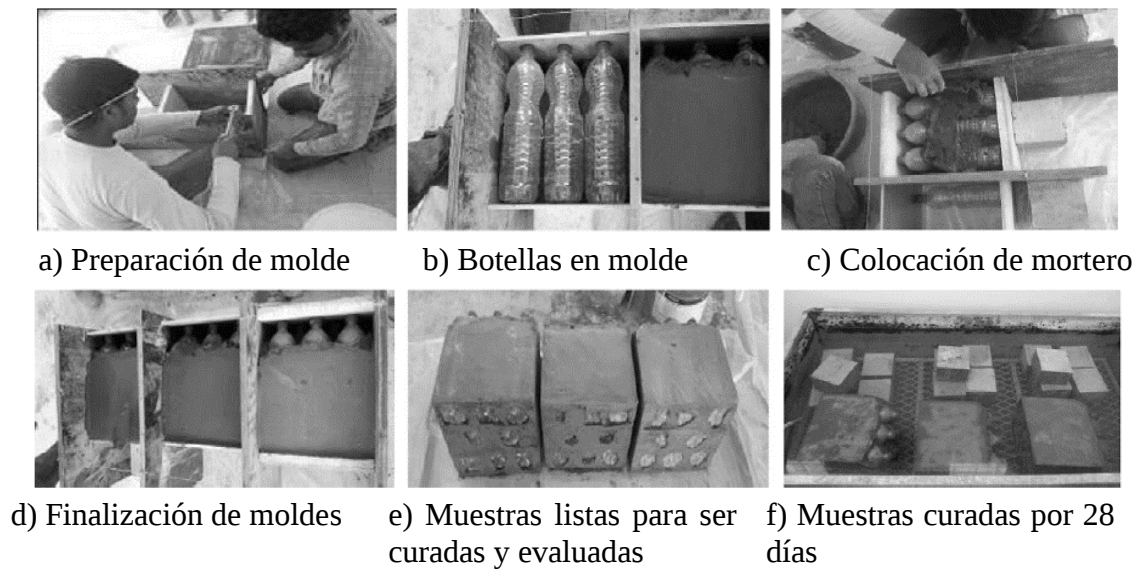


Figura 3.6. Preparación de muestras [94]

J.J. Sokolowska & K. Zalegowskie [95] realizaron una evaluación de calidad ultrasónica del concreto de polímero-cemento con residuos de PET en adiciones de 10%, 20% y 25% del volumen total, teniendo como objetivo la determinación del tiempo de tránsito en que la onda ultrasónica pasa a través de las muestras de concreto con polímero y el cálculo de velocidad de la onda. Los resultados de la experimentación en tanto a la velocidad de onda ultrasónica (m/s) resaltaron una disminución de 18% cuando se emplea PET con dimensiones de 0 a 8mm con 25% de adición.

3.2 Patentes relacionadas

Han sido diversos los intentos por crear algún nuevo material o elemento en el ámbito de la construcción el cual pueda cumplir con todas las normativas necesarias para su utilización, ya sea que al final cumplan con estas mismas o no, pero las propuestas de nuevos elementos constructivos que al mismo tiempo propongan posibles soluciones ante problemas ambientales al utilizar como materia prima algún componente que se encuentre en el medio ambiente a manera de contaminante, como es el caso del plástico, son casi inexistentes [96-102], al contar con información nula y posible falta de interés por parte de investigadores e inventores. Mientras que por otro lado se muestra interés por el proceso o método por el cual se puede llevar a cabo un elemento o conglomerado de la construcción y/o los componentes de este mismo [103-110].

Tabla 3.6. Patentes relacionadas con el aprovechamiento de plástico para la elaboración de un elemento constructivo o proceso

#	Nombre	Inventor	Año	Número de Patente
1	Agregado artificial de PET para la fabricación de hormigón aligerado.	Lo Presti, S. & Martines, E.	2010	ES2 335 277
2	Apparatus for mixing ingredients of concrete and other plastics and cements.	Charles Sooysmith	1884	US304,366.
3	Lightweight aggregate.	Richard A. Ahlbeck	1982	US4,341,562
4	Thermoplastic polymer concrete structure and method.	Richard C. Prusinski	1984	US4,427,818
5	Method for recycling plastic into cementitious building products.	John P. Sawyers	1995	US5,422,051
6	Aggregate using recycled plastics. **	Earl T. Balkum	2002	US6,488,766 B2
7	Thermosetting plastic composition.	Richard W. Hansen	2004	US 6,824,832 B2
8	Method of preparing an asphalt paving material containing recycled plastics.	Gina M. Gallant	2005	US 2005/0089371 A1
9	Pet artificial aggregate for the preparation of lightened concrete.	Salvatore Lo Presti, Enrico Martines	2006	US 2006/0106.191 A1

10	Geometric shaped concrete aggregate.	Damon Scott Lunsford Et Al.	2018	US 2018 / 0201543 A1
11	Composite wall panel.	Mohammed Ibrahim Et Al.	2019	US 2019/0284804 A1
12	Method for manufacturing polymer concrete by using construction waste and industrial waste, and polymer concrete manufactured by method.	Kim Min Gu	2019	WO2019177193 A1
13	Method for manufacturing of paver blocks and bricks from industrial waste.	Ashish Kumar Et Al.	2019	US 2019/0284768 A1
14	Method for recycling waste thermoplastic materials and using this recycled thermoplastic in composite material production.	Ali Hakan Guven	2017	US 9,643,348 B2
15	Concreto con incorporación de agregados plásticos reciclados de residuo virgen (scrap) o de elementos post consumo de polietileno de alta densidad (PEAD).	José Eduardo Hernández Guerrero	2017	MX/A/2017/013238
16	Bloque modular constructivo super ligero.	Arturo Hernández Figueroa	2009	MX/a/2009/000837

*Elaboración propia.

**Abandonada.

3.2.1 Materiales o elementos

Inventores como Arturo Hernández Figueroa [102], ciudadano mexicano, realizó un “bloque modular constructivo super ligero”, que se diferencia totalmente al contar con dimensiones y estructura totalmente diferente, contando con cavidades y costillas estructurales en su interior, así como conectores estructurales en sus 4 costados y un sistema de ensamblaje machihembrado que sustituye a la bovedilla, al casetón, tabique y block de cemento-arena convencional, fabricado con concreto celular, espumado y desechos sólidos reciclados ya sea cartón, papel, plástico, PET, PVC, materiales metálicos, entre otros materiales; en cambio, otra patente mexicana MX/A/2017/013238 [101], hace referencia al resultado de incorporar plástico reciclado de residuo virgen

“scrap” o de elementos post-consumo de solamente Polietileno de Alta Densidad (PEAD) en sustitución de los agregados gruesos a mezclas de concreto, sin llegar a una forma definida, siendo que anteriormente en 1984 la patente americana US4,427,818 de Prusinski R. en el 1984 [97] protege una estructura y método de concreto polimérico y se refiere más específicamente a una estructura de concreto polimérico termoplástico construida a partir de residuos plásticos contaminados (ABS), de otro modo inutilizables, no reciclables, producidos mezclando los residuos plásticos contaminados con material de relleno seleccionado, calentando los plásticos para permitir la mezcla del material de relleno con los plásticos, y solidificando el plástico mezclado y el material de relleno en las formas de molde deseadas.

Asimismo, patentes como la americana US4,341,562 [96] establecen un concreto resultado de modificado sin incorporaciones de plástico, adicionando gránulos de polvo de horno de cemento que han sido sometidos a un tratamiento térmico bajo a alta humedad, demostrando que hay diversas incorporaciones que se pueden hacer al concreto convencional para lograr un resultado que, si bien, puede ser diferente cumpliendo con los requerimientos necesarios. La patente americana abandonada US 6,824,832 B2 [98] tenía la intención de proteger un agregado para su uso en materiales de construcción cementosos que comprende los pasos para proporcionar partículas de plástico y partículas de grano abrasivo que tengan diámetros menores que los diámetros de las partículas de plástico e incorporarlos a productos cementosos.

Tan solo en el 2018 Damon Scott consiguió la patente americana US2018/0201543 [99] de un agregado con forma geométrica definida teniendo la opción de ser hueca y de solamente concreto convencional, agregando la variación de ser de plástico, teniendo como resultado un agregado que mejora el comportamiento de una mezcla de concreto.

Como se ha visto, tanto la creación de un aglomerado, así como la de un nuevo agregado con adiciones de residuos sólidos, han sido el producto de ideas de los inventores mencionados, pero en la patente americana concedida US2019/0284804 Ibrahim et al. [100] mejoró el comportamiento de un mortero convencional que se pudo haber utilizado en la creación de un panel para muro, agregando aditivos y uniendo materiales que pudieran servir solo de capas como el mismo mortero.

3.2.2 Equipo o método

Inventores no solo se han delimitado en la creación de un elemento/material y/o agregado de construcción que se pueda incorporarse al concreto ya sea para llegar a una forma definida o no, patentes como la elaborada por Guven A. [111] protegen el método de reciclaje de plásticos y su transformación obteniendo materiales compuestos con propiedades de alta resistencia, mientras que otras como la de Ashish Kumar [110] protegen un método para construir blocks y ladrillos desde residuos industriales, al igual que la patente coreana WO2019177193A1 [109] que además de manejar residuos industriales, utiliza residuos de concreto en la fabricación de un nuevo concreto.

Teniendo resultados finales como un elemento estructural, también los hay los no estructurales como una composición plástica termoestable como método de protección de superficies con adiciones de plástico [106], los equipos de mezcla de residuos de concreto, plásticos y otros cementantes con fuerza mecánica a través de la molienda [104] y métodos para preparar otros elementos necesarios en la construcción además de la que usa concreto como lo es el asfalto que contiene plástico reciclado [107]. A diferencia de las demás existe la patente US5,422,051 [105] consistiendo en un método para reciclar plásticos mediante la fabricación de un producto de construcción cementoso endurecido, considerando una clasificación muy delimitada y una limpieza de los plásticos obtenidos.

3.3 Normatividad

Todo proceso de elaboración de concreto hidráulico, así como los materiales que lo componen deben de ser sujetos a una normatividad correspondiente, buscando garantizar la calidad final de una mezcla, obteniendo los resultados más cercanos a la realidad [112], ejemplo de ello es que en todas las investigaciones la metodología se apega a la normatividad del país en la que se elaborada algún espécimen para evaluación, José Manuel G. muestra las normatividades utilizadas durante sus pruebas de elaboración de un concreto hidráulico con residuos de concreto y demolición (RCD) como se muestra a continuación:

Tabla 3.7 Normatividades para pruebas a materiales y concreto en México [112]

Norma Oficial Mexicana	Descripción	Etapa
NMX-C-073-ONNCCE-2004	Masa volumétrica	Caracterización de los materiales
NMX-C-077-ONNCCE-1997	Análisis granulométrico	
NMX-C-111-ONNCCE-2004	Especificaciones y métodos de prueba	
NMX-C-152-ONNCCE-2010	Determinación de la densidad del cemento	
NMX-C-164-ONNCCE-2002	Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso	
NMX-C-165-ONNCCE-2004	Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino	
NMX-C-166-ONNCCE-2006	Contenido de agua	
NMX-C-436-ONNCCE-2004	Coeficiente volumétrico en agregado grueso	Elaboración
NMX-C-159-ONNCCE-2004	Elaboración y curado de especímenes	
NMX-C-156-ONNCCE-2010	Determinación del revenimiento	
NMX-C-162-ONNCCE-2010	Determinación de masa unitaria, rendimiento y contenido de aire	Pruebas en estado fresco

NMX-C-083-ONNCCE-2002	Determinación de la resistencia a la compresión	
NMX-C-128-ONNCCE-1997	Determinación del módulo elástico	Pruebas en estado endurecido
NMX-C-163-ONNCCE-1997	Determinación de resistencia a la tensión	
NMX-C-191-ONNCCE-2004	Determinación de resistencia a la flexión	

4. Metodología

Los alcances del presente estudio son la revisión de datos de distintos investigadores para la factibilidad del uso de plásticos en mezclas de concreto hidráulico en distintas proporciones, ya sea como reemplazo en agregados finos o gruesos.

De manera general se puede distinguir un proceso de investigación en donde resaltan las siguientes etapas para el proyecto “Revisión de los factores que influyen en el desempeño del concreto hidráulico elaborado con adiciones de plástico reciclado”:

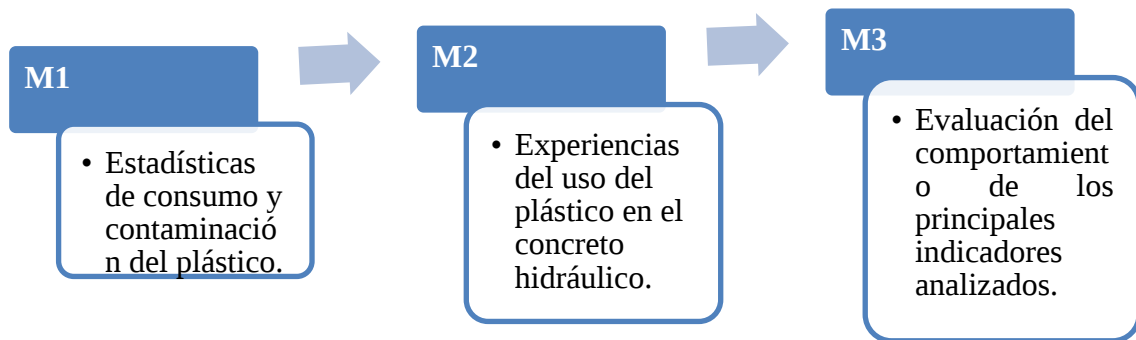


Figura 4.1 Metodología general de análisis. Elaboración propia

Se propone una ruta metodológica para la realización de pruebas de concreto hidráulico con plástico reciclado, para su posterior evaluación mediante las normativas correspondientes y evaluar los posibles usos que se le pueden dar a este tipo de mezcla.

4.1 M1: Estadísticas de consumo y contaminación del plástico

Para poder dar inicio es necesario conocer cuales han sido las producciones de plástico en el mundo, así como el porcentaje de reciclaje que hay y el porcentaje que se encuentra dentro de las estadísticas de contaminantes. Dichos datos son buscados dentro de base de datos en paginas de internet del gobierno, asociaciones civiles y artículos de divulgación científica, con el fin de obtener un panorama de la situación en la que nos encontramos consecuencia del manejo de los plásticos.

4.2 M2: Experiencias del uso del plástico en el concreto hidráulico

Como segunda parte y adentrándonos en el tema principal que se busca evaluar, se inició una investigación exhaustiva acerca de las experiencias que se han tenido al utilizar plástico en mezclas de concreto con fines de evaluación en sus propiedades en estado fresco y endurecido, empezando por la elaboración de una tabla con función de una ficha de investigación, recolectando información acerca de quienes han sido los actores principales en este tipo de investigaciones, el año en el cual fueron elaboradas dichas investigaciones, así como el país de precedencia, los plásticos utilizados, tipo de sustitución, porcentajes de reemplazo e indicadores evaluados.

Tabla 4.1 Estructura de ficha de investigación

Nombre del artículo	Autor(es)	Año	País	Proporción de adiciones	Tipo de plástico	Reemplazo en Finos o Gruesos	Indicadores
---------------------	-----------	-----	------	-------------------------	------------------	------------------------------	-------------

*Elaboración propia.

Una vez construida la ficha de investigación fue posible obtener los resultados por los diversos autores de las pruebas realizadas a distintos tipos de mezcla de concreto con plástico reciclado o en algunas ocasiones plástico virgen, mismos que permitieron reflejar las diferencias que hay entre el comportamiento de un concreto hidráulico convencional contra concreto hidráulico modificado con adiciones de plástico en distintos tamaños o formas, considerando diferencias como el porcentaje de agua/cemento que pudiera haber en cada una de ellas.

Durante su construcción también se han identificado experiencias acerca de como además de intentar lograr buenos resultados a través de la reutilización del plástico dentro de una mezcla de concreto hidráulico, existen quienes lo han intentado para un mortero o elemento constructivo modular como lo es el bloque y el ladrillo.

Por último, se realizó una revisión acerca de distintos tipos de patentes, buscándose expedientes de solicitudes de patentes (aprobadas, así como solo solicitadas), dentro de las plataformas y buscadores adecuados (Google Patents, Scopus, IMPI, Patent lens) [113-116] relacionados con las palabras clave recolectadas de la ficha de investigación, analizando los expedientes recolectados, entendiendo lo que pretendía proteger cada uno de los inventores, y, se clasificaron bajo el año de expedición de derecho de patente otorgado, país en el que se protegió, compañía que manejó el trámite o para la cual trabajaba el inventor y la clasificación a la cual pertenece según la World Intellectual Property Organization (WIPO).

4.3 M3: Evaluación del comportamiento de los principales indicadores evaluados

Como ultimo paso, se definieron los principales indicadores evaluados en estado fresco y endurecido para poder realizar revisión de interpretaciones de resultados y discusión entre datos de los autores, además de puntualizar las diferencias que se pueden encontrar en las características de los agregados plásticos que se utilizan, los procesos de preparación del agregado plástico, cantidades de reemplazo, relaciones de agua/cemento empleados y reducciones o aumentos según sea el caso.

5. Resultados y Discusión

Al ser descrita la metodología tomada, se da paso a la comprobación de objetivos, identificación de los actores y los principales indicadores analizados por estos mismos.

5.1 Objetivos

De acuerdo al desarrollo del proyecto mediante la investigación, al evaluar los factores técnicos del concreto hidráulico con plástico reciclado fue posible observar que la comparación entre una mezcla con plástico y una mezcla convencional ha sido evaluada durante bastantes años y que aún existe áreas de mejoras para este tipo de estudios con respecto a los resultados que se han obtenido, además de lograr evidenciar mediante la literatura existente lo siguiente:

- a) Falta de caracterización de los tipos de plásticos que se encuentran contaminando el medio ambiente e inexistencia de una base de datos y programa que dé seguimiento a ello.
- b) Identificación de los tipos de plásticos utilizados como agregados en una mezcla de concreto hidráulico.
- c) Identificación de los principales indicadores evaluados en la utilización de plásticos reciclados para una mezcla de concreto hidráulico.
- d) Tener puntos de referencia acerca del comportamiento al que pueden tender las mezclas de concreto al contar con adiciones de plástico contra una mezcla de concreto convencional.

5.2 Tipos de plásticos empleados

Como se mencionó en el marco teórico, los plásticos representan una gran ventaja para el sector industrial debido a sus propiedades físicas y químicas para ser moldeado a casi cualquier forma, presentándose en el sector comercial como una ventaja principalmente para el envasado de productos y generalmente como ultima disposición como contaminante en el medio ambiente, dependiendo del tipo de empleos que se le den, razón por la cual autores buscan no solo evaluar el comportamiento de un concreto hidráulico con plástico reciclado, sino que también apoyar la situación actual de contaminación por plástico.

Tabla 5.1 Autores, año y país donde se realizó la investigación, tipo de plástico utilizado y proporciones de adiciones

Autor(es)	Año	País	Tipo de plástico	Proporción de adiciones
N.M.M. Treasa Shinu, S. Needhidasan	2019	India	E-Plastic	12%, 17%, 22%
Xuemiao Li et al.	2019	China	Review	Review
Maher Al-Tayeb Mustafa et al.	2019	Palestina	Polycarbonato	5%, 10%, 20%
F.S. Khalid et al.	2018	Malasia	PET y Plástico Sintético	0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%
C. Jacob-Vaillancourt & Luca Sorelli	2018	Canadá	PP, PE, PS y PVC	5%, 10%, 20%
A. Ismail Al-Hadithi, N.N. Hilal	2016	Iraq	PET	0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%, 1.75%, 2.00%
A.M. Azhdarpour et al.	2015-2016	Irán	PET	5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%
J.L. Ruiz-Herrero et.al.	2015	España	PE, PVC y PE+PVC	2.5%, 5%, 10%, 20%
A.M. da Silva et al.	2014	Portugal	PET	5%, 10%, 15%
Semiha Akçaözog˘lu et.al.	2012	Turquía	PET	30%, 40%, 50%, 60%
Dora Foti & Franceso Paparella	2013-2014	Italia	PET	PET Strips (losas)
Fernando Fraternali et al.	2014	Italia	PET	1% (Volumen total)
Zhi Ge et. al.	2014	China	PET	15%
Francesco Colangelo et. al.	2016	Italia	Poliolefina	10%, 20%, 30%
Md. Jahidul Islam et. al.	2016	Bangladesh	PET	20%, 30%, 40%, 50%
A. C. Bhogayata & N. K. Arora	2017	India	Plástico metalizado (PM)	0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%
Shutong Yang et. al.	2015	China	PP	10%, 15%, 20%, 30%
Fareed Mahdi et. al.	2013	India	PET	10% del peso del agregado total

B. Coppola et. al.	2016	Italia	PP, PE	10%, 25%
J.R. Correia et. al.	2014	Portugal	PET	7.5%, 15%
Rajat Saxena et. al.	2018	India	PET	5%, 10%, 15%, 20%
Mustafa M. Al-Tayeb et al.	2017	Palestina	Plástico de vehículos (PV)	5%, 10%, 15%
H. Alperen Bulut & Remzi Şahin	2017	Turquía	Resina de Poliéster y E-Plastic	5%, 15%, 25%
Abolfazl Hassani et al.	2005	Irán	PET	20%, 30%, 40%, 50%, 60%
Abhishek Jain et al.	2018	India	PEBD	5%, 10%, 15%, 20%
Rytis Skominas et al.	2017	Lituania	PE y PP	5%, 10%, 15%, 20%, 25%
J. Thorneycroft et al.	2017-2018	Inglaterra	PET, PEAD, PEBD y PP	10%
J. O. Akinyele & I. O. Toriola	2018	Nigeria	PET	5%, 10%, 15%, 20%, 100%
Martina Záleská et al.	2018	Republica Checa	PP	10%, 20%, 30%, 40%, 50%
J. O. Akinyele & A. Ajede	2018	Nigeria	Mezcla	5%, 10%, 15%, 20%
K.S. Kumar & K. Baskar	2014	India	E-Plastic	10%, 20%, 25%, 30%, 50%
A.I. Al-Hadithi & Mahamood F. Al-Ani	2018	Iraq	PET	2.5%, 5%, 7.5%
Santhosh M. Malkapur et al.	2014	India	PEAD	10%, 20%, 30%
Aysha Zeneeb Majeed et al.	2019	India	PEAD	12%, 14%, 16%, 18%
Ahmad K. Jassim	2016	Iraq	PEAD	15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 80%
Rafat Siddique et. al.	2008	India	PET y PS	10%, 15%, 20%
Zainab Z. Ismail & Enas A. AL-Hashmi	2008	Iraq	PE y PS	10%, 15%, 20%
Kateřina Nováková et. al.	2017	Republica Checa	PET*	100%
Sina Safinia & Amani Alkalbani	2016	Omán, Asia	PET*	N/A

A.M. Habib Mansour & Subhi A. Ali	2014- 2015	Egipto	PET*	N/A
A. Mohammed Hameed & B. Abdul-Fatah Ahmed	2019	Iraq	PET	1%, 3%, 5%, 7%, 10%
Raju Sharma & Prem Pal Bansal	2016	India	Review	Review
Nabajyoti Saikia & Jorge de Brito	2014	Portugal - India	PET	5%, 10%, 15%
Nabajyoti Saikia & Jorge de Brito	2012	Portugal	Review	Review
R.V. Silva et al.	2013	Portugal	PET	7.5%, 15%
Fahad K. Alqahtani & Idrees Zafar	2020	Arabia Saudita	Polietileno lineal de baja densidad (PELBD)	20%
Joaquín R. Cuetara Ricardo	2019	Cuba	PET	1%, 5%
I.H. Alfahdawi et al.	2019	Iraq	PET	0.25%
Artid Poonyakan	2018	Tailandia	PET, PEAD, PEBD y PP	5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50%
Swaptik Chowdhury et al.	2013	India	PET	0.5%, 1%, 2%, 4%, 6%
Nabajyoti Saikia & Jorge de Brito	2013	Portugal	PET	5%, 10%, 15%
J. J. Sokolowska & K. Zalegowski	2018	Polonia	PET	0%, 10%, 20%, 25%
Choi et al.	2005	Corea del Sur	PET	25%, 50%, 75%

*Elaboración propia

Una vez filtrados los datos generales acerca del tipo de plástico utilizado por diversos autores podemos decir que dentro de nuestra muestra de muestra tenemos que el PET ha sido el plástico mayormente utilizado para su análisis dentro de una mezcla de concreto hidráulico (coincidiendo a que se trata del plástico mayormente empleado para el envasado de la mayoría de los productos empleados por la sociedad), seguido por el polietileno (PE) en donde se distingue con mayor cantidad el polietileno de alta densidad en comparación al uso del polietileno de baja densidad. El polipropileno se desarrolla en el 3 lugar de empleo, seguido por “otros” en donde se evalúan plásticos de

procedencias específicas, como lo es de piezas de computadoras o vehículos, o resultado de alguna alteración química, siendo el PVC uno de los menos evaluados.

Con respecto a las comparaciones que se pueden llegar a realizar entre investigadores el proceso se torna un tanto complicado debido a sus metodologías, debiéndose a que si bien pueden coincidir en el tipo de plástico y el tipo de sustitución (fino o grueso), los procesos de preparación del plástico reciclado difieren, así como las dimensiones o formas geométricas en las que son utilizados, el empleo de aditivos o simplemente las propiedades de los agregados naturales que prevalecen en las mezclas.

5.3 Relación de resultados en los principales indicadores

Como continuación a la tabla 4.1, se complemento con información acerca de cuales fueron los indicadores evaluados para cada uno de los autores dentro de las pruebas en estado fresco y endurecido, prevaleciendo el indicador del revenimiento o trabajabilidad, y densidad para el primer tipo de pruebas (estado fresco), para un estado endurecido la densidad, resistencia a la compresión, tensión, flexión y pruebas de impacto.

Las resoluciones dadas por los autores tienden a relacionar sus variaciones en indicadores respecto a una mezcla convencional debido a las mismas propiedades del tipo de plástico que adicionan o utilizan para la elaboración de una nueva mezcla, es por ello que se realizan cambios en la relación de agua/cemento o se emplean algunos tipos de aditivos. Si bien, se han encontrado similitudes o rangos parecidos de disminuciones en ciertos indicadores no quiere decir que los resultados publicados se puedan repetir con exactitud, ya que como se ha mencionado, los factores que están presentes al momento de utilizar un tipo de plástico y más si es reciclado son muy variados.

6. Conclusión

Los datos y resultados obtenidos en esta investigación indican que los concretos elaborados con algún tipo de reemplazo en sus agregados naturales (finos o gruesos) puede llegar a ser competitivo en comparación a un concreto convencional tomando en cuenta los límites y rangos que se consideran aceptables en las normas utilizados por los autores para diferentes tipos de usos dentro del área de la construcción, aunque si bien fue visto que las reducciones en las resistencias son notables ante la presencia del plástico reciclado esto no quiere decir que no pueda convertirse en una mezcla ideal para algunos usos estructurales y no estructurales.

Es de suma importancia señalar que algunos concretos con plástico reciclado lograron obtener alguna mejora en indicadores evaluados, pero, lamentablemente los aumentos no son muy significativos, además, de presentarse en su mayoría para escasos porcentajes de reemplazo de 0% a 1%.

Datos como los mostrados acerca de la cantidad de plástico contaminando nuestro planeta debe ser razón de concientización para empezar a ser más efectivos y proponer cada vez nuevas soluciones desde diferentes áreas de estudio, como lo es con esta investigación. Información como la procedencia de cada estudio es de suma importancia ya que refleja los lugares en los cuales: a) se le ha dado más relevancia al problema ambiental por el plástico y b) la búsqueda de mejora continua con respecto a nuevas tecnologías para lograr aprovechar lo que podemos encontrar “gratis” en el medio ambiente y que al mismo tiempo solo es estorbo para la naturaleza.

Así como es posible indagar en publicaciones de divulgación científica, también es posible conocer los diversos métodos, sistemas, elementos y materiales que se han patentado o que aún están en proceso, actividad que no es tomada en cuenta en la mayoría de las ocasiones, omitiendo información no sobre estudios si no ideas plasmadas en acciones de comercialización.

Una mezcla de concreto que cuente con algún porcentaje de reemplazo de plástico reciclado y que además cuente con resultados similares a la de una mezcla normal, representa una mejora en términos técnicos, ecológicos y no se sufriría un cambio al sistema constructivo, logrando que empresas constructoras no tengan que invertir en capacitaciones adicionales para empleados, es por ello que es necesario respaldar el empleo del plástico reciclado variando métodos de procesamiento de este mismo para ser utilizado, encontrando la forma geométrica adecuada, el porcentaje de reemplazo necesario y en qué tipo de agregado.

7. Referencias

- [1] S., & Xxi, S. Los segregadores de basura y los factores de riesgo a la salud. Internacional. (2017).
- [2] Rosana Gaggino, Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. (2006).
- [3] Datos sobre la producción de plásticos. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>.
- [4] N·CMT·2·02·005/04, libro: CMT. Características de los materiales, parte: 2. Materiales para estructuras.
- [5] Neville, A. M. & Brooks J. J. “Concrete Technology, segunda edición, libro” Pág.24. (2010).
- [6] Rivera L. Gerardo, “Libro de tecnología del concreto y mortero”, Universidad del Cauca, disponible en: <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>
- [7] Neville, A. M. “Tecnología del concreto, libro”. Instituto mexicano del cemento y del concreto. Primera edición, tercera reimpresión. (1999).
- [8] Aspdin Joseph: BP5022 (1824).
- [9] *PlasticsEurope*, ¿Qué son los plásticos? Consultado el 2019, disponible en: <https://www.plasticseurope.org/>
- [10] Góngora Pérez Juan P. “La industria del plástico en México y el mundo, Comercio Exterior, volumen 64, número 5. (2014).
- [11] La clasificación de los plásticos, consultado el 2020, disponible en: <https://gestoresderesiduos.org>
- [12] Tipos de plásticos, disponible en: https://www.recytrans.com/wp-content/uploads/2013/07/Tipos_Plasticos.jpg
- [13] Rafat Siddique. Waste Materials and By-Products in Concrete. Springer, Verlag Berlin Heidelberg, XVI, 416, 2008.
- [14] Los productos plásticos generan el 90% de la basura marina del planeta, disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/los-productos-plasticos-generan-el-90-de-la-basura-oceanica-del-planeta>
- [15] La producción mundial de plásticos creció un 3.16% en 2018, disponible en: <https://mundoplast.com/produccion-plasticos-2018/>
- [16] La producción mundial de plásticos creció un 3.16% en 2017, disponible en: <https://mundoplast.com/produccion-mundial-plasticos->

[2017/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20de%20pl%C3%A1sticos%20creci%C3%B3%20un%203%2C8%25%20en,8%25%20m%C3%A1s%20que%20en%202016.](#)

- [17] Geyer, Roland, Jenna R. Jambeck, and Kara Lavender Law. “Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made - Supplementary Information.” *Science Advances* 3(7): 19–24. (2017).
- [18] Plastics – the Facts 2018, an analysis of European plastics production, demand and waste data, disponible en: <https://www.plasticseurope.org/>
- [19] María Luisa Santillán, Ciencia UNAM, DGDC, Una vida de plástico, consultado en 2018, disponible en: <http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
- [20] Pedro Cáceres, ¿Cuánto plástico hemos generado desde que se inventó y a donde ha ido a parar?, consultado en 2017, disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20170719/424210992121/balance-mundial-produccion-plasticos-residuos.html>
- [21] Producción mundial de plásticos, Programa de Naciones Unidad para el Medio Ambiente (PNUMA), disponible en: <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>
- [22] Información acerca del plástico, disponible en: <https://oceanconservancy.org/>
- [23] Gráficos de amenaza por el plástico, disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901#:~:text=Miles%20de%20millones%20de%20botellas%20de%20pl%C3%A1stico...&text=En%202016%20se%20vendieron%20alrededor,de%20las%20bebidas%20Coca%20Cola.>
- [24] Marimar Tello, Industria del plástico en México mantiene su crecimiento para 2018. Disponible en: <https://www.mypress.mx/negocios/crecimiento-del-plastico-en-mexico-3011>
- [25] Arturo Cristán Frías, Irina Ize Lema Y Arturo Gavilán García. La situación de los envases de plástico en México, *Gaceta Ecológica. Número 69*
- [26] Gomez, Guadalupe, Montserrat Meneses, Lourdes Ballinas, and Francesc Castells. “Characterization of Urban Solid Waste in Chihuahua, Mexico.” *Waste Management* 28(12): 2465–71. (2008).
- [27] Ojeda-Benítez, S., Armijo de Vega, C., Ramírez-Barreto, M.E., Characterization and quantification of household solid wastes in a Mexican city. *Resources Conservation and Recycling* 39, 211–222. (2003).
- [28] Buenrostro, O., Bocco, G., Bernache, G. Urban solid waste generation and disposal in México: a case study. *Waste Management & Research* 19, 169–176. (2001).

- [29] Compton FR, Macinnis. Field trial of fly ash concretes. Ontario Hydro Research News, pp. 18–21. (1952).
- [30] Al-Manaseer AA, Dalal. TR Concrete containing plastic aggregates. *Concrete International* 19 (8): 47–52. (1997).
- [31] Choi Y-W, Moon D-J, Chung J-S, Cho S-K. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research* 35: 776–781. (2005).
- [32] Azhdarpour, Amir Mahyar, Mohammad Reza Nikoudel, and Milad Taheri. “The Effect of Using Polyethylene Terephthalate Particles on Physical and Strength-Related Properties of Concrete; A Laboratory Evaluation.” *Construction and Building Materials* 109: 55–62. (2016).
- [33] Islam, Md Jahidul, Md Salamah Meherier, and A. K.M.Rakinul Islam. “Effects of Waste PET as Coarse Aggregate on the Fresh and Harden Properties of Concrete.” *Construction and Building Materials* 125: 946–51. (2016).
- [34] Bayasi Z, Zeng J. Properties of polypropylene fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal* 90 (6): 605–610. (1993).
- [35] Soroushian P, Plasencia J, Ravanbakhsh S. Assessment of reinforcing effects of recycled plastic and paper in concrete. *ACI Materials Journal* 100 (3): 203–207. (2003).
- [36] Alqahtani, F. K., & Zafar, I. Characterization of processed lightweight aggregate and its effect on physical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 230, 116992. (2020).
- [37] Saikia, Nabajyoti, and Jorge De Brito. “Mechanical Properties and Abrasion Behaviour of Concrete Containing Shredded PET Bottle Waste as a Partial Substitution of Natural Aggregate.” *Construction and Building Materials* 52: 236–44. (2014).
- [38] Al-Tayeb, Mustafa M. et al. “Ultimate Failure Resistance of Concrete with Partial Replacements of Sand by Waste Plastic of Vehicles under Impact Load.” *International Journal of Sustainable Built Environment* 6(2): 610–16. (2017).
- [39] Saxena, Rajat et al. “Impact Resistance and Energy Absorption Capacity of Concrete Containing Plastic Waste.” *Construction and Building Materials* 176: 415–21. (2018).
- [40] Khalid, F. S. et al. 2018. “Performance of Plastic Wastes in Fiber-Reinforced Concrete Beams.” *Construction and Building Materials* 183: 451–64. (2018).
- [41] Bhogayata, Ankur C., and Narendra K. Arora. 2017. “Fresh and Strength Properties of Concrete Reinforced with Metalized Plastic Waste Fibers.” *Construction and Building Materials* 146: 455–63. (2017).
- [42] Ruiz-Herrero, José Luis et al. “Mechanical and Thermal Performance of Concrete and Mortar Cellular Materials Containing Plastic Waste.” *Construction and Building Materials* 104: 298–310. (2016).

- [43] Colangelo, Francesco, Raffaele Cioffi, Barbara Liguori, and Fabio Iucolano. "Recycled Polyolefins Waste as Aggregates for Lightweight Concrete." *Composites Part B: Engineering* 106: 234–41. (2016).
- [44] Mustafa, Maher Al Tayeb, Ismail Hanafi, Rade Mahmoud, and B. A. Tayeh. "Effect of Partial Replacement of Sand by Plastic Waste on Impact Resistance of Concrete: Experiment and Simulation." *Structures* 20(April): 519–26. (2019).
- [45] Jacob-Vaillancourt, Colin, and Luca Sorelli. "Characterization of Concrete Composites with Recycled Plastic Aggregates from Postconsumer Material Streams." *Construction and Building Materials* 182: 561–72. (2018).
- [46] Akçaözoğlu, Semiha, Kubilay Akçaözoğlu, and Cengiz Duran Atış. "Thermal Conductivity, Compressive Strength and Ultrasonic Wave Velocity of Cementitious Composite Containing Waste PET Lightweight Aggregate (WPLA)." *Composites Part B: Engineering* 45(1): 721–26. (2013).
- [47] Yang, Shutong, Xiaoqiang Yue, Xiaosong Liu, and Yao Tong. "Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Containing Recycled Plastic Particles." *Construction and Building Materials* 84: 444–53. (2015).
- [48] Suchithra S, Indu V S. Study on Replacement of Coarse Aggregate by E-Waste in Concrete, *International Journal Of Engineering Research & Technology* (IJERT) NCRACE – 2015, Volume 3 – Issue 29. (2015).
- [49] Ankit Mathur, Akhil Choudhari, Parnika Singh Yadav, Mr. Krishna Murari. "Experimental Study of Concrete Using Combination of E-Waste and Plastic Waste as Coarse Aggregate." *International Journal of Civil Engineering* 4(5): 36–39. (2017).
- [50] Mary Treasa Shinu, N. M., and S. Needhidasan. "An Experimental Study of Replacing Conventional Coarse Aggregate with E-Waste Plastic for M40 Grade Concrete Using River Sand." *Materials Today: Proceedings* 22: 633–38. (2020).
- [61] Senthil Kumar, Kaliyavaradhan, and Kaliyamoorthy Baskar. 2015. "Recycling of E-Plastic Waste as a Construction Material in Developing Countries." *Journal of Material Cycles and Waste Management* 17(4): 718–24.
- [62] Correia, J. R., J. S. Lima, and J. De Brito. "Post-Fire Mechanical Performance of Concrete Made with Selected Plastic Waste Aggregates." *Cement and Concrete Composites* 53: 187–99. (2014).
- [63] Jain, Abhishek et al. "Utilization of Shredded Waste Plastic Bags to Improve Impact and Abrasion Resistance of Concrete." *Environment, Development and Sustainability* 22(1): 337–62. (2020).
- [64] Skominas, Rytis & Zvinakevičius, Linas & Gurskis, Vincas & Sadzevicius, Raimondas. Evaluation Of Suitability To Use Plastic Waste In Concrete Production. 10.15544/RD.2017.024. (2018).

- [65] Záleská, Martina et al. "Structural, Mechanical and Hygrothermal Properties of Lightweight Concrete Based on the Application of Waste Plastics." *Construction and Building Materials* 180: 1–11. (2018).
- [66] Akinyele, J. O., and A. Ajede. "The Use of Granulated Plastic Waste in Structural Concrete." *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development* 10(2): 169–75. (2018).
- [67] ACI 213. 2003. Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. Farmington Hills, MI, USA: ACI committee 213, American concrete institute.
- [68] Al-Hadithi, Abdulkader I., and Mahamood Fawzi Al-Ani. "Effects of Adding Waste Plastics on Some Properties of High Performance Concrete." *Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE* 2018-September(I): 273–79. (2019).
- [69] Malkapur, Santhosh M. et al. "Effect of Mix Parameters on the Strength Performance of Waste Plastics Incorporated Concrete Mixes." *Journal of Structures* 2014: 1–8. (2014).
- [70] Yadav, Ishwar Singh. "Laboratory Investigations of the Properties of Concrete Containing Recycled Plastic Aggregates." *International Journal of Research Sciences and Advanced Engineering* 2(15): 133–39. (2008).
- [71] Ismail, Zainab Z., and Enas A. AL-Hashmi. "Use of Waste Plastic in Concrete Mixture as Aggregate Replacement." *Waste Management* 28(11): 2041–47. (2008).
- [72] Hameed, Awham Mohammed, and Bilal Abdul Fatah Ahmed. "Employment the Plastic Waste to Produce the Light Weight Concrete." *Energy Procedia* 157(2018): 30–38. (2019).
- [73] Thorneycroft, J., J. Orr, P. Savoikar, and R. J. Ball. "Performance of Structural Concrete with Recycled Plastic Waste as a Partial Replacement for Sand." *Construction and Building Materials* 161: 63–69. (2018).
- [74] Silva, R. V., J. De Brito, and Nabajyoti Saikia. "Influence of Curing Conditions on the Durability-Related Performance of Concrete Made with Selected Plastic Waste Aggregates." *Cement and Concrete Composites* 35(1): 23–31. (2013).
- [75] Poonyakan, Artid, Manaskorn Rachakornkij, Methi Wecharatana, and Watanachai Smittakorn. "Potential Use of Plastic Wastes for Low Thermal Conductivity Concrete." *Materials* 11(10): 1–18. (2018).
- [76] Alfahdawi, Ibrahim H., S. A. Osman, R. Hamid, and Abdulkader Ismail AL-Hadithi. "Influence of PET Wastes on the Environment and High Strength Concrete Properties Exposed to High Temperatures." *Construction and Building Materials* 225: 358–70. (2019).

- [77] Al-Hadithi, Abdulkader Ismail, and Nahla Naji Hilal. "The Possibility of Enhancing Some Properties of Self-Compacting Concrete by Adding Waste Plastic Fibers." *Journal of Building Engineering* 8: 20–28. (2016).
- [78] Martina Záleská, Milena Pavlíková, Jaroslav Pokorný, Ondřej Jankovský, Zbyšek Pavlík, Robert Černý. "Structural, Mechanical and Hygrothermal Properties of Lightweight Concrete Based on the Application of Waste Plastics." *Construction and Building Materials* 180: 1–11. (2018).
- [79] Mahdi, Fareed, H. Abbas, and Asif Ali Khan. "Flexural, Shear and Bond Strength of Polymer Concrete Utilizing Recycled Resin Obtained from Post Consumer PET Bottles." *Construction and Building Materials* 44: 798–811. (2013).
- [80] Bulut, H. Alperen, and Remzi Şahin. "A Study on Mechanical Properties of Polymer Concrete Containing Electronic Plastic Waste." *Composite Structures* 178(June): 50–62. (2017).
- [81] Cuetara Ricardo, Joaquín Raúl. Use of Residues of Crushed Pet Bottles in the Form of a Scale as an Addition to the Manufacture of Concrete. In book: *Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete*, pp.251-263 (2020).
- [82] Foti, Dora, and Francesco Paparella. "Impact Behavior of Structural Elements in Concrete Reinforced with PET Grids." *Mechanics Research Communications* 57: 57–66. (2014).
- [83] Fraternali, Fernando, Saverio Spadea, and Valentino P. Berardi. "Effects of Recycled PET Fibres on the Mechanical Properties and Seawater Curing of Portland Cement-Based Concretes." *Construction and Building Materials* 61: 293–302. (2014).
- [84] Bahareh Kaveh, Hynda Kladib Aoun, Zakwan Arab, Thomas Kemp. "Performance of concrete with recycled plastic waste". *Proceedings of the International Conference on Waste Technology & Management, Journal of SSolid Waste Technology & Management*.
- [85] Hassani, Abolfazl, Hossein Ganjidoust, and Amir Abedin Maghanaki. "Use of Plastic Waste (Poly-Ethylene Terephthalate) in Asphalt Concrete Mixture as Aggregate Replacement." *Waste Management and Research* 23(4): 322–27. (2005)
- [86] Akinyele, J. O., and I. O. Toriola. 2018. "The Effect of Crushed Plastics Waste on the Structural Properties of Sandcrete Blocks." *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development* 10(6): 709–13. (2018).
- [87] Majeed, Aysha Zeneeb et al. 2019. "Partial Replacement of Aggregates with Granulated Waste Plastic in Solid Concrete Blocks—An Intensive Study." : 405–15.

- [88] Majeed A.Záleská., Kurian T., Davis B., Alex S.T., Fernandez K.S., Mathew A.V. Partial Replacement of Aggregates with Granulated Waste Plastic in Solid Concrete Blocks—An Intensive Study. In: Drück H., Pillai R., Tharian M., Majeed A. (eds) *Green Buildings and Sustainable Engineering*. Pp 405-415 (2019).
- [89] Zavala Arteaga, Guillermo. “Diseño Experimental de Materiales Modulares de Construcción Utilizando Plásticos Reciclado Como Agregado.” Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Revista Tecnológica, 6.6.5. (2015).
- [90] Jassim, Ahmad K. “Recycling of Polyethylene Waste to Produce Plastic Cement.” *Procedia Manufacturing* 8(October 2016): 635–42. (2017).
- [91] Gaggino, Rosana. “Ladrillos Y Placas Prefabricadas Con Plásticos Reciclados Aptos Para La Autoconstrucción Recycled Plastic Bricks and Panels for Selfconstruction.” *Nº 63*(August 2008): 137–63. (2008).
- [92] Nováková, Kateřina, Karel Šeps, and Henri Achten. “Experimental Development of a Plastic Bottle Usable as a Construction Building Block Created out of Polyethylene Terephthalate: Testing PET(b)Rick 1.0.” *Journal of Building Engineering* 12(May): 239–47. (2017).
- [93] Safinia, Sina, and Amani Alkalbani. “Use of Recycled Plastic Water Bottles in Concrete Blocks.” *Procedia Engineering* 164(June): 214–21. (2016).
- [94] Mansour, Ashraf Mansour Habib, and Subhi A. Ali. “Reusing Waste Plastic Bottles as an Alternative Sustainable Building Material.” *Energy for Sustainable Development* 24: 79–85. (2015).
- [95] Sokołowska, J. J., and K. Zalegowski. 2018. “Ultrasonic Quality Assessment of Polymer-Cement Concrete with Pet Waste as the Aggregate.” *Archives of Civil Engineering* 64(2): 67–77. (2018).
- [96] Richard A. Ahlbeck: US4,341,562 (1982).
- [97] Richard C. Prusinski: US4,427,818 (1984).
- [98] Earl T. Balkum: US6,488,766 B2 (2002).
- [99] Damon Scott Lunsford Et Al.: US 2018/0201543 A1 (2018).
- [100] Mohammed Ibrahim Et Al.: US 2019/0284804 A1 (2019).
- [101] José Eduardo Hernández Guerrero: MX/A/2017/013238 (2017).
- [102] Arturo Hernández Figueroa: MX/A/2009/000837 (2009).
- [103] Lo Presti, Salvatore Y. Martines, Enrico: ES2 335 277 (2010).
- [104] Charles SooySmith: US304,366 (1884).

- [105] John P. Sawyers: US5,422,051 (1995).
- [106] Richard W. Hansen: US 6,824,832 B2 (2004).
- [107] Gina M. Gallant: US 2005/0089371 A1 (2005).
- [108] Salvatore Lo Presti, Enrico Martines: US 2006/0106.191 A1 (2006).
- [109] Kim Min Gu: WO2019177193 A1 (2019).
- [110] Ashish Kumar Et Al.: US 2019/0284768 A1 (2019).
- [111] Ali Hakan Guven: US 9,643,348 B2 (2017).
- [112] José Manuel Gutiérrez Moreno. Tesis de Maestría, Reutilización de escombros de concreto hidráulico en nuevos procedimientos constructivos. Universidad Autónoma de Baja California (UABC) 2014.
- [113] Google Patents, <https://patents.google.com/>
- [114] Scopus, patents section, <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>
- [115] IMPI-SIGA, <https://sig.a.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/principal.jsf>
- [116] Patent Lens, <https://www.lens.org/lens/new-search>