



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS NO CONVENCIONALES EN FUNCIÓN A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO PARA EDIFICACIONES URBANAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE 2010 - 2020

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en **Ingeniería Civil**

Autores:

Aarón William Valenzuela Huerta
Katya Alexandra Cobeñas Escobedo

Asesor:

Ph. D. Ing. Heberth Diestra Cruz

Trujillo - Perú

2020

Tabla de contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO III. RESULTADOS	12
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS.....	29

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales que más se emplean en la construcción, acorde a ello podemos asumir que el uso de agregados es alto, por lo que su transporte y chancado en grandes cantidades genera un impacto ambiental negativo (Cuadros, 2018) Es decir, tiene un importante aporte en el uso de recursos naturales y emisiones ambientales. De hecho, el 40% de los gases de efecto invernadero son causados por el entorno de la construcción, llegando al punto de producirse alrededor de 25 giga toneladas de concreto (Gursel, et al. 2014). Por ello, el empleo de nuevos agregados, además de ser una alternativa ecológica, nos ayudaría a encontrar un uso diferente y funcional a los materiales ya propuestos, logrando así una mayor sostenibilidad en el área de la construcción. (Terreros y Carvajal, 2016).

Para poder producir concreto, se necesita el uso de materias primas no renovables. Debido a que este es un material muy usado en la actualidad y por la manera que se extraen sus principales componentes, haciendo uso de la minería a cielo abierto, se considera que ocasiona un impacto ambiental desfavorable. (Bedoya y Dzul, 2015). Por eso, hoy en día se viene investigando el uso de otro tipo de agregados para que actúen de modo similar que un convencional, con la finalidad de disminuir el efecto negativo que genera el uso de estos en el medio ambiente (Ramírez y Tapias, 2018). Destacando que los áridos reciclados según su composición y propiedades físico-mecánicas pueden utilizarse como reemplazo parcial o total de los áridos naturales en la producción de morteros y hormigones (Pavón, Martínez y Etxeberria, 2014).

La resistencia que presenta el concreto es una de las propiedades físico- químicas más importantes. Esta característica está relacionada con el proceso de cambio que manifiesta, esta

alteración viene a ser una reducción paulatina de su trabajabilidad, pasando por tres diferentes etapas, la primera en la que el concreto es maleable, la segunda en la que progresivamente va adquiriendo resistencia y perdiendo maleabilidad, y la última en la que la rigidez se eleva hasta que alcanza las propiedades de diseño esperadas. (Terrerros y Carvajal, 2016). De hecho, la resistencia evalúa la calidad de las mezclas desarrolladas en concreto de manera eficiente y segura, especificando un margen de seguridad estructural (Baquero, Güiza y García, 2019). Siendo así, de suma importancia, el verificar que la calidad que presenten los agregados no convencionales, así como la comparación de su desempeño mecánico con los agregados naturales para que demuestren la viabilidad de este tipo de materiales explorados (Serrano y Pérez, 2010).

Es decir, los agregados no convencionales empleados para la elaboración del concreto, no solo deben ser económicos y amigables con el medio ambiente, sino que deben cumplir con ciertos estándares de resistencia para poder ser empleados en la construcción de edificaciones y sean viables como alternativa a los agregados más usados de hoy en día.

En los últimos diez años, varias investigaciones tanto nacionales como internacionales han demostrado que la resistencia del concreto va cambiando, en otras palabras disminuye o aumenta, de acuerdo a la cantidad de agregado reciclado que se le agregue a la mezcla (Jordan Saldaña y Viera Caballero 2014). Por consiguiente, la relación de agregado reciclado / cemento está directamente proporcional con la resistencia, ya que, si esta es poca, dicha perdida sería mínima (González-Fonteboa et al., 2018).

Siendo el caso de la fibra de Furcraea Andina que en 3 porcentajes menores al 1% como alternativa a los agregados finos convencionales, los resultados de resistencia a la compresión

indicaron que al 0.75% del reemplazo, hubo un declive en su resistencia máxima llegando a reducirse hasta la mitad, mientras que con menos porcentaje de esta fibra se usase la resistencia se incrementaba, viendo que al tener la menor cantidad de fibra de todas las muestras se observa que ésta interfiere en la adherencia de la pasta de cemento. (Vargas, 2018). Así como también la Gaia Nanosílice, utilizada en cantidades bajas de 0.5% y 0.7% con el objetivo de conseguir un concreto más resistente, alternando también la relación entre el agua y el cemento, encontrando como resultado más favorable un aumento considerable de la resistencia con la dosis mayor. (Pérez, 2019)

Por otro lado, en el transcurso de los últimos 30 años se ha promovido el uso del concreto de gran desempeño, las demoliciones de este tipo de edificaciones derivan en restos que podrían ser utilizados como agregado, teniendo una resistencia superior como agregado de concreto reciclado, ya que proviene de mezclas de alta resistencia. (Sadowska-Buraczewska, Barnat-Hunek y Szafraniec, 2020). Teniendo el caso de países como Corea, Japón y Dinamarca, que están aprovechando esta materia y acorde a estudios en ciertos casos usan de reemplazo el concreto reutilizado como agregado fino llegando a tener mejor respuesta a la compresión que el concreto ordinario. (Cao et al., 2020)

Además, se sabe que el uso de cierta cantidad de emisiones de escoria de litio incrementa la resistencia a la compresión de las muestras en comparación con la misma cantidad de agregado de concreto reciclado dado que la escoria de litio tiene una mayor retención que el agua y mejor adhesión que este, optimizando la porosidad que este presenta. (Qin, Chen y Zhang, 2019). Del mismo modo, el uso de desechos metalúrgicos, los cuales en conjunto con el concreto reciclado

como agregado para una mezcla de concreto llegarían a tener una mayor resistencia a la compresión que una compuesta con agregados convencionales. (Pizón et al., 2020)

Han sido muchos los avances, pero aún hay mucho por resolver ya que aún quedan muchos agregados por explorar y la interacción que estos tengan con la pasta de cemento sería fundamental para encontrar alternativas a los agregados no convencionales. Cabe resaltar que las investigaciones más exhaustivas han sido desarrolladas en otros países, éstas reflejaron distintas alternativas competentes, pero para controlar y motivar el uso de este material a los ingenieros del Perú, es necesario hacer más estudios específicos, referentes al menos al concreto reciclado, ya que su uso sería rentable y beneficioso para el país.

Por lo cual viene siendo necesaria realizar una revisión sistemática de este tema ya que de esa manera se podría tener mayor información acerca de los agregados no convencionales tanto en sus propiedades, así como en su costo, obteniendo resultados similares respecto a un agregado tradicional. Logrando impulsar su uso y de alguna manera mitigar aquellos impactos negativos que tiene la elaboración de un concreto convencional. Es decir, habría que realizar estudios referentes al desempeño del agregado de concreto reciclado en condiciones de elevadas temperaturas, ya que vimos en todos los casos que tiene una gran absorción de agua.

Además de estudiar más a fondo su resistencia a los cloruros, ya que acorde a lo visto es mejor a la de los agregados no convencionales, esto siendo se suma importancia, porque podría llevar incluso a una reducción normativa de recubrimiento mínimo para este tipo de agregado.

Inclusive acorde a (San Martín, 2019) otro punto de obtención de agregado de concreto reciclado, además de demoliciones, podría ser el uso de probetas recicladas, ya que se producen muchas y su destino generalmente es el desecho de éstas en un botadero.

Por lo que, para darse una normativa referente a este tema, habría que tener un especial cuidado, ya que es pertinente conocer la resistencia de diseño con la cual fue diseñada para poder asignarle parámetros acordes ello.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Pregunta de interés

La interrogante que se estableció la introducción del presente artículo para, de este modo, desarrollar la metodología fue la siguiente:

¿Cuáles son los agregados no convencionales más usados en función a la resistencia del concreto para edificaciones urbanas entre los años 2010 - 2020?

El objetivo de este artículo es presentar el resultado de una revisión sistemática de literatura basada en la influencia de los tipos de agregados en función a la resistencia del concreto para edificaciones urbanas en el período 2010 – 2020.

Estrategias de búsqueda de información

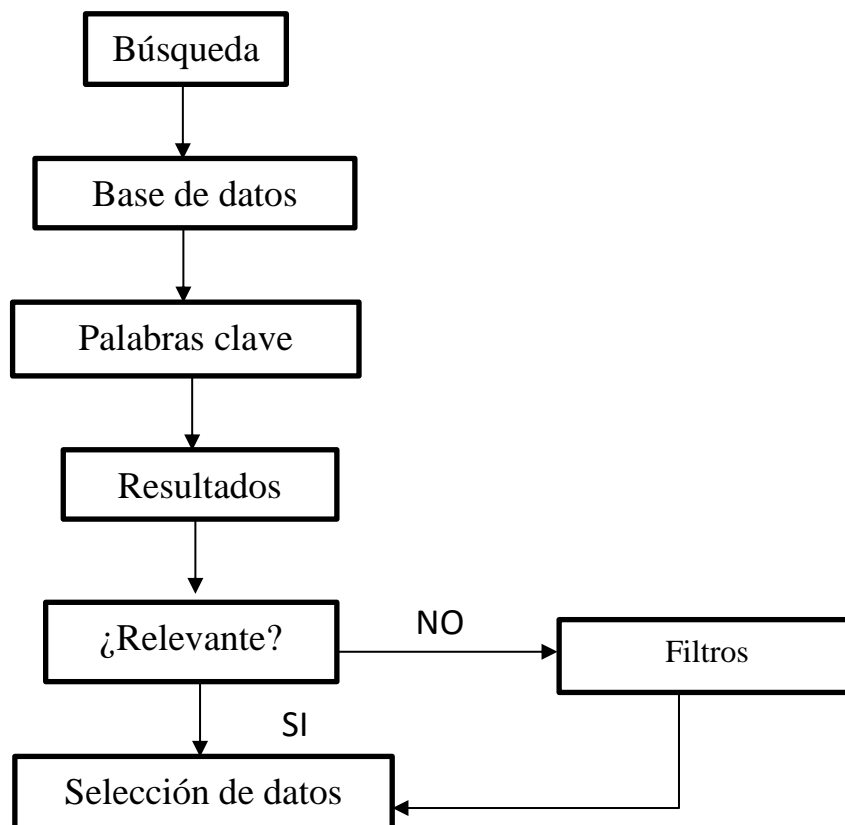
Para el desarrollo de la revisión sistemática se utilizó la biblioteca virtual que nos ofrece la universidad, encontrando ahí bases de datos como Ebsco y ProQuest. Estas nos facilitaron la búsqueda ya que te permiten guardar en un archivo Excel las fuentes encontradas, recopilando el enlace, los autores y nombre de la investigación. Sin embargo, dada la poca cantidad de investigaciones útiles usamos el Google Académico, con el cual encontramos muchas más referencias.

Las palabras con las que iniciamos la búsqueda fueron: agregado no convencional, concreto, resistencia.

Criterios de inclusión

Al empezar la búsqueda en ProQuest arrojó 15,574 resultados observando que no todos ellos estaban relacionados con nuestro tema de investigación, se aplicaron algunos filtros como año de publicación, tipo de investigación, palabras claves, idiomas y disciplina, reduciéndolos considerablemente a 186. Del mismo modo, en la base de datos Ebsco al iniciar la búsqueda se obtuvieron 320 resultados, se siguió el mismo procedimiento anterior (Ver DIAGRAMA 1). Finalmente, al usar Google Académico nos brindó 63,300 resultados para poder reducirlos solo se usamos el año de publicación como filtro, debido a que este buscador no posee más filtros.

Diagrama 1 Proceso de búsqueda



Fuente: Elaboración Propia

Es decir, para hacer tener información más precisa y específica se tuvieron que aplicar distintos filtros (Ver tabla 1) independientemente de la base de datos que se realice la búsqueda, ya que estas nos brindan en una primera instancia demasiada información no necesariamente relevante para la revisión sistemática.

Tabla 1 Filtros aplicados

Año de publicación	2010 – 2020
Tipo de investigación	Tesis y artículo científico
Palabras claves	concrete, unconventional aggregate, resistencia a la compresión, rare aggregate
Idiomas	Inglés, español y portugués
Disciplina	Ingeniería civil

Fuente: Elaboración Propia

Selección de datos

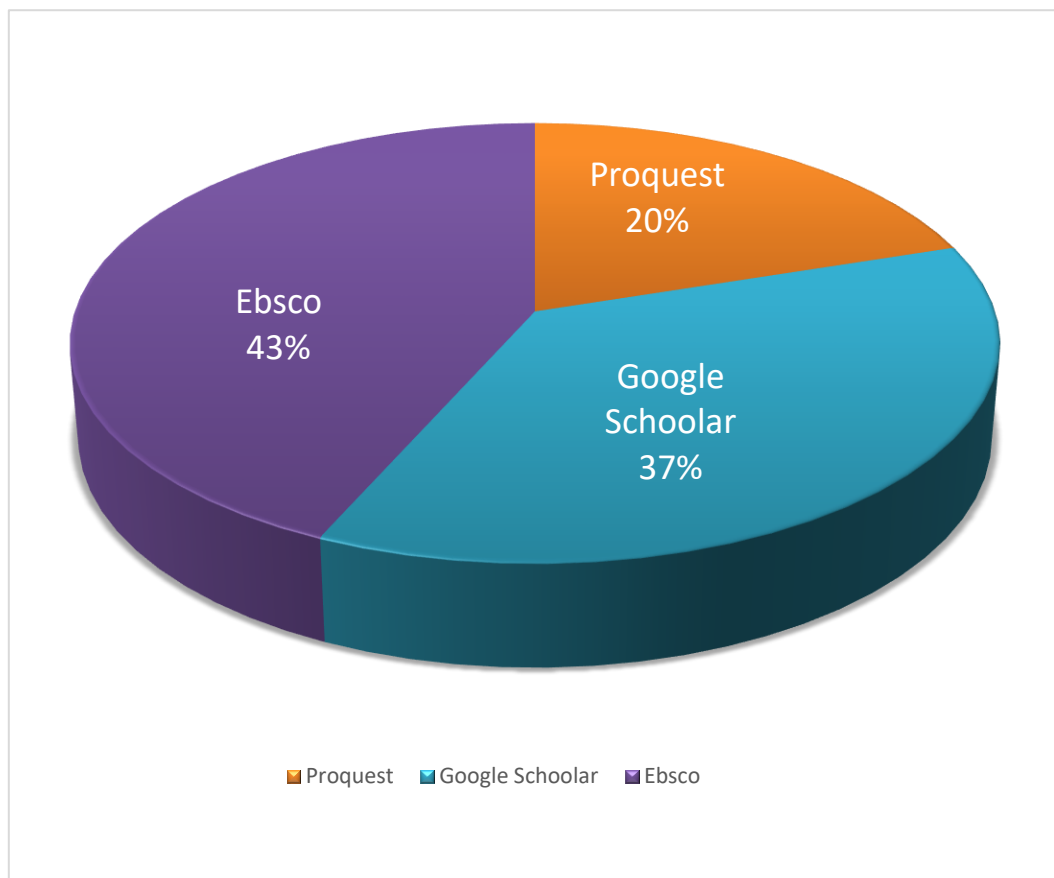
Para la selección de datos utilizamos las bases de datos de EBSCO, PRO QUEST y GOOGLE ACADÉMICO, las palabras claves con la cuales se obtendrá información relacionada con el tema de investigación siendo estas: agregados no convencionales, concreto, agregado reciclado, resistencia a la compresión, propiedades físico- mecánicas, hecho para que el buscador nos entregue resultados con relación a nuestras variables. Sin embargo, no todos fueron

relacionados con nuestro tema de investigación teniendo que aplicar algunos filtros ya antes mencionados, obteniendo resultados más específicos. Encontrando dificultad en la escasa cantidad de artículos científicos en español, por lo que proseguimos a incluir más idiomas, en este caso portugués e inglés. Cabe resaltar que no todas contenían información relevante por lo que había que seguir clasificando la información, ya que había documentos que, si bien trataban agregados no convencionales y resistencia a la compresión, estaban destinadas al área de pavimentación urbana, específicamente a los pavimentos rígidos. Obviamente descartados, ya que nuestro foco de investigación son las edificaciones urbanas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante las bases de datos y filtros previamente antes mencionados, fueron escogidos de acuerdo a la relevancia que estos presentan en la revisión sistemática ya que muchos de los resultados no guardaban relación con nuestro tema a investigar. Notándose que la fuente de la cual tuvimos más información fue EBSCO (Ver Figura 1).

Figura 1 Representación porcentual de los resultados seleccionados



Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo, con ayuda de las bases de datos como EBSCO Y PROQUEST que, mediante la exportación de los resultados a Excel, nos sintetiza la información mediante tablas

organizando de esta manera los resultados, Google Scholar no nos brinda dicha opción, pero siguiendo el modelo de las otras bases de datos ordenar la información obtenida de esta base de datos. Finalmente uniendo todos los resultados (Ver tabla 2), se pudo seleccionar los resultados más relevantes en su contenido con el fin de desarrollar esta revisión sistemática.

Tabla 2 Resultados seleccionados para la revisión sistemática

Título	Fecha	Objetivo Principal
Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros	2019	Evaluar la influencia de la arcilla expandida y piedra pómez como alternativa al agregado convencional
El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana	2015	Estudiar el comportamiento del concreto con agregados de escombros del concreto y mampostería.
Degradation Resistance and Reliability Analysis of Recycled Aggregate Concrete in a Sulfate Environment	2020	Estudiar la influencia de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la degradación por sulfatos del concreto.
Experimental Analysis of Recycled Aggregate Concrete	2018	Realizar un estudio experimental del agregado de concreto reciclado
Estudio tecnológico del concreto $f'c = 250$ kg/cm² elaborado con agregados reciclados usados en edificaciones	2018	Estudiar la influencia del agregado de concreto reciclado en las propiedades físico-mecánicas del concreto.
Análisis de residuos de ladrillo como agregado grueso para la fabricación de concreto	2018	Estudiar las propiedades mecánicas del concreto con agregado de residuos de agregados
Recycled Concrete with Coarse Recycled Aggregate. An Overview and Analysis	2018	Estudiar el concreto reciclado y proponer ecuaciones para definir el desempeño de este tipo de agregado
De concretos sustentables	2018	Evaluar el uso de un residuo agroindustrial como sustitutos parciales de cemento para la elaboración de concretos sustentables
Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review	2014	Estudiar las propiedades del concreto bajo la influencia de agregado de concreto reciclado.
Determinación de los porcentajes óptimos de fibra de vidrio para hormigones de baja, mediana y alta resistencia	2016	Estudiar de como la fibra de vidrio afecta en las propiedades físicas y mecánicas del concreto

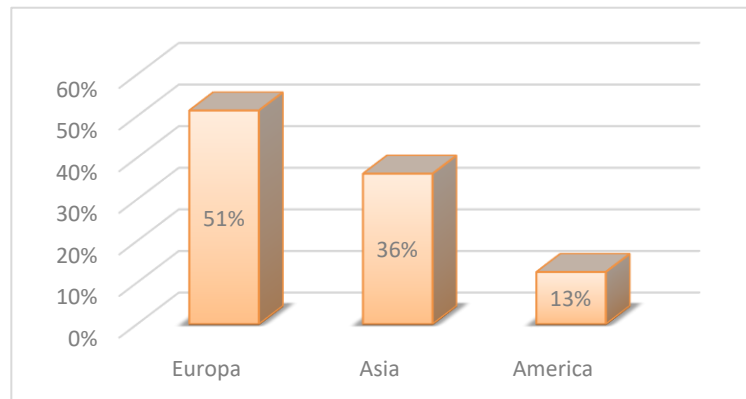
Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra	2014	Determinar la influencia de los agregados de concreto reciclado, en distintas dosificaciones, en la resistencia a la compresión.
Evaluación del comportamiento mecánico de un concreto no convencional adicionando caucho reciclado	2018	Estudiar el desempeño mecánico del concreto con un agregado no convencional, en este caso el caucho.
Residuos Agroindustriales Como Adiciones En La Elaboración De Bloques De Concreto No Estructural	2015	Estudiar los desechos agroindustriales que sirvan para adicionarse a bloques de concreto
Uso de ladrillo de arcilla con exceso de cocción como agregado grueso en concretos hidráulicos	2018	Estudiar la factibilidad del uso del ladrillo con exceso de cocción (ladrillo recocho) como agregado grueso en la elaboración de concretos hidráulicos.
Effects of Recycled Aggregate on Concrete Mix and Exposure to Chloride	2019	Estudiar los efectos de agregados reciclados en la mezcla de concreto y los efectos a la exposición de cloruros.
Carbonation Resistance of Sustainable Concrete Using Recycled Aggregate and Supplementary Cementitious Materials	2019	Evaluar la resistencia a la carbonatación de un agregado reciclado
The production of construction and demolition waste material and the use of recycled aggregates in havana, Cuba	2014	Estudiar el origen de residuos de construcción y demolición, y los posibles usos constructivos que podrían darse.
Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto	2019	Estudiar el uso de ladrillos defectuosos en la elaboración de concreto y su influencia en la resistencia a la flexión y compresión.
Properties of Concrete with Recycled Concrete Aggregate Containing Metallurgical Sludge Waste	2020	Evaluar el desempeño del concreto reciclado que contenga desechos metalúrgicos en el concreto
Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A	2015	Determinar los efectos de vidrio molido en la resistencia que presenten adoquines de hormigón
Effect of High Temperatures on the Impact Strength of Concrete Based on Recycled Aggregate Made of Heat-Resistant Cullet	2020	Evaluar la influencia de las altas temperaturas en la resistencia al impacto del concreto que posea agregados reciclados.
The Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate Concrete with Lithium Slag	2019	Evaluar la influencia del concreto reciclado con agregados gruesos y escoria de litio en las propiedades mecánicas del concreto
Life-Cycle Inventory Analysis of Concrete Production: A Critical Review	2014	Revisar las fortalezas y debilidades de la fabricación del concreto hasta la fecha

Análisis Técnico-Económico del Uso de Concreto Reciclado y el Concreto Convencional en Colombia	2017	Estudiar el desempeño del concreto y sus costos con agregados convencionales y concreto reciclado
Resistencia de concreto con agregado de bloque de arcilla triturado como reemplazo de agregado grueso	2019	Revisar el estado del arte de las investigaciones sobre la resistencia de concretos con el uso de bloque de arcilla triturado como sustitución total del agregado grueso
Influence of Recycled High-Performance Aggregate on Deformation and Load-Carrying Capacity of Reinforced Concrete Beams	2020	Determinar la influencia de los agregados de concreto reciclado en concretos de alto desempeño en su resistencia a la compresión.
Uso de probetas ensayadas del LEMC como agregado grueso reciclado en mezclas nuevas de concreto	2019	Evaluar la factibilidad del uso de concreto reciclado como agregado grueso en mezclas nuevas de concreto y detectar su comportamiento tanto en estado fresco como en estado endurecido
Agregados no convencionales para la preparación de concretos ecológicos	2010	Estudiar los agregados alternativos y su influencia en la resistencia a la compresión, tales como escombros y limalla fina.
Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo	2016	Estudiar las propiedades mecánicas de la fibra de cáñamo en el concreto y la viabilidad que puede tener como agregado alternativo
Influencia de tres niveles de fibra de furcraea andina (penca) sobre la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$.	2018	Estudiar la influencia de fibra de furcraea andina en porcentajes pequeños en la resistencia a la compresión del concreto.
Conventional concrete with addition of recycled rubber tires: Study of the mechanical properties	2011	Analizar el efecto del caucho como agregado parcial del concreto en sus propiedades mecánicas

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos, solo basta con ver el porcentaje de utilización de agregado reciclado (Ver Figura 2), para poder afirmar que el uso de estos es innegable en los últimos años, destacando que en Europa es donde más se emplea. (Cao et al., 2020)

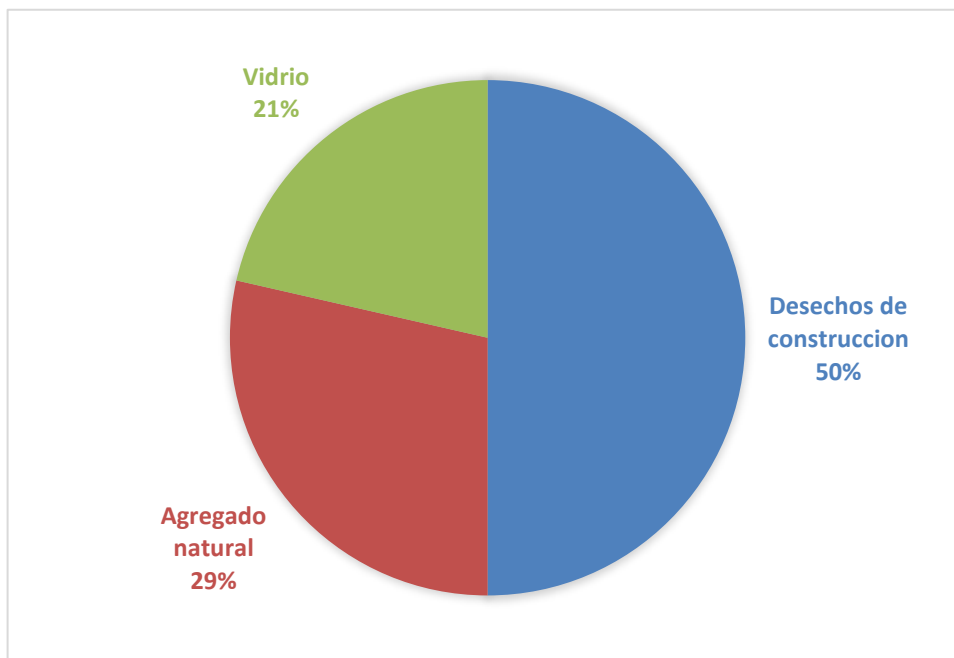
Figura 2 Porcentaje de uso de agregados reciclados



Fuente: Elaboración Propia

Dentro de los agregados reciclados más aprovechados, según la información obtenida en las bases de datos, se pueden dividir en tres grupos: desechos de construcción, agregados naturales y vidrio. Siendo desechos de construcción los más estudiados y empleados ya que representan un 50% (Ver Figura 2).

Figura 3 Porcentaje de agregados más utilizados



Fuente: Elaboración Propia

1. DESECHOS DE CONSTRUCCION

Los desechos de construcción como se puede apreciar anteriormente, son los agregados reciclados más utilizados como una alternativa frente a un agregado convencional, dentro de este grupo se encuentran el concreto reciclado y la mampostería.

En el concreto reciclado se observa que el reemplazo de agregado grueso con agregado de concreto reciclado ocasionó un decrecimiento en la resistencia (Sadowska-Buraczewska, Barnat-Hunek y Szafraniec, 2020) cuando fue mayor el porcentaje de este presente en la mezcla, por otro lado, se observa que, si la mezcla tiene menos de 50 % de concreto reciclado como agregado, la resistencia que este presenta no varía tanto a comparación de la muestra base (Ver tabla 3)

Tabla 3 Resistencia del concreto cuando se usa de agregado el concreto reciclado

Concreto Reciclado		
Autores	% de agregado	Resistencia (MPa)
Rodríguez, Ospina, y Moreno (2017)	0	27.41
	30	28.97
	100	22.77
Chao y Shuli (2018)	0	43.5
	50	37.16
	75	29.4
Pavón, Martínez, y Etxeberria (2014)	0	30
	25	29
	50	26
	100	21

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, observamos que la humedad y absorción de agua son directamente proporcionales con la cantidad de agregado de concreto reciclado agregado en la mezcla, influyendo de esta manera en la resistencia a los cloruros, ocasionando que el concreto mejore su resistencia conforme el pasar de los días. (Nakhi y Alhumoud, 2019).

Además, el concreto reciclado como agregado sustituyente al fino permite que la mezcla consiga una resistencia al sulfato mayor a la convencional, inclusive mostrando una mejor resistencia que el agregado grueso común. (Cao et al., 2020)

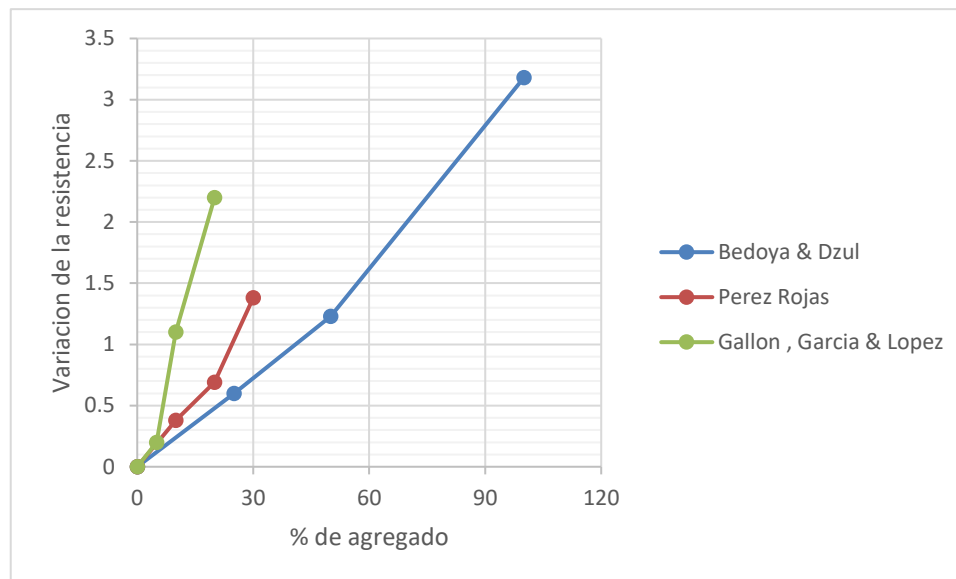
Sin embargo, el concreto reciclado combinado con desechos metalúrgicos como agregado alcanzan una resistencia a la compresión mejor de la esperada, en los ensayos realizados se alcanzó durante el período de 7 a 28 días alcanzando como máximo 52.4 MPa, siendo esto un incremento del 30% de resistencia comparado con un concreto con mezcla convencional, todo ello debido a la relación agua/cemento que se vio intervenida por el consumo alto del acero. (Pizón et al., 2020)

De forma similar, se observa que, si le adicionas escoria de litio al concreto reciclado, esta mejora la retención de agua y la adherencia de concreto, mejorado la porosidad y la resistencia a la compresión, notando que con un contenido del 20% de este material se alcanza un incremento del 17.36% y 17.44% en comparación con un espécimen que no use la escoria de litio. (Qin, Chen y Zhang, 2019)

Al igual que el concreto reciclado, la mampostería es un desecho de construcción por lo que también fue estudiado como agregado no convencional y así de esa manera poder ver su influencia en la resistencia del concreto.

En donde, a través de sus resultados se puede observar que la variación de su resistencia con respecto a los testigos bases son más notorios cuando la presencia de este tipo de agregado en la mezcla es mayor (Ver Figura 4)

Figura 4 Variación de la resistencia



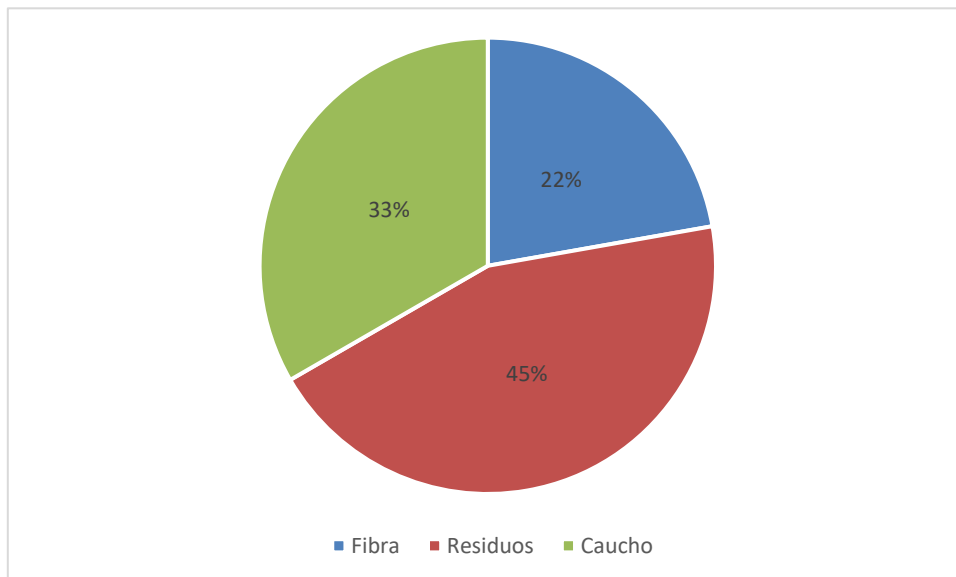
Fuente: Elaboración Propia

Es decir, la resistencia es menor conforme se le va adicionando mampostería como reemplazo del agregado, sin embargo, esta no es mucha con respecto a la mezcla base (Pérez Rojas, 2012), ya que el ladrillo presenta una buena adherencia con la mezcla produciendo que la resistencia no disminuya y su valor sea similar con la muestra base. (Moreto y Abdiel 2018)

2. AGREGADOS NATURALES

Dentro de la información seleccionada se encontró que el 29 % de esta son acerca de los agregados naturales. Al seguir organizando los resultados encontrados, se observó que estos a su vez se subdividen en 2 grupos, destacando que los más usados son los residuos agroindustriales (Ver Figura 5)

Figura 5 Porcentaje de agregados naturales más utilizados



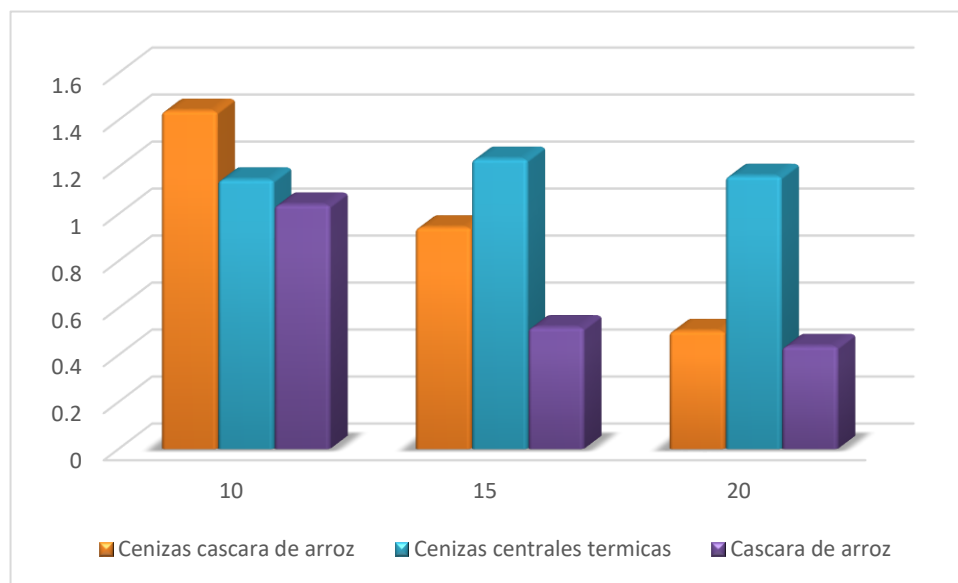
Fuente: Elaboración Propia

Donde, al utilizar fibra de Furcraea andina en cantidades de 0.75%, 0.50% y 0.25% respecto al agregado fino, resultó que al reemplazar un 0.25% al agregado fino, la resistencia de compresión que presentaba era un 14.64% menor a la de un concreto convencional, siendo esta la mejor de las 3 dosificaciones. Notando que incluso, las demás reducían su resistencia conforme aumentaba la cantidad de fibra. (Vargas, 2018).

Del mismo modo, al hacer uso de la fibra de cáñamo en una mezcla como agregado se observó que esta tiene una resistencia favorable con respecto a la de control ya en durante los días 7 y 14 de rotura supero la resistencia de esta, sin embargo, en el día 28 el resultado fue similar para ambas. Además, se apreció que al haber una buena adherencia entre el concreto y el cáñamo cuando hubo la falla en el testigo, este no se rompió por completo como se puede observar en el concreto normal. (Terreros y Carvajal, 2016)

Por otro lado, en los residuos agroindustriales para poder determinar la influencia de este y como afecta su resistencia se hicieron ensayos en el día 28 de curado donde se usaron diversos tipos de residuos con distinto porcentaje 10, 15 y 20 de uso (Ver Figura 6)

Figura 6 Resistencia a la compresión al día 28 utilizando residuos agroindustriales



Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo que cuando se usa cenizas de cáscara de arroz al 20% su resistencia es la menor mientras que al ponerle 10% ya que fue de 1.439 MPa, siendo el mayor resultado para este tipo de residuo. Asimismo, para cenizas centrales térmicas la mejor resistencia se tuvo cuando se usó

el 15%, notando que en este tipo de residuo es donde la resistencia no varía así le agregues más porcentaje de este, del mismo modo con la cáscara de arroz se obtuvo 1.040 MPa con 10%, no cumpliendo los valores mínimo requeridos. (Molina, Tarifa, y Mendoza 2015)

Por otra parte, para un concreto con adición de caucho reciclados de neumáticos se realizaron pruebas mecánicas a mezclas de 0, 1, 3 y 6 %, siendo la de 0% de control. Donde se puede apreciar que al tercer día en la prueba compresión el mejor resultado fue de 27.5 MPa para 6 % superando a la mezcla control. Sin embargo, en el séptimo día ocurrió lo contrario ya que esta última elevó su resistencia a 33.3 MPa, mientras que en 6% se mantuvo el mismo resultado. (Verzegnassi , Lintz, Barbosa y Jacintho , 2011)

No obstante, al aumentar la cantidad de agregado de caucho en la evolución de la resistencia a la compresión se aprecia que para una mezcla de 70% no existe ya que en el día 7 presenta un esfuerzo de 1 MPa mientras que en el día 56 es 0.71 MPa, es decir esta disminuye. En 50 % el aumento ligeramente ya que al realizar la prueba se obtuvo que para el séptimo día fue de 1.46 MPa y para el cincuentaseisavo día 1.68 MPa. Además, con una mezcla de 30% se hace más notoria la diferencia, gracias a que de 3.23 pasa a 7.05 MPa, asimismo, para 10 % la variación fue de 7.18 a 12.73 MPa. Por otro lado, en un hormigón convencional se obtuvo la resistencia como resultado 10.40 a 28.50 MPa. (León y Morales ,2018)

3. VIDRIO

Finalmente, el empleo de agregados como el vidrio resistente al calor lo colocan como una alternativa bastante razonable para producir concreto especial, ya que estos muestran resultados bastantes favorables respecto a la mezcla base (Ver tabla 4)

Tabla 4 Resistencia a la compresión utilizando vidrio como agregado

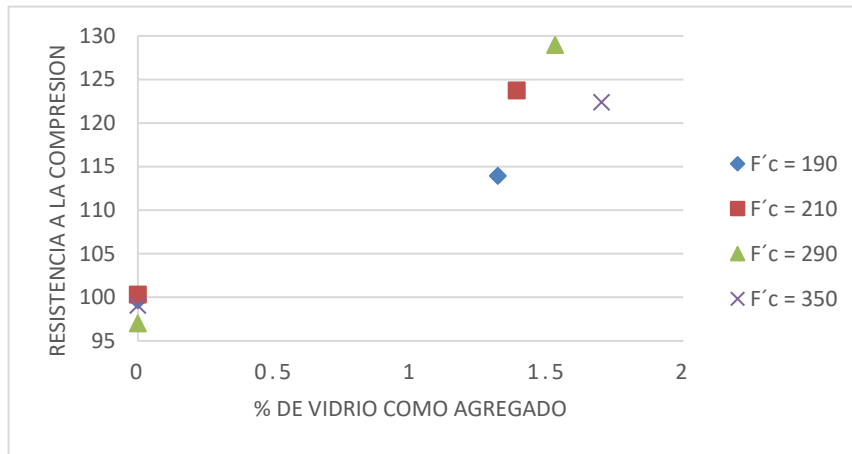
Autores	%	Agregado	Resistencia
Powzka , Szulej & Pawel	0	base	53.70
	5	grueso	43.10
	10	grueso	43.60
Poveda , Granja , Hidalgo & Avila	0	base	44.60
	25	fino	45.40
	15	grueso	45.00

Fuente: Elaboración Propia

Dentro de los resultados se observa que el vidrio como reemplazo del agregado fino presenta una mejor resistencia frente a los que se utilizan como agregado grueso, ya que este obtiene una resistencia de 45.40 MPa superando a su mezcla base.

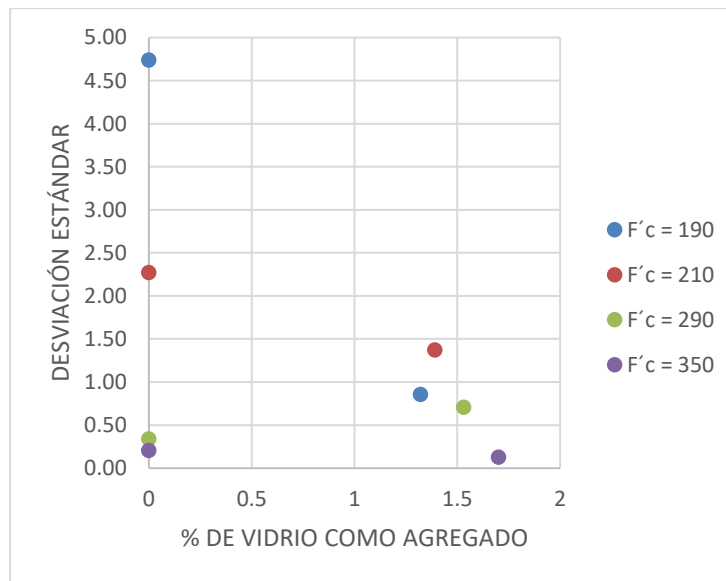
Por otro lado, al analizar la resistencia de distintos diseños de mezcla con fibra de vidrio se aprecia que esta incrementa cuando se le añade este tipo de agregado (Ver Figura 7), donde 290 kg/cm² presenta una mejor resistencia a comparación de las demás. En esta investigación obtuvieron desviaciones estándar de 4.5 como máximo para el concreto convencional, sin embargo, para las dosificaciones planteadas (alrededor de 1.5%) obtienen resultados con desviación estándar menor a 1.5, verificando su confiabilidad de resultados. (Ver Figura 8)

Figura 7 Resistencia a la compresión para distintos diseños de mezclas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8 Desviación estándar para los distintos diseños de mezclas



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática tiene como objetivo el estudio de investigaciones halladas entre el 2010-2020, empleando bases de datos. Como vimos existen muchas investigaciones acerca de los agregados no convencionales, pero los elegidos en el presente trabajo, disponen de por lo menos 3 ensayos por cada dosificación de agregado y desviaciones estándar pequeñas entre resultados de la misma dosificación, además de sustentos teóricos confiables.

1. DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo a los estudios presentados, los agregados no convencionales de esta categoría tienen propiedades que lo convierten en una alternativa razonable al concreto convencional. Pudiendo ver que en cada artículo se presentan datos que igualan el desempeño promedio del concreto convencional. Tal y como podemos apreciar en la investigación de Cao et al. (2020) en la que se obtienen resultados de un concreto elaborado con 30 % de agregado reciclado, obteniendo más de 28 MPa, comparándolo con lo obtenido por Chao y Shuli (2018) que obtuvieron con 50% una resistencia de más de 37 MPa. Esto lo explica claramente que fueron concretos reciclado de distintos sitios y, por lo tanto, de diferentes diseños, sin embargo, en algo en lo que coinciden es que hay una disminución si se usa más del 30% en el primer caso y más del 50 % en el segundo.

Debería estudiarse más a fondo estos resultados para así colocarle límites al porcentaje de este agregado, para así obtener la resistencia máxima hasta antes de llegar al porcentaje que

empiece a reducir su resistencia. Estas dos investigaciones muestran valores razonables, sin embargo, el que arroja resultados por encima del promedio es la investigación de Pizón et al. (2020) quien utilizó concreto reciclado y lo combinó con desechos metalúrgicos llegó a una resistencia máxima de 52.4 MPa, siendo ampliamente superior al concreto convencional, por lo que esta combinación, debería ser estudiada más a fondo y evaluar que tan factible sería elaborar un concreto de este tipo.

Además, existe otro agregado obtenido de los desechos de construcción y este vendría a ser el de mampostería reciclada, siendo este útil para elaborar concreto con fines estructurales, debido a que acorde a los estudios analizados este, si se utiliza en cantidades entre el 25% y el 50% se alcanzan al del concreto convencional. Analizando esto, plantemos que esto se debe a que el ladrillo tiene una buena adherencia con la mezcla de concreto, obteniendo así resultados mejores a lo que veremos posteriormente con el uso de fibras naturales.

2. AGREGADOS NATURALES

Los estudios que obtuvimos de agregados naturales fueron bastante contundentes, para empezar acorde a Vargas (2018) la fibra de furcraea, con una cantidad ínfima de este material (menos del 1%) se mostró que mientras más fibra se agregaba peor era su desempeño, dada la tan baja cantidad y los pésimos resultados, este material debería ser descartado para concretos de uso estructural, además los resultados fueron igual de decepcionantes en la investigación de Molina, Tarifa y Mendoza (2015) quienes analizaron a la cáscara de arroz como agregado quienes con tan solo un 10% se alcanzó tan solo 1.04 MPa, siendo, al igual que el caso anterior, descartado por completo.

A diferencia de los resultados anteriores, en la investigación de fibra de cáñamo de Terreros y Carvajal (2016) se obtuvo un mejor desempeño, alcanzando los resultados de un concreto convencional, y presentaba una correcta adherencia entre el cáñamo y el concreto.

Con la investigación de León y Morales (2018) y la de Vergnassi, Lintz, Barbosa y Jacintho (2011), podemos ver que el caucho en un 6 % alcanza 33.33 MPa, un resultado factible para su uso estructural, pero si seguimos incrementando la cantidad, el mejor resultado que se obtuvo fue al 10% llegando a tan solo 12.73 MPa. Viendo así que debería realizarse un estudio para el uso del caucho en porcentajes entre el 6% y el 10%, para evaluar su desempeño y calificar su uso con más resultados, ya que se aprecia que los residuos agroindustriales ayudan con la elaboración de un concreto sustentable con propiedades parecidas a las observadas en el patrón base.

3. VIDRIO

De acuerdo a los estudios analizados el vidrio como agregado presenta resultados positivos, acorde a la investigación de Powezka, Szulej y Ogrodnik (2020), el vidrio resistente al calor con una cantidad del 10% alcanzó los 43.6 MPa, siendo un valor por encima del promedio, pero sin llegar a ser mejor que lo obtenido por el concreto reciclado con desperdicios de acero. Asimismo, acorde a Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila (2015) el concreto con vidrio molido como agregado con un 25% alcanzó 44 MPa, siendo este como el anterior mencionado óptimos para un concreto estructural, siendo mejores que los agregados convencionales, deberían hacerse más estudios referentes a este tema para evaluar la relación costo-beneficio que estos dos agregados pueden ofrecer.

CONCLUSIONES

En las investigaciones anteriormente vistas se puede analizar que el concreto con agregados reciclados va a depender de la dosificación del concreto previo a su demolición, esto visto en lo investigado por Cao et al. (2018) quien con el 30% de este agregado obtuvo 28 MPa y para Chao y Shuli (2018) con el 50% de este agregado más de 37 MPa, esto comprueba lo concluido ya que para la primera investigación si se supera el 30% el valor de la resistencia empieza a disminuir y para la siguiente es recién a partir de una dosificación mayor al 50%.

Mientras que al emplear agregados naturales se obtuvieron bajos resultados por ejemplo la fibra de frucea con menos del 1% de uso su desempeño era muy malo obteniendo esfuerzos menores en un 50% en comparación con los concretos convencionales, todo esto debido a la mala adherencia entre esta fibra y los demás componentes. Para el caucho, fue mejor, incluso con las investigaciones de León y Morales (2018) y la de Verganassi, Lintz, Barbosa y Jacintho (2011) podemos decir que el siguiente paso en investigaciones de este tema debe ser la resistencia obtenida con dosificaciones entre el 6% y el 10%. Esto dicho ya que con el 6% de caucho se obtuvo un 33.33 MPa y con el 10% solo 12.73 MPa, por lo que habría que investigar con qué porcentaje empieza a disminuir la resistencia a la compresión del concreto.

Para el vidrio resistente al calor acorde a Powezka, Szulej y Ogrodnik (2020) con solo el 10% se obtuvo una resistencia a la compresión del 43.6 MPa, siendo mejor que el concreto convencional, además de que a altas temperaturas su desempeño en comparación con el concreto convencional es incluso mejor, por las mismas propiedades de este vidrio.

REFERENCIAS

- Baquero Sanabria, B; Güiza Galeano, R y García Marin, F. 2019. «Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros». *Ingeniería y Desarrollo; Barranquilla* 37(2):233-55. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/2287429147?accountid=36937>
- Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). «El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana». *Revista ingeniería de construcción*, 30(2), 99-108. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000200002>
- Cao, H., Zhao, L., Lu, C., Guan, L., Qiao, H., & Li, Q. (2020). «Degradation Resistance and Reliability Analysis of Recycled Aggregate Concrete in a Sulfate Environment». *Advances in Materials Science & Engineering*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/5217215>
- Chao, s & Shuli, Z. (2018). «Experimental Analysis of Recycled Aggregate Concrete». *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 16(4), 73–83. <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=0d9aaf67-f396-4af5-b22b-70988afd6f17%40pdc-v-sessmgr02>
- Cuadros, H. (2018). «Estudio tecnológico del concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con agregados reciclados usados en edificaciones». (Tesis de pregrado). Universidad de Cajamarca, Cajamarca.
- Gallón Martínez, Susana, María Esperanza López Gómez, y Carmenza García Restrepo (2018) «Análisis de residuos de ladrillo como agregado grueso para la fabricación de concreto» <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/13341>
- González-Fonteboa et al. (2018). «Recycled Concrete with Coarse Recycled Aggregate. An Overview and Analysis». *Materiales de Construcción; Madrid* 68(330). <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2018.13317>
- González Moreno, Marín-Muñiz, & Baltazar Zamora (2018) . «De concretos sustentables». *Sustentabilidad*, 131.
- Gursel, Petek, Eric Masanet, Arpad Horvath, y Alex Stadel (2014). «Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review». *Cement and Concrete Composites* 51.
- Jiménez Cevallos, y Carlos Luis (2016). «Determinación de los porcentajes óptimos de fibra de vidrio para hormigones de baja, mediana y alta resistencia». (Tesis de pregrado). Universidad de Especialidades Espiritu Santo.

- Jordan Saldaña, José Carlos, y Viera Caballero, Neiser. (2014). «Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra». (Tesis de pregrado) *Universidad Nacional del Santa*.
- León Tapias, Johanna Alexandra, y Ramírez Morales Sergio Andrés. (2018). «Evaluación del comportamiento mecánico de un concreto no convencional adicionando caucho reciclado». 110. <https://hdl.handle.net/20.500.12313/735>
- Molina, Natalia Fuentes, Oscar Iván Fragozo Tarifa, y Lissette Vizcaino Mendoza. (2015). «Residuos Agroindustriales Como Adiciones En La Elaboración De Bloques De Concreto No Estructural/Agro-Industrial Waste as Additions in Development of Concrete Blocks No Structural». *Ciencia e Ingeniería Neogranadina: Science and Engineering Neogranadina; Bogotá* 25(2):99-116. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1434>
- Moreto, Rosas, y Herbert Abdiel (2018) «Uso de ladrillo de arcilla con exceso de cocción como agregado grueso en concretos hidráulicos». (Tesis de pregrado) Universidad de Piura.
- Nakhi, A.B., & Alhumoud, J.M. (2019). Effects of Recycled Aggregate on Concrete Mix and Exposure to Chloride. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2019%2F7605098>
- Khartabil, A., & Al Martini, S. (2019). «Carbonation Resistance of Sustainable Concrete Using Recycled Aggregate and Supplementary Cementitious Materials». *Key Engineering Materials*, 803, 246–252. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.803.246>
- Pavón, E., Martínez, I., & Etxeberria, M. (2014). «The production of construction and demolition waste material and the use of recycled aggregates in havana, Cuba/La producción de residuos de construcción y demolición y el uso de agregados reciclados en la habana, cuba». *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (71), 167-178. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1612550630?accountid=36937>
- Pérez Rojas, Ángela. (2019). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. *Ingenium Revista De La Facultad De Ingeniería*, 13(26), 116-125. <https://doi.org/10.21500/01247492.1287>
- Pizoñ, J., Gołaszewski, J., Alwaeli, M., & Szwan, P. (2020). «Properties of Concrete with Recycled Concrete Aggregate Containing Metallurgical Sludge Waste». *Materials* (1996-1944), 13(6), 1448. <https://doi.org/10.3390/ma13061448>
- Poveda Ricardo, Granja María, Hidalgo Daniel, y Ávila Carlos. (2015). «Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A». *Revista Politécnica* 35(3). Retrieved from https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/413

- Powężka, Jacek Szulej, & Paweł Ogródnik. (2020). «Effect of High Temperatures on the Impact Strength of Concrete Based on Recycled Aggregate Made of Heat-Resistant Cullet». <https://doi.org/10.3390/ma13020465>
- Qin, Y., Chen, J., Li, Z., & Zhang, Y. (2019). «The Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate Concrete with Lithium Slag». *Advances in Materials Science & Engineering*, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/8974625>
- Petek Gursel, A., Eric Masanet, Arpad Horvath, y Alex Stadel. (2014). «Life-Cycle Inventory Analysis of Concrete Production: A Critical Review». *Cement and Concrete Composites* 51:38-48. [10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005)
- Rodriguez, Kelly, Miguel Ospina García, y Moreno Anselmi. (2017). «Análisis Técnico-Económico del Uso de Concreto Reciclado y el Concreto Convencional en Colombia».
- Rodriguez, Kelly, Miguel Ospina García, y Moreno Anselmi. (2019) «Resistencia de concreto con agregado de bloque de arcilla triturado como reemplazo de agregado grueso». *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 27(4):635-42. [10.4067/S0718-33052019000400635](https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000400635)
- Sadowska-Buraczewska, B., Barnat-Hunek, D., & Szafraniec, M. (2020). « Influence of Recycled High-Performance Aggregate on Deformation and Load-Carrying Capacity of Reinforced Concrete Beams». *Materials* (1996-1944), 13(1), 186. <https://doi.org/10.3390/ma13010186>
- San Martín, R. (2019). Uso de probetas ensayadas del LEMC como agregado grueso reciclado en mezclas nuevas de concreto (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura. Piura, Perú
- Serrano, M., & Pérez, D. (2010). «Agregados no convencionales para la preparación de concretos ecológicos».
- Terreros Rojas, Luis Eduardo, y Iván Leonardo Carvajal Corredor (2016). (Tesis pregrado) «Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo». Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Vargas, J. E. (2018). (Tesis de pregrado). Influencia de tres niveles de fibra de furcraea andina (penca) sobre la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$.
- Verzegnassi, Emerson, Rosa Cristina Cecche Lintz, Luisa Andréia Gachet Barbosa, y Ana Elisabete PG de Avila Jacintho. (2011). «Conventional concrete with addition of recycled rubber tires: Study of the mechanical properties». *Estudos Tecnológicos em Engenharia; São Leopoldo* 7(2):98-108. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1776691283/abstract/EB5B7A9F296842B0PQ/1>