

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL VIDRIO RECICLADO MOLIDO
EN LAS PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS PRINCIPALES
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

BRAYAN BRANDON SOBERON MONJA

ASESOR

HECTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

Chiclayo, 2019

Índice

Resumen	3
Abstract.....	4
I. INTRODUCCIÓN	5
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES	6
2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS	13
2.2.1. Concreto	13
2.2.2. Mortero	15
2.2.3. Asfalto	15
2.2.4. Adoquines.....	16
2.2.5. Ladrillo	17
2.2.6. Vidrio.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	18
3.2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	19
3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN	19
3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO.....	20
3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	20
3.6. PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. Estado de conocimiento acerca de la influencia del vidrio reciclado molido en las propiedades de mayor importancia de los principales materiales de construcción.	20
4.2. Formas posibles de uso del vidrio reciclado en el sector construcción.	22
4.2. Efectos del uso de vidrio reciclado en estado triturado sobre las propiedades ingenieriles del material final de construcción:	25
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
VIII. ANEXOS	37

Resumen

En el presente informe de investigación se estudia el efecto del uso del vidrio reciclado en estado triturado sobre las propiedades de mayor importancia de los principales materiales utilizados en construcción. La idea nace del hecho de que con el crecimiento del sector construcción, la contaminación generada por la sobreexplotación de canteras también crece; por ello se busca el desarrollo de insumos “alternativos” aplicados a la ingeniería civil, que mejoren las características de los materiales de construcción y que a la vez promuevan el desarrollo sostenible. El objetivo principal de esta investigación es el de determinar el estado de arte con respecto a los posibles beneficios de la reutilización de vidrio para su uso en construcción.

La idea planteada contribuye al estado de conocimiento sobre materiales alternativos de construcción a nivel local y nacional (debido a que no se cuentan con estudios sobre el tema). Para el desarrollo de esta investigación se ha recurrido al análisis de contenido de fuentes confiables de naturaleza reciente (como tesis y artículos científicos del año 2012 en adelante) para tener una base teórica. Como resultado general del procesamiento de datos se determinó que el uso de vidrio en estado triturado, contribuye a mejorar las propiedades ingenieriles de algunos materiales de construcción (tales como asfaltos, morteros, concretos, ladrillos, etc.); por tanto, es un material óptimo para reutilizar en el ámbito de la ingeniería civil.

Palabras clave: vidrio reciclado, material de construcción, reutilización.

Abstract

This research report studies the effect of the use of recycled glass in crushed state on the most important properties of the main materials used on site. The idea stems from the fact that with the growth of the construction sector, the pollution generated by the overexploitation of quarries also grows; Therefore, the development of “alternative” inputs applied to civil engineering is sought, which improve the characteristics of construction materials and at the same time promote sustainable development. The main objective of this research is to determine the state of the art with respect to the possible benefits of reusing glass for use in construction.

The idea raised contributes to the state of knowledge about alternative construction materials at local and national level (because there are no studies on the subject). For the development of this research, the content analysis of reliable sources of recent nature (such as thesis and scientific articles from 2010 onwards) has been used to have a theoretical basis. As a general result of the data processing, it was determined that the use of crushed glass contributes to improving the engineering properties of some construction materials (such as asphalts, mortars, concrete, bricks, etc.); therefore it is an optimal material to reuse in the field of civil engineering.

Keywords: recycled glass, building material, reuse.

I. INTRODUCCIÓN

Como bien es sabido, el sector construcción ha venido creciendo a un ritmo bastante acelerado en estos últimos años, no solo a nivel nacional sino también internacional. Así por ejemplo, la Cámara Peruana de Construcción (CAPECO) estimó que la tasa de crecimiento del Sector construcción aumentará en un 6.22% respecto al año pasado [1]. Esto ha traído consigo innumerables beneficios económicos y sociales, puesto que no solo se contribuye al PBI del país, sino que se mejora su infraestructura y con ello la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, esto también ha generado problemas medioambientales derivados de la explotación masiva de canteras de áridos para construcción, segundo recurso natural más consumido por el ser humano después del agua.

Por esta razón es que desde hace un par de años atrás se ha venido impulsando la idea de buscar materiales alternativos de construcción en los residuos sólidos no biodegradables, los cuales son potencialmente reaprovechables. La idea de usar “insumos alternativos de construcción” plantea que éstos materiales no solo contribuyan a mejorar las características físicas y mecánicas de materiales finales de construcción, sino también promuevan el desarrollo sostenible de la zona. En ese sentido, lo que se sabe de materiales como los plásticos PET y/o el vidrio aplicados a la rama de la ingeniería civil es muy poco y casi nada difundido a nivel nacional y más aún local. Por ello, es que tecnologías como: mortero con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino o concreto con vidrio triturado en reemplazo parcial del cemento, son de uso nulo en el Sector Construcción nacional; sin saber que dichas técnicas podrían proporcionar mejoras a los materiales finales.

Países como Colombia, Estados Unidos, España, Nigeria, entre otros, han contriuido con algunas investigaciones de este tipo; sin embargo, dicho conocimiento queda pequeño respecto a lo que se sabe de otros métodos como: el uso de la cal o el cemento para estabilizar suelos, o el uso de escorias como adiciones del concreto. Y es justamente la falta de conocimiento lo que genera que dichas técnicas no se usen en proyectos reales, y que cuando se usen generen costos adicionales debido a su producción no industrializada; en algunos casos funda un temor en los profesionales de la construcción cuando se propone usarlas. El vidrio, al provenir de la arena, posee propiedades aparentemente útiles para ser prestadas a materiales como morteros, concretos, asfaltos, etc., sin embargo lo que se conoce acerca del efecto de este residuo sobre dichos insumos es muy limitado. Si se conociera más respecto al tema, se estaría contribuyendo no solo a generar estándares de calidad más elevados para los materiales, sino también a reducir el impacto de la construcción misma en los ecosistemas. Sumado a ello, se lograría la industrialización de producción de vidrio en estado granular o en polvo según sea el requerimiento, y así reducir los costos de su utilización.

Frente a lo descrito anteriormente surge la interrogante ¿qué tanto se conoce a nivel nacional e internacional respecto al efecto del uso de vidrio reciclado en estado triturado sobre las propiedades ingenieriles de los principales materiales de construcción?. Se planteó como objetivo general el determinar el estado de conocimiento acerca de la influencia del vidrio reciclado molido en las propiedades más importante de materiales de construcción tales como: mezclas asfálticas, concreto, morteros, ladrillos de arcilla, etc. Como objetivos específicos se establecieron: averiguar todas las formas posibles de uso del vidrio en el sector construcción; identificar cuáles son los países que más han investigado respecto al tema; determinar si el uso de vidrio como material de construcción ofrece o no mejoras en el material final; identificar los materiales de construcción sobre los que más se ha investigado la incorporación de vidrio molido; evaluar que tan económicamente factible es usar vidrio triturado en proyectos de construcción reales; y cuáles son las granulometrías de vidrio más estudiadas.

La justificación de este trabajo viene enmarcada en los siguientes puntos: en el ámbito científico, se encontró necesaria la realización de esta investigación puesto que a nivel nacional y más aún a nivel local, no se cuentan con estudios acerca del reaprovechamiento de residuos de vidrio para su uso como material alternativo de construcción. En el aspecto ambiental, este estudio promueve el reciclaje y la reutilización, contribuyendo al desarrollo sostenible del país. En el aspecto técnico, esta investigación queda justificada puesto que el vidrio molido posee propiedades físicas y mecánicas similares a los de un árido fino, pudiendo contribuir a mejorar las propiedades que más interesan en los materiales de construcción.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Abbas Jasim (2014) en su investigación “*By using waste glass as secondary aggregates in asphalt mixtures*” [3] realizada por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Babilonia en Iraq, propone usar “Glassphalt”, tecnología ampliamente usada desde 1960 como medio para deshacerse de excedentes de residuos de vidrio. Esta tecnología sugiere usar vidrio triturado como reemplazo parcial (entre el 5% y el 50%) del árido de una mezcla asfáltica en caliente. El principal objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del uso de vidrio residual como agregado secundario en mezclas de asfalto sobre las propiedades de Marshall. Para los ensayos de laboratorio se usó y comparó los estándares establecidos por la AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes) y la State Organization of Road and Bridge (Organización Estatal de Carreteras y Puentes). Los materiales utilizados fueron: cemento asfáltico (60-70), agregado

grueso de tamaño máximo de 1/2" (ambos conseguidos de refinерías y canteras locales), el vidrio se recicló de ventanas rotas y se trituró con ayuda de la máquina de Los Ángeles. La primera parte del estudio abarcó el uso de vidrio triturado como agregado secundario en la mezcla de asfalto en 2 porcentajes (50% y 100%) para 6 diferentes tamaños de grano de vidrio (1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 50 y N° 200). La segunda parte del trabajo consistió en el uso de polvo de vidrio como aditivo, en porcentaje de 1%, 2% y 3% para un tamaño N° 200 y de 2% para N° 50. Se elaboran 3 muestras para cada combinación con el fin de promediar los resultados de los ensayos. Como investigaciones futuras, el autor propone el evaluar el desempeño a largo plazo de proyectos que usan vidrio residual como material de construcción.

Abu Salem y otros (2017) en su investigación "*Effect of waste glass on properties of asphalt concrete mixtures*" [4] publicada en la Jordan Journal of Civil Engineering, estudia el rendimiento de las mezclas de concreto asfáltico, donde parte del agregado fino se sustituye por diferentes porcentajes (5%, 10%, 15% y 20%,) de vidrio triturado, buscando reducir al mínimo el Contenido Óptimo de Asfalto (Optimum asphalt content - O.A.C.) sin que se afecte la estabilidad y durabilidad de la mezcla. El objetivo principal de este estudio fue el de determinar el contenido óptimo de vidrio triturado para las mezclas asfálticas en caliente y comparar sus propiedades con el de una mezcla ordinaria. Los materiales utilizados fueron: 1) agregado de piedra caliza, cuya gradación fue determinada bajo los parámetros del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda de Jordania (MPWH); 2) cemento asfáltico de grado de penetración (85-100); 3) vidrio triturado con una gradación máxima de 2.36 mm (tamiz N° 8). Los ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales tomaron como referencia la normativa ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), mientras que para el diseño de la mezcla propiamente dicha se usó la AASHTO M29 y T283. Para determinar el contenido óptimo de asfalto se ensayaron 3 muestras para cada contenido de asfalto (4%, 5%, 6% y 7%) y para cada porcentaje de vidrio triturado (0%, 5%, 10%, 15% y 20%). No se mencionan posibles investigaciones futuras que sigan esta línea de investigación.

Cabascango, Benalcázar y Suárez (2016) en su investigación "*Pavimentos sustentables con vidrio reciclado en asfalto para vías públicas*" [5] realizada por la Universidad Técnica del Norte en Ecuador y publicada en el Congreso Internacional de Ingenierías Industrial, Sistemas y Automotriz, plantea el aprovechamiento y reutilización de botellas vidrio, convirtiéndolas en materia prima para la producción de materiales de construcción, de manera que se optimicen sus propiedades, contribuyendo al ahorro de energía, de capital y fomentando el reciclaje de manera que se ayude al medio ambiente. Su investigación se enfoca principalmente en el proceso de elaboración de asfalto en caliente con vidrio

triturado como reemplazo parcial del agregado de arena. El procedimiento de elaboración de asfalto con vidrio triturado inicia con el reciclado y preseleccionado de las botellas de vidrio, las cuales se recolectaron de bares cercanos a la Universidad Técnica del Norte; para su pulverización se construyó una máquina trituradora compuesta de un sistema de martillos, tamiz, tolvas de entrada y salida, sistemas de poleas y un motor. Fue necesario el uso de medidas de seguridad para la realización de dicho proceso. El tamaño máximo de grano de vidrio fue de 2 mm. Se tomó como referencia la norma AASHTO M-318-0 de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (American Association of State Highway and Transportation Officials) para la dosificación y tamaño máximo de grano de vidrio. Posterior al triturado, se calentó la brea a 100 °C y se mezcló con la piedra partida y porcentajes variables de vidrio triturado (0%, 20%, 30% y 40%); se esparce en un contenedor y se compacta. Fueron 5 las muestras elaboradas, y para c/u de ellas se realizaron ensayos para conocer la presión que soporta y su temperatura al exponerla 5 horas al sol. No se mencionan investigaciones futuras.

Behbahani y otros (2015) en su investigación *“Evaluation of performance and moisture sensitivity of Glassphalt mixtures modified with nanotechnology zycosoil as an anti-stripping additive”* [6] publicada por la revista Construction and Building Materials, evalúa el uso de un aditivo anti-stripping para controlar el desprendimiento y el daño por humedad en la capa superficial de pavimentos hechos con mezclas Glassphalt. El aditivo anti-stripping propuesto por el autor es la nanotecnología zyco-soil, dado que está especialmente diseñado para mejorar la adhesión entre betún y agregados en asfalto mezclado en caliente. El principal objetivo de este estudio es el de determinar algunas propiedades mecánicas (como el módulo de rigidez, el cumplimiento de la fluencia y la resistencia indirecta a la tracción) y la sensibilidad a la humedad de una mezcla Glassphalt al 10% de vidrio triturado modificada con diferentes contenidos de nanotecnología zyco-soil (0%, 0,5%, 2,5% y 4,5%). Se seleccionó el tamaño máximo de grano de vidrio y su porcentaje óptimo en la mezcla Glassphalt en base a investigaciones anteriores. Se usó la normativa ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) para caracterizar los agregados y el asfalto; mientras que para el diseño de la mezcla Glassphalt se usó la AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes). Los materiales utilizados para la producción de las muestras de ensayo fueron: 1) cemento asfáltico de grado de penetración 60-70; 2) agregado grueso de granito de tamaño máximo de 3/4"; 3) vidrio triturado de tamaño máximo de 4.75 mm (tamiz N° 04); 4) nanotecnología zyco-soil.

Freire Alvear (2018) en su tesis *“Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación”* [7] realizada por la Escuela de Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, evalúa los

resultados mecánicos y de costos de elaborar mezclas asfálticas en caliente con adición de vidrio molido. La secuencia de desarrollo de la investigación inició con la obtención de los agregados y el asfalto; posterior a ello se caracterizan por medio de ensayos de laboratorio normalizados; se finaliza con el diseño de la mezcla asfáltica con y sin adición de vidrio, para después hacer un estudio comparativo de características y costos entre la mezcla original y la modificada. Los ensayos realizados a los agregados fueron: granulometría, equivalente de arena, gravedad específica y absorción, desgaste por abrasión y presencia de sulfatos. Por su parte, al asfalto se le realizaron ensayos de: punto de chispa, penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, viscosidad y gravedad específica. Se determinó también el contenido óptimo de asfalto mediante el ensayo de 15 briquetas para la mezcla sin modificar. La normativa utilizada para dichos ensayos fue la ASMT (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales). Se utilizó el método Marshall (ASTM 1559) para el diseño de la mezcla asfáltica convencional y para la adicionada con porcentajes del 0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15% de vidrio molido. El vidrio se obtuvo del reciclado de botellas, y se trituroó en 2 fases, primero se rompieron las botellas manualmente para tener tamaños más manejables y luego se trituroó haciendo uso de un molino casero hasta obtener un tamaño de grano parecido al de un árido fino. El vidrio trituroado se pasó por el tamiz N° 16 para obtener un tamaño máximo de partícula de 1.19 mm. No se mencionan trabajos futuros que continúen con esta línea de investigación.

Rodríguez y Ruiz (2016) en su investigación *“Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio”* [8] publicada en la Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Córdoba en Argentina, plantea el uso de botellas de vidrio en estado trituroado para su uso como material alternativo en el sector construcción. El principal objetivo de la investigación fue el analizar cómo afecta la incorporación de vidrio de desecho finamente molido como reemplazo parcial del cemento a la resistencia del concreto y a la reacción álcali-sílice. Los autores plantean la hipótesis de que si el vidrio se pulveriza a escala de micro partícula, éste tendrá un potencial comportamiento puzolánico. El vidrio se recicló de botellas de diferentes colores, se trituroó con un molino de discos Braun y se tamizó con las mallas N° 100 (150 μm) y N° 200 (75 μm). Para el desarrollo de este trabajo, los autores elaboraron en 2 grupos probetas de concreto con diferentes contenidos de vidrio trituroado (15%, 20% y 25%), para el primero se usó el polvo de vidrio que pasó la malla N° 200, mientras que para el segundo grupo se empleó vidrio molido más grueso (N° 100 y N° 200). Esto tanto para los ensayos de resistencia como para los de reactividad. Para determinar la reactividad potencial, se utilizó el Método Acelerado de la Barra de Mortero según norma IRAM 1674. En cuanto al ensayo de resistencia, se siguió la norma IRAM 1534 y se adoptó un

TMA del agregado grueso de 1/2". El autor propone continuar con la línea de investigación con tamaños de partícula de vidrio menores a los usados en este informe (<25 µm).

Poveda y otros (2015) en su investigación "*Análisis de la influencia de vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A*" [9] publicada por la Revista Politécnica de Quito en Ecuador, propone el aprovechamiento de vidrio triturado como agregado no convencional en la producción de hormigón para adoquines tipo A, con la finalidad tanto de mejorar su comportamiento mecánico (especialmente frente al desgaste) como de reducir la sobreexplotación de canteras y el consumo masivo de áridos. Para lograr ello los autores plantearon usar diferentes granulometrías y dosificaciones de vidrio triturado en la mezcla. Este estudio se centró en adoquines tipo A destinados para caminos secundarios y calles principales. La normativa utilizada para caracterizar física y mecánicamente los adoquines fue la EN 1338 y la INEN 1488. El cemento utilizado fue portland tipo I, los agregados fueron Ripio y Arena roja de canteras locales. El vidrio provino en su mayoría de vidrierías y botellas desechadas; fue triturado manualmente y luego pulverizado con un molino de rodillos para posteriormente ser tamizado y así obtener el tamaño de grano adecuado. Este material tuvo 2 granulometrías, la primera con D80 de 1.15 mm y MF de 2.40 (para ser considerado como arena media-fina) y la segunda con D80 de 3.97 mm y MF de 4.55 (arena gruesa). Los porcentajes de vidrio que se evaluaron fueron de 0%, 5%, 15%, 25% y 35% en peso del árido a reemplazar. La relación agua/cemento establecida fue de 0.39; cabe señalar que el vidrio se usó en reemplazo parcial solo de la arena roja. Los autores no mencionan investigaciones futuras.

González Lozano y Ponce Peña (2012) en su investigación "*Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla*" [10] publicado en la Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias en México, evalúa el uso de vidrio reciclado pulverizado para la fabricación de ladrillos para construcción, con porcentajes que van de 0% a 15% en peso. Para el desarrollo de esta investigación se utilizó: arcilla, la cual se tamizó para retirar impurezas; aserrín de madera; estiércol de ganado y vidrio reciclado, el cual se obtuvo de botellas transparentes, se trituró y tamizó por la malla N° 50. Las proporciones usadas para elaborar la mezcla de ladrillo fueron: 3 kg de arcilla, ½ kg de aserrín y ½ kg de estiércol (más el porcentaje de vidrio propia de la muestra). A esas cantidades de material se le añadió agua hasta obtener una masa plástica, se amasó y se dejó reposar por 5 h. Se le añadió arena fina (tamizada) y se moldeó, se enrazó y desmoldó para dejarla secar por 3 días al sol. Posterior a ello se procedió a la cocción en un horno tradicional durante 2 días, después se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posterior al proceso de elaboración del ladrillo, se realizaron los

siguientes ensayos de laboratorio en base a la normativa del ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales): contracción del ladrillo sinterizado, resistencia a la compresión y absorción de agua. Sumado a ello, se realizaron ensayos para caracterizar químicamente las mezclas como la Difracción de Rayos X (DRX) y la microscopía óptica.

Flores, Jiménez y Pérez (2018) en su investigación *“Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento”* [11] publicada en el Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, estudian la incorporación de residuos de vidrio a los morteros de cemento con el fin de conocer su comportamiento como sustituto del árido y la capacidad de modificar las propiedades del producto final. Para ello se utilizó un mortero de referencia 1:3 (cemento/arena) al que se le sustituyó parcialmente la arena por vidrio doméstico triturado en porcentajes de 25% y 50% en peso. Los materiales utilizados fueron: cemento comercial CEM IV/B (V); arena natural silíceo de diámetro máximo de 2 mm; vidrio convencional de naturaleza soda-cálcica procedente de reciclado doméstico. La relación agua cemento fue de 0.5 para todas las mezclas. Se realizaron ensayos de: caracterización química del vidrio y de las probetas endurecidas mediante fluorescencia de rayos X; caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X, caracterización física (ensayo de absorción de agua, compacidad, densidad aparente geométrica y conductividad térmica) y caracterización mecánica (ensayo a flexión y compresión) de las probetas endurecidas. Cabe resaltar que posterior a ello, las muestras se sometieron a calentamiento en mufla a 600 °C y 800 °C con el fin de evaluar su comportamiento como mortero refractario. Posterior a este proceso se repitieron los ensayos antes mencionados para determinar posibles cambios. La normativa utilizada fue la UNE (Una Norma Española). No se mencionan estudios posteriores.

Quesada Costa (2013) en su tesis *“Utilización de desechos de vidrio reciclado como árido en bloques huecos de hormigón”* [12] en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en Cuba, estudia la influencia del vidrio reciclado sobre las propiedades físico-mecánicas de bloques huecos de concreto elaborados con mezclas a las que se les sustituyó parcialmente (25%, 50%, 75% y 100%) el agregado fino por vidrio molido. Los materiales utilizados fueron: cemento Portland P-350, áridos de caliza dura y vidrio reciclado de botellas de cerveza color ámbar y verde. El vidrio se trituró en 2 fases: la primera, en forma manual y la segunda con la ayuda de una trituradora de martillo de un rotor. Se evaluaron características y propiedades tales como: peso, dimensiones, resistencia a la compresión y absorción de agua bajo la normativa Cubana NC 251:2005 (áridos para concretos hidráulicos) y NC 247:2010 (bloques huecos de concreto). El diseño experimental se desarrolló con 3 testigos para cada uno de los porcentajes de vidrio

y para cada una de las edades de ensayo (7, 14 y 28 días), esto con la finalidad de promediar los valores resultantes y obtener conclusiones más aproximadas. El autor recomienda realizar estudios para evaluar la resistencia a compresión a edades mayores a los 28 días.

Villoria Sáez y otros (2016) en su investigación *“Conglomerados sostenibles realizados con residuos de construcción generados en obras de rehabilitación energética”* [13] realizada por la Universidad Politécnica de Madrid, analizan la viabilidad de incorporar RCD generados en obras de rehabilitación energética en morteros de yeso/escayola. Para ello plantea la adición de vidrio triturado en 2 granulometrías distintas (vidrio en polvo y vidrio granulado) en porcentajes del 20%, 30%, 50%, 70%, 90% y 100% y de 50%, 75% y 100% del peso de yeso para la granulometría fina y gruesa respectivamente. La granulometría fina corresponde al polvo de vidrio ($< 125 \mu$), mientras que la granulometría gruesa corresponde al vidrio granulado (1 – 2 mm). El vidrio se obtuvo del desmontaje de carpintería, y se trituró usando una máquina trituradora tipo micro deval para después tamizarlo para obtener las granulometrías antes mencionadas. Se utilizó una relación agua/yeso de 0.80 para la elaboración de todas las mezclas. La normativa utilizada fue la UNE -EN-13279-1:2009 (Una Norma Española). Se realizaron ensayos para determinar la densidad, dureza superficial, resistencia a flexión, resistencia a compresión y coeficiente de conductividad térmica. No mencionan investigaciones futuras.

Ordoñez Camelo y otros (2018) en su investigación *“Uso del vidrio reciclado como agregado fino en morteros de pega para uso en viviendas de mampostería estructural”* [14] realizada por la Pontificia Universidad Javeriana Cali en Colombia, evalúan el uso de vidrio reciclado como agregado fino en morteros para juntas de mampostería estructural con adiciones variables de humo de sílice. Este estudio se limita a estudiar el efecto del vidrio sobre las propiedades mecánicas del mortero de pega. Los materiales usados para el desarrollo de esta investigación fueron: cemento portland, arena, agua, humo de sílice y vidrio, el cual provino de botellas post-consumo (granulometría gruesa). Las muestras de mortero se elaboraron en 3 grupos, el primero que abarca al mortero convencional; el segundo grupo, formado por el mortero con adiciones del 50% y 100% de vidrio triturado en reemplazo de la arena; y el último grupo, que abarca los 2 grupos anteriores más un contenido del 10% y 20% de humo de sílice. Se realizaron ensayos de: densidad, absorción, granulometría para el cemento, arena y vidrio; y ensayos de fluidez, peso específico, absorción, resistencia a compresión y resistencia a flexión sobre los morteros de pega. La normativa utilizada fue la NTC (Norma Técnica Colombiana). Los autores proponen la evaluación de las

propiedades de durabilidad de las mezclas de mortero de junta con vidrio para posteriores investigaciones.

Walhoff Tello (2017) en su tesis *“Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca 2016”* [15] realizada por la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Huaráz en Perú, evalúa la resistencia a compresión de una mezcla de concreto simple de $f'c$ 210 kg/cm² sustituyendo 5%, 10% y 15% en peso de cemento portland por vidrio molido. De igual modo, el autor realiza un estudio de factibilidad económica respecto al uso de vidrio molido en proyectos de construcción real. La normativa utilizada fue la NTP (Norma Técnica Peruana). Los materiales utilizados fueron: cemento portland, arena y piedra partida de canteras locales, agua potable y vidrio proveniente de botellas recicladas. El vidrio fue triturado haciendo uso de la máquina de los Ángeles, y luego se tamizó por la malla N° 40. Se realizaron ensayos de granulometría, contenido de humedad, pesos unitarios y porcentaje de absorción para los agregados; para la mezcla en estado fresco se realizaron ensayos de asentamiento y temperatura; y para el concreto endurecido ensayo de resistencia a compresión. Para ensayar la resistencia a compresión del concreto convencional se realizaron 4 briquetas y para el concreto tratado un total de 64 briquetas, todas con una relación agua/cemento de 0.56. No se mencionan trabajos futuros.

2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1. Concreto

2.2.1.1. Definición

El concreto u hormigón es un material de construcción compuesto de una masa pastosa producto de la reacción del cemento y el agua, a la que se añade arena y piedra chancada o grava; en algunos casos también se usan aditivos y adiciones para mejorar cierta propiedad de la mezcla [15].

La Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2009, 243) sobre el concreto dice “mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”. El concepto del concreto se podría resumir de la siguiente manera [16]:

CONCRETO = CEMENTO PORTLAND + AGREGADOS + AIRE + AGUA

2.2.1.2. Características:

Según Sánchez de Guzmán [15] las principales características de una mezcla de concreto son:

- El principal componente del concreto es el material cementante que ocupa entre el 7% y 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia.
- El segundo componente del concreto, los agregados, ocupan entre el 59% y 76% del volumen de la mezcla.
- Adicionalmente con muchísima frecuencia se añade aditivos con el fin de modificar una o más propiedades del concreto.
- El concreto también contiene alguna cantidad de airea atrapada (usualmente entre 1% y 3% del volumen de la mezcla), puede contener aire intencionalmente incluido (entre el 4% y 8% del volumen de la mezcla).

2.2.1.3. Materiales componentes:

A. Ligantes: se refiere al material aglutinante del concreto.

- Agua
- Cemento

B. Áridos: se refiere a los agregados o componentes sólidos del concreto.

- Agregado fino: arena
- Agregado grueso: piedra chancada, grava, confitillo.

La composición del concreto se podría resumir de la siguiente manera [16]:

CEMENTO + AGUA = PASTA

AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO = HORMIGÓN

2.2.1.4. Propiedades:

En el presente estudio se evaluarán principalmente las siguientes tres propiedades del concreto (en estado fresco y endurecido):

- Trabajabilidad: “facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante se puede manejar, transportar y colocar con poca pérdida de la homogeneidad”. [20]
- Resistencia: “capacidad del concreto de resistir cargas a compresión, flexión o al cortante. El principal factor que determina la resistencia es la proporción de cemento – agua” [17].

- Durabilidad: “la capacidad de la masa endurecida de resistir los efectos de elementos, tales como la acción del viento, escarcha, nieve, hielo, la reacción química de los suelos o los efectos de la sal y la abrasión. A medida que aumenta la proporción agua – cemento la durabilidad disminuye” [17].

2.2.2. Mortero

2.2.2.1. Definición:

El comité ACI 116 [18] dice que el mortero es una mezcla plástica de pasta cementicia y agregado fino, usado en albañilería, mampostería y también en tarrajeos y enlucidos. Se le pueden añadir otros materiales como la cal para mejorar su trabajabilidad y acabado.

2.2.2.2. Tipos:

Los morteros se denominan según sea el aglomerante. Así por ejemplo, existen morteros de yeso, de cal o de cemento. Los morteros de cemento son los más utilizados, especialmente en albañilería, puesto que brinda altas resistencias. Los morteros de yeso y de cal son de tipo aéreo (endurecen en presencia de aire) y ofrecen menor resistencia, utilizados en mampostería sin reforzar y repellos. Los morteros de cemento y cal, llamados morteros bastardos porque en ellos intervienen dos aglomerantes, poseen buena trabajabilidad y altas resistencias iniciales, utilizados en mampostería estructural.

2.2.2.3. Propiedades:

Son las mismas propiedades que para los concretos, dígase: trabajabilidad o manejabilidad, durabilidad y resistencia a compresión. Existen otras más, pero en este estudio se evaluarán principalmente éstas tres.

2.2.3. Asfalto

2.2.3.1. Definición:

Según el comité ACI 116 [18] el asfalto es “un material cementicio de color marrón oscuro o negro en el cual los componentes principales son bitúmenes naturales u obtenidos del procesamiento del petróleo”. Se sabe además que conforma un 60% a 75% de la emulsión, y cumple la función de cementar los agregados para la adecuada transmisión de cargas a las capas inferiores.

2.2.3.2. Propiedades:

- Estabilidad Marshall: el valor de la estabilidad Marshall representa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, el tipo de agregado y su granulometría. Es un índice de la calidad del agregado.
- Flujo Marshall: representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura. Es un indicador de la tendencia a alcanzar una condición plástica y de la resistencia del asfalto a ser deformado bajo la acción de cargas vehiculares.
- Contenido óptimo de asfalto: es un parámetro que indica la cantidad de asfalto para lograr una estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos lo más adecuados posibles. Se determina a partir de los ensayos Marshall.
- Penetración: representa la dureza o consistencia relativa del asfalto. Se determina mediante el ensayo del mismo nombre; midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. El asfalto se clasifica en grados de acuerdo a este ensayo [19].

2.2.4. Adoquines

2.2.4.1. Definición:

Los adoquines son piezas o bloques de forma prismática por lo general, elaborado en diversos materiales y que sirve como carpeta de rodadura en pavimentos flexibles. Pueden estar elaborados de piedras labradas (granito o basalto por ejemplo) o de materiales como concreto o incluso arcilla. Sus medidas suelen estar estandarizadas de acuerdo al tipo de adoquín.

2.2.4.2. Propiedades:

- Resistencia a desgaste por abrasión: se determina mediante el ensayo de disco ancho, el cual consiste en desgastar la cara vista de un adoquín con material abrasivo bajo circunstancias normalizadas. Este ensayo proporciona la longitud de la huella dejada por el disco.
- Resistencia a rotura: surge del cociente entre la carga máxima del ensayo (carga de rotura por compresión) y la superficie transversal del elemento ensayado. La sección de corte de compresión se escoge en función del sentido en que esta pieza se asienta.

2.2.4.3. Tipos:

- Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal
- Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero
- Tipo III: Adoquines para tránsito vehicular pesado, patios industriales y de contenedores.

2.2.5. Ladrillo

2.2.5.1. Definición:

Podemos definir que el ladrillo es una “piedra artificial” de forma geométrica, que resulta de la propiedad plástica de la materia prima empleada, la arcilla, que al modelarse con agua, una vez seca y tras su posterior cocción adquiere una gran dureza y resistencia.

2.2.5.2. Tipos:

- Tipo I: Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio mínimas ($f'c$ 60 kg/cm²).
- Tipo II: Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas ($f'c$ 70 kg/cm²).
- Tipo III: Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general ($f'c$ 95 kg/cm²).
- Tipo IV: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas ($f'c$ 130 kg/cm²).
- Tipo V: Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas ($f'c$ 180 kg/cm²).

2.2.5.3. Propiedades:

- Resistencia a compresión: es el cociente entre la carga axial que más soporta el elemento dividido entre la sección de rotura. El sentido de ensayo depende del tipo de asentado.
- Densidad: propiedad que depende de la porosidad, es la cantidad de materia por unidad de volumen. Cuanto mayor sea esta propiedad más compacta es la pieza.

- Absorción: se determina mediante el ensayo del mismo nombre, el cual mide la cantidad de agua que los poros del ladrillo retiene. Un ladrillo con un índice de absorción elevado es un indicativo de excesiva porosidad.

2.2.6. Vidrio

2.2.6.1. Definición

La ASTM C162 (2015) define al vidrio como “producto inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización”.

2.2.6.2. Composición

Morales Ortega (2017) presenta 5 grupos básicos de composición del vidrio en el orden y papel que desempeñan durante el proceso de fusión:

- A) Vitrificantes: son aquellos componentes base formadores del vidrio, constituyen el esqueleto estructural de este material.
- B) Fundentes: son aquellos componentes que facilitan y favorecen la formación de vidrio, contribuyen mejorando las condiciones de fusión (reducen la temperatura).
- C) Bases u óxidos: son los elementos estabilizantes y que permiten modificar las propiedades de éste en uno u otro sentido.
- D) Estabilizantes: también llamados óxidos indiferentes, pueden actuar tanto como Vitrificantes así como fundentes.
- E) Componentes secundarios: elementos que no afecta a la estructura del vidrio pero que contribuyen a mejorar la textura y el aspecto de este material.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Tipo de estudio:

El presente estudio es de naturaleza “descriptiva”, puesto que se busca exponer los usos del vidrio reciclado en la construcción y puntualizar cuáles serían sus efectos sobre el material terminado, todo ello en base al análisis de antecedentes bibliográficos de procedencia nacional e internacional.

Diseño de contrastación de hipótesis:

- De acuerdo al nivel de investigación es descriptiva, puesto que implica detallar el comportamiento del objeto de estudio sin influir sobre él de ninguna manera.
- De acuerdo al diseño de investigación es transversal, puesto que se realiza en un determinado momento en un área geográfica.
- De acuerdo al fin que se persigue es aplicada, puesto que en base a la recopilación de información pretende dar solución a un planteamiento específico.

3.2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Por la naturaleza de la investigación no es posible formular una hipótesis.

3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR
Vidrio reciclado (Independiente)	Utilización	Adición
		Árido

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR
Materiales de construcción (Dependiente)	Propiedades físicas	Estabilidad
		Porosidad
		Durabilidad
		Consistencia
		Densidad
		Absorción
	Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión
		Resistencia a tracción

3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO

Población

Debido al tipo de investigación, son todas aquellas fuentes de información confiables de cualquier tipo y en cualquier idioma, como artículos científicos (de revistas o periódicos) y tesis, que traten sobre el uso del vidrio molido como material alternativo de construcción.

Muestra

Son aquellos artículos y tesis de validez científica a partir del año 2012 en adelante que traten la temática y que lo demuestren experimentalmente. La muestra de 12 antecedentes fue escogida de entre un aproximado de 35 fuentes bibliográficas.

Muestreo

El tipo de muestreo es no probabilístico, ya que la elección de los elementos de estudio se ha realizado de acuerdo al criterio del investigador.

3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICA:	INSTRUMENTO:	APLICACIÓN:
Análisis de documentos	Fichas de registro de información (Anexo N° 01)	Fuentes primarias y secundarias de información (tesis y artículos)

3.6. PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento de los datos obtenidos del análisis documental, sean cuantitativos o cualitativos, se usó como herramienta principal el programa de hojas de cálculo Excel, que permite sintetizar la información y presentarla en forma de gráficos de barras, de dispersión, etc.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estado de conocimiento acerca de la influencia del vidrio reciclado molido en las propiedades de mayor importancia de los principales materiales de construcción.

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas, nacionales e internacionales, el conocimiento científico y empírico sobre la producción de concreto, mortero, asfalto y de cualquier otro material de construcción al que se

le incorpore vidrio, sea como árido alternativo o adición del cemento, es muy limitado; especialmente a nivel local, donde la investigación aplicada en cualquiera rama de la ingeniería es muy reducida. A nivel nacional se han realizado algunas pequeñas contribuciones respecto al uso de residuos sólidos como materiales alternativos de construcción, no obstante, del vidrio se habla muy poco. A nivel internacional, Colombia, Ecuador, España, Estados Unidos así como algunos países africanos como Nigeria y otros países árabes como Jordania e Irán, son algunos de los estados que más promueven el reciclaje y que a la vez invierten en investigación aplicada en la rama de materiales alternativos de construcción, contribuyendo así con algunos artículos que han demostrado experimentalmente la utilidad de reutilizar vidrio y otros residuos sólidos no biodegradables; sin embargo, estos aportes siguen siendo insuficientes respecto al conocimiento que se tiene de otras tecnologías.

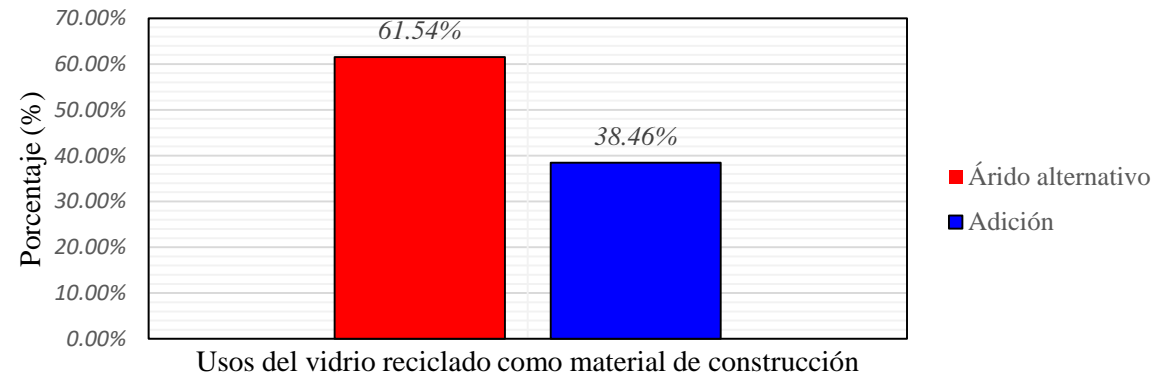
Este estudio considera que es muy necesario que a nivel local y nacional se impulse la investigación aplicada en la rama de materiales alternativos de construcción, especialmente con aquellos residuos sólidos que son no biodegradables. Asimismo, se agradecería seguir investigando el tema del vidrio triturado como material de construcción, en diferentes granulometrías y aplicaciones, y establecer medidas de uso y estándares de calidad, puesto que este material presenta propiedades muy favorables como árido alternativo o adición, llegando a ser útil incluso como agente estabilizador de suelos.

4.2. Formas posibles de uso del vidrio reciclado en el sector construcción.

TABLA N° 01: CUADRO RESUMEN DE LAS FORMAS DE UTILIZACIÓN DE VIDRIO RECICLADO MOLIDO COMO MATERIAL ALTERNATIVO DE CONSTRUCCIÓN							
N°	PROCEDENCIA	AUTOR	TÍTULO	AÑO	UTILIZACIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL
01	Babilonia, Iraq	Abbas Jasim, Ahmed	By using waste glass as secondary aggregates in asphalt mixtures	2014	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Asfalto en caliente
02	Jordania	Abu Salem, Zaydoun T.; Khedawi, Taisir S.; Bani Baker, Musa; Abende, Raed	Effect of waste glass on properties of asphalt concrete mixtures	2017	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Asfalto en caliente
03	Ibarra, Ecuador	Cabascango, Mireya; Benalcázar, Javier; Suárez, Alexandra	Pavimentos sustentables con vidrio reciclado en asfalto para vías públicas	2016	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Asfalto en caliente
04	República Islámica de Irán	Behbahani, H.; Ziari, H.; Kamboozia, N.; Mansour Khaki, A.; Mirabdolazimi, S.M.	Evaluation of performance and moisture sensitivity of Glasphalt mixtures modified with nanotechnology zycosoil as an anti-stripping additive	2015	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Asfalto en caliente
05	Quito, Ecuador	Freire Alvear, Karlenn Nicol	Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación	2018	Reemplazo parcial del cemento asfáltico	Adición	Asfalto en caliente
06	Córdoba, Argentina	Rodríguez, M.; Ruiz, M.	Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio	2016	Reemplazo parcial del cemento hidráulico	Adición	Concreto simple

07	Huaraz, Perú	Walhoff Tello, Guerson Misael	Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca 2016	2017	Reemplazo parcial del cemento hidráulico	Adición	Concreto simple
08	Quito, Ecuador	Poveda, Ricardo; Granja, Victoria; Hidalgo, Daniel; Ávila, Carlos	Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A	2015	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Adoquines de concreto
09	Durango, México	González Lozano, María Azucena; Ponce Peña, Patricia	Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla	2012	Material adicionado	Adición	Ladrillos de arcilla
10	Moa, Cuba	Quesada Costa, Aglyns Laura	Utilización de desechos de vidrio reciclado como árido en bloques huecos de hormigón	2013	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Bloques huecos de concreto
11	Sevilla, España	Flores Alés, Vicente; Jiménez Bayarri, Víctor; Pérez Fargallo, Alexis	Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento	2018	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Mortero de cemento
12	Cali, Colombia	Ordoñez Camelo, Juan Carlos; Pérez Vélez, Juan Sebastián; Plaza Avendaño, Andrés Felipe	Uso del vidrio reciclado como agregado fino en morteros de pega para uso en viviendas de mampostería estructural	2018	Reemplazo parcial del agregado fino	Árido alternativo	Mortero de cemento
13	Bogotá, Colombia	Villoria Sáez, Paola; Santa Cruz Astorqui, Jaime; del Río Merino, Mercedes	Conglomerados sostenibles realizados con residuos de construcción generados en obras de rehabilitación energética	2016	Material adicionado	Adición	Conglomerado de yeso

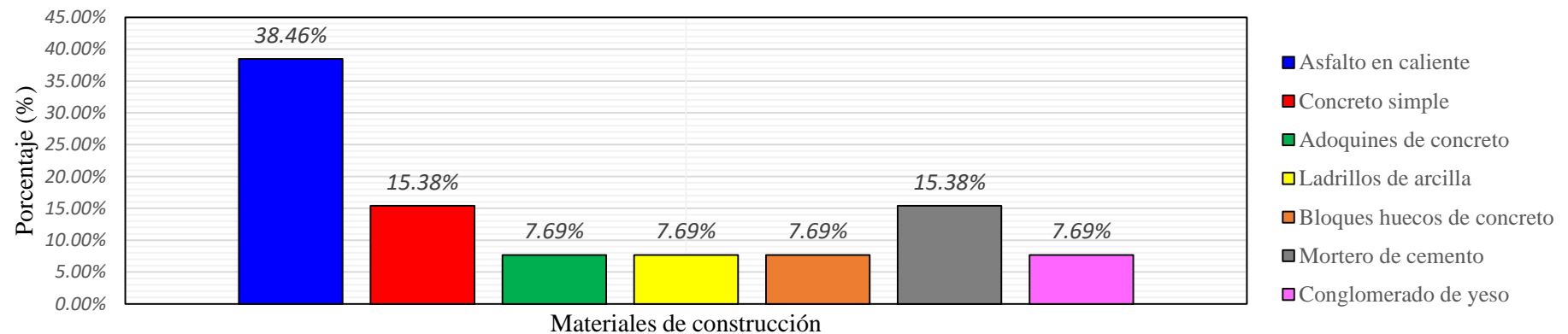
Gráfico N° 01: Formas de utilización de vidrio reciclado molido en construcción



Comentario:

El gráfico N° 01 representa una síntesis del cuadro resumen anterior (Tabla N° 01) respecto a las formas de uso que se le da al vidrio reciclado molido en los antecedentes bibliográficos. De ello se concluye que el 61.54% de investigaciones encontradas a nivel internacional usa el vidrio triturado como un árido alternativo, en reemplazo parcial y/o total del agregado fino.

Gráfico N° 02: Materiales de construcción sobre los que se ha investigado se incorpora vidrio molido



Comentario:

El gráfico N° 02 representa una síntesis del cuadro resumen anterior (Tabla N° 01) respecto a los materiales de construcción sobre los que se ha investigado el efecto del vidrio triturado en los antecedentes bibliográficos. De ello se concluye que, de los 7 materiales de construcción enumerados, el material sobre el que más se ha investigado acerca de su incorporación de vidrio sea como árido alternativo o adición, es el asfalto en caliente, con un 38.46%; seguido del concreto simple y mortero de cemento con un 15.38%. Sobre el resto de materiales son pocas las investigaciones respecto al uso de vidrio en ellos.

4.2. Efectos del uso de vidrio reciclado en estado triturado sobre las propiedades ingenieriles del material final de construcción:

TABLA N° 02: EFECTOS DEL USO DE VIDRIO RECICLADO MOLIDO SOBRE LAS PROPIEDADES INGENIERILES DEL MATERIAL FINAL DE CONSTRUCCIÓN				
LUGAR	AUTOR	TÍTULO	AÑO	CONCLUSIÓN
Babilonia , Iraq	Abbas Jasim, Ahmed	By using waste glass as secondary aggregates in asphalt mixtures	2014	El estudio concluye que: el vidrio triturado aumentó la estabilidad Marshall y disminuyó el Flujo Marshall de la mezcla asfáltica para todos los tamaños de grano de vidrio y conforme éste sea más pequeño; además, el aumento del contenido de vidrio para todos los tamaños disminuyó la estabilidad Marshall y aumentó el Flujo Marshall de la mezcla asfáltica. Al ser usado como aditivo, el polvo de vidrio aumentó la estabilidad Marshall y disminuyó tanto el Flujo Marshall como el volumen de vacíos conforme más fino sea el polvo y conforme el contenido de polvo de vidrio aumente.

Jordania	Abu Salem; Khedawi; Bani Baker; Abendeh	Effect of waste glass on properties of asphalt concrete mixtures	2017	De ello se concluyó que el contenido óptimo de aglutinante era 5.75% para 0%, 5.615% para 5%, 5.35% para 10%, 5.65% para 15 % y 5.68% para 20% de Glassphalt. Se concluyó además que el contenido de vidrio que cumplía con todos los requisitos establecidos por la normativa fue del 10%, en el que el contenido óptimo de asfalto se redujo en un 7.2% en comparación con la muestra que no fue añadida con vidrio triturado.
Ibarra, Ecuador	Cabascango, Mireya; Benalcázar, Javier; Suárez, Alexandra	Pavimentos sustentables con vidrio reciclado en asfalto para vías públicas	2016	Se concluyó que a mayor porcentaje de vidrio triturado la presión soportada es mayor, del mismo modo, la temperatura decrece debido a las propiedades refractarias del vidrio; sin embargo, al sobrepasar el límite normativo del 20% la mezcla se torna quebradiza; por tanto el porcentaje óptimo es del 20%. Del análisis económico se concluye además que este proyecto es viable, puesto que los costos de producción fueron reducidos, así, cada metro cúbico de asfalto cuesta \$97.13.
República Islámica de Irán	Behbahani; Ziari; Kamboozia; Mansour Khaki; Mirabdolazimi	Evaluation of performance and moisture sensitivity of Glasphalt mixtures modified with nanotechnology zycosoil as an anti-stripping additive	2015	Se concluyó que el contenido óptimo de asfalto era de 5.5% para la mezcla convencional y de 5.1% para la mezcla Glassphalt. El trabajo concluye que la adición de la nanotecnología zyco-soil en las mezclas de Glassphalt mejora las propiedades reológicas del betún. De igual modo se afirma que el 4.5% del mismo aditivo es el contenido que mejor comportamiento le otorga a la mezcla frente a la susceptibilidad por humedad, y que todos los porcentaje de nanotecnología zyco-soil por encima del 2.5% aumenta la Relación de resistencia a la tracción (TSR).

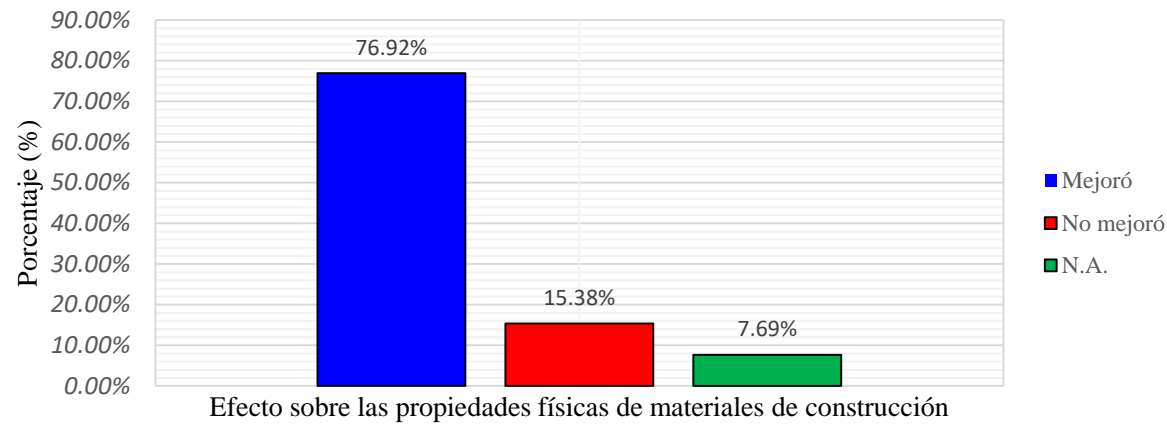
Quito, Ecuador	Freire Alvear, Karlenn Nicol	Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación	2018	De los ensayos se determinó que el contenido óptimo de asfalto de la mezcla fue del 5.80%, sin embargo se optó por usar un 6% de asfalto debido al uso de vidrio molido. El autor concluye finalmente que: 1) conforme aumenta el contenido de vidrio molido, la gravedad específica Bulk disminuye, mientras que el porcentaje de vacíos, la estabilidad y el flujo Marshall aumentaron; 2) el porcentaje óptimo de vidrio triturado fue del 12%; y 3) el costo de la mezcla asfáltica adicionada con vidrio cuesta 0.02% más que la mezcla convencional por cada metro cúbico
Córdoba, Argentina	Rodríguez, M.; Ruiz, M.	Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio	2016	Se determinó que adicionar polvo de vidrio a la mezcla de concreto genera una acción favorable en la inhibición de la RAS; se concluyó además que el mejor comportamiento se obtenía con el 20% de polvo de vidrio. La resistencia a compresión simple a los 28 días para las probetas adicionadas con 20% de vidrio molido cumplió con la resistencia mínima de diseño, sin embargo, resultó ser menor que la de la probeta patrón.
Huaráz, Perú	Walhoff Tello, Guerson Misael	Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca 2016	2017	Se concluyó que: 1) el 5% de vidrio molido ofrece la mayor resistencia a compresión a los 28 días respecto de la muestra estándar y las muestras con 10% y 15% de vidrio; 2) los efectos del vidrio molido sobre la resistencia a compresión del concreto se manifiesta a partir de los 21 días; 3) el máximo contenido de vidrio molido como reemplazo parcial del cemento es de 10% si se quisiera mantener una resistencia aproximadamente igual a la del concreto convencional; 4) el costo de concreto aumenta conforme el porcentaje de vidrio sea mayor.

Quito, Ecuador	Poveda, Ricardo; Granja, Victoria; Hidalgo, Daniel; Ávila , Carlos	Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A	2015	<p>Se concluyó que: 1) es la granulometría del vidrio fino la que mayor similitud guarda con la granulometría de la arena roja; 2) el vidrio, en cualquiera de sus 2 granulometrías, se adhiere sin inconvenientes a la pasta de cemento; 3) el uso de vidrio fino mejora en un 4.8% la resistencia compresión, mientras que el vidrio grueso solo lo mejora en un 2.4%; 4) el porcentaje óptimo de vidrio respecto a la resistencia a compresión es del 25% y del 15% para el vidrio fino y grueso respectivamente 5) la resistencia al desgaste mejora con la adición de vidrio, independientemente de su granulometría; 6) se establece también que el porcentaje máximo de vidrio molido en el concreto con fines de mejorar su resistencia al desgaste fluctúa entre los 15% y 18%.</p>
Durango, México	González Lozano; Ponce Peña	Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla	2012	<p>Los resultados obtenidos permiten concluir que: 1) conforme se aumenta el contenido de vidrio el material se vuelve más amorfo, puesto que las cantidades de óxido de silicio disminuye y aumenta la fase albita; 2) con porcentajes del 5% al 10% la porosidad aumentó, mientras que para el 15% la microestructura del ladrillo resultó menos porosa; 3) la contracción lineal fue similar tanto para los ladrillos tratados como para los no tratados; 4) con porcentajes del 5% al 10% la resistencia a compresión del ladrillo disminuyó drásticamente, mientras que para un contenido de 15% la resistencia bajo en menos medida; 5) el porcentaje de absorción de agua aumentó con el aumento de vidrio, especialmente para contenidos del 5% al 10%.</p>

Moa, Cuba	Quesada Costa, Agly Laura	Utilización de desechos de vidrio reciclado como árido en bloques huecos de hormigón	2013	<p>De los ensayos se observó que la resistencia a compresión de los bloques aumentó en el tiempo para porcentajes entre el 25% y 75% de vidrio triturado; mientras que para el 100% de sustitución de arena, la resistencia fue variable e irregular en el tiempo; se observó también que los bloques adicionados fueron más ligeros y que el porcentaje de absorción de agua disminuyó conforme aumentó el porcentaje de arena sustituida. Con ello se llegó a la conclusión de que el contenido óptimo de vidrio molido fue del 75%, puesto que cumple con todos los requisitos mínimos establecidos por la normativa cubana, en ese sentido, dichos bloques pueden ser comercializados.</p>
Sevilla, España	Flores Alés; Jiménez Bayarri; Pérez Fargallo	Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento	2018	<p>Se concluyó que: 1) el porcentaje de absorción de agua disminuyó de manera importante con el contenido de vidrio molido; 2) la compacidad de las muestras de mortero adicionado resultó mayor que la del mortero de referencia; 3) la conductividad térmica resultó sensiblemente más baja para las muestras tratadas con vidrio; 4) la resistencia a compresión a temperatura ambiente para las probetas alteradas fue ligeramente menor a la de la probeta patrón, sin embargo, tras el calentamiento el comportamiento mecánico de las probetas alteradas resultó mejor a la de la probeta patrón. Con ello se concluyó que el vidrio triturado no tiene efectos relevantes sobre el mortero de cemento a temperatura ambiente, sin embargo, cuando se sometió a altas temperaturas, la adición de vidrio mejoró en gran medida la respuesta del material, dotándolo de propiedades refractarias.</p>

Cali, Colombia	Ordoñez Camelo; Pérez Vélez; Plaza Avendaño	Uso del vidrio reciclado como agregado fino en morteros de pega para uso en viviendas de mampostería estructural	2018	Las pruebas de laboratorio mostraron que: 1) el mortero con 100% de vidrio reciclado y 20% de humo de sílice consiguieron un porcentaje de fluidez del 111.30% frente al 108.90% de la muestra estándar; 2) los porcentaje de absorción más bajos se obtuvieron para los casos en que se utiliza 100% de vidrio; 3) el mayor peso específico de las muestras se obtuvo para un 100% de vidrio y 20% de humo de sílice; 4) la resistencia a compresión aumentó con el contenido de vidrio triturado, siendo para la muestra 9 de 100% de VR y 20% de HS 47.90 MPa, en comparación con los 24.50 MPa de la muestra piloto; 5) la resistencia a flexión no mejoró con la adición de vidrio, excepto cuando se usa Humo de sílice. Con ello se concluyó que el uso de vidrio como agregado alternativo en morteros de pega es beneficioso, sin embargo es poco factible llevarlo a proyecto de construcción reales.
Bogotá, Colombia	Villoria Sáez; Santa Cruz Astorqui; del Río Merino	Conglomerados sostenibles realizados con residuos de construcción generados en obras de rehabilitación energética	2016	Se concluyó que: 1) con la adición de vidrio triturado la densidad aumenta en todos los casos en comparación con la muestra de referencia (39.71% y 48.75% para una adición de 100% de vidrio en polvo y 100 % de vidrio granulado respectivamente); 2) el valor de dureza superficial más alto se da para un 100% de polvo de vidrio con un valor de 88.40 Shore C; 3) la mayor resistencia a flexión se obtuvo para un 70% de vidrio fino con un valor de 4.12 MPa; 4) la resistencia a compresión aumentó de 5.85 MPa hasta un 10.11 MPa para un 100% de vidrio en polvo. Los autores concluyen finalmente que es viable utilizar residuo de vidrio como materia prima alternativa en los conglomerados de yeso y que es recomendable utilizar granulometrías finas para ello.

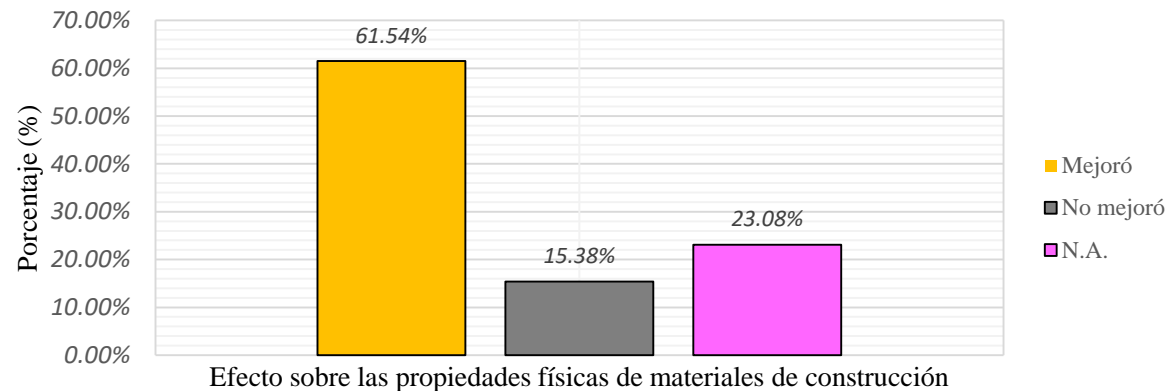
Gráfico N° 03: Efecto del vidrio molido sobre las propiedades físicas de los materiales de construcción



Comentario:

El gráfico N° 03 representa una síntesis del cuadro resumen anterior (Tabla N° 02) respecto a los efectos del vidrio triturado sobre las propiedades físicas de los materiales de construcción en estudio. De ello se concluye que el 76.92% de investigaciones encontradas a nivel internacional encontraron una mejora en las características físicas del material final, un 15.38% no mejora, mientras que el 7.69% de estudios no evaluó esta dimensión.

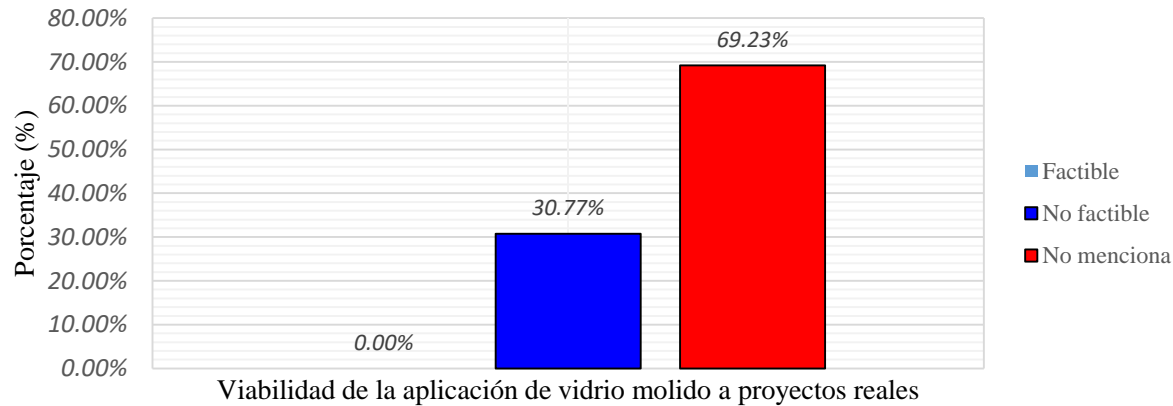
Gráfico N° 04: Efecto del vidrio molido sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción



Comentario:

El gráfico N° 04 representa una síntesis del cuadro resumen anterior (Tabla N° 02) respecto a los efectos del vidrio triturado sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción en estudio. De ello se concluye que el 61.54% de investigaciones encontradas a nivel internacional encontraron una mejora en las características resistentes del material final, un 15.38% no mejoró, mientras que el 23.08% de estudios no evaluó esta dimensión.

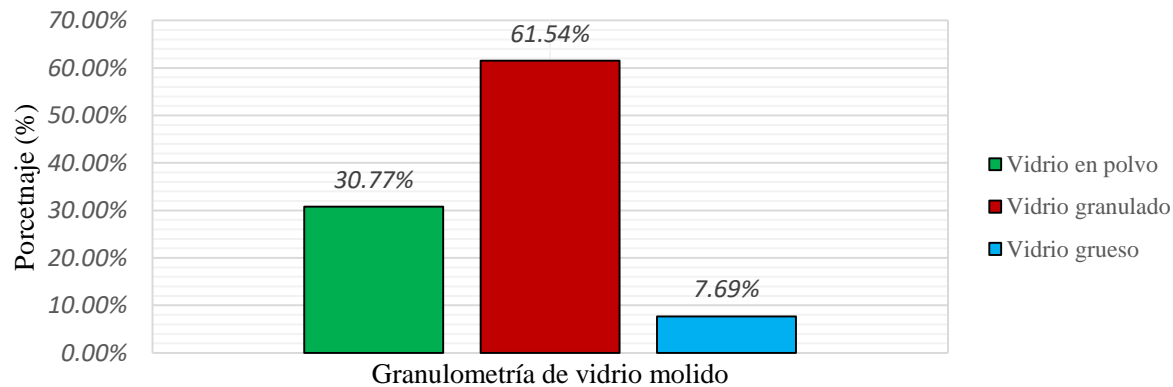
Gráfico N° 05: Factibilidad económica del uso de vidrio reciclado molido como material de construcción



Comentario:

El gráfico N° 05 muestra los resultados del estudio de viabilidad económica realizado por los autores de las investigaciones revisadas. Ninguno de ellos establece que es factible monetariamente el desarrollo de materiales de construcción con vidrio molido en un proyecto de construcción de escala real. Cabe resaltar que solo el 30.77% de los antecedentes de estudio realizaron estudio de factibilidad.

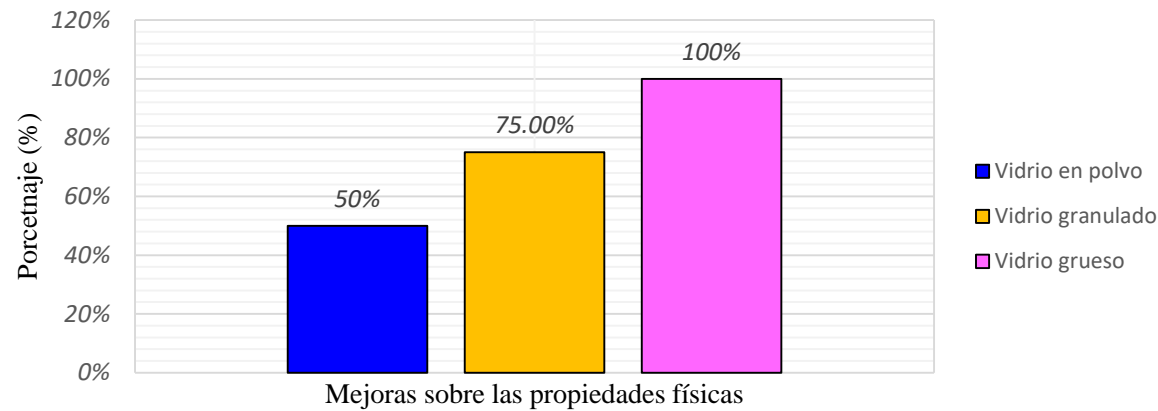
Gráfico N° 06: Granulometría del vidrio molido incorporado a los materiales de construcción



Comentario:

El gráfico N° 06 muestra el resumen de las granulometrías más usadas para el desarrollo de las investigaciones. El tamaño de grano de vidrio de mayor uso corresponde al vidrio granulado (entre la malla N° 50 y N° 100) con un 61.54%; seguido del vidrio en polvo (pasante de la malla N° 100) con un 30.77%. El vidrio grueso (entre la malla N° 10 y N° 50) es el menos usado.

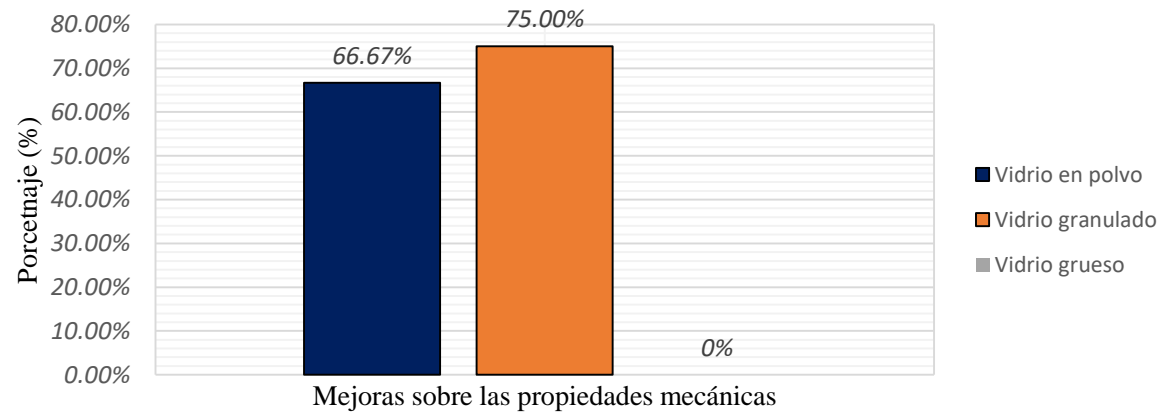
Gráfico N° 07: Relación entre la granulometría y las mejoras sobre las propiedades físicas de los materiales de construcción



Comentario:

El gráfico N° 07 muestra la relación entre la granulometría del vidrio molido y las mejoras sobre las propiedades físicas (consistencia, estabilidad, fluidez, etc.) de los materiales de construcción en estudio. De acuerdo con ello, el vidrio grueso es el que mejor características físicas generó en los materiales a los que se le incorporó en las investigaciones leídas; seguido del vidrio granulado con 75% y el vidrio en polvo con 50%.

Gráfico N° 08: Relación entre la granulometría y las mejoras sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción



Comentario:

El gráfico N° 08 muestra la relación entre la granulometría del vidrio molido y las mejoras sobre las propiedades resistentes de los materiales de construcción en estudio. De acuerdo con ello, es el vidrio granulado el tamaño óptimo para generar las mayores resistencias posibles en los materiales de construcción. Para este caso, el vidrio grueso queda descartado pues no aporta mecánicamente; mientras que el vidrio pulverizado contribuyó en el 66.67% de las investigaciones a mejorar la resistencia del material.

V. CONCLUSIONES

- Posterior al análisis de los antecedentes se concluye que los estudios realizados sobre la influencia del vidrio molido sobre diferentes materiales de construcción corresponden en gran medida a las investigaciones de países como Colombia, Ecuador, España, Estados Unidos, Nigeria, Irán, Jordania, etc. y en muy poca medida Perú.
- En el ámbito local y nacional, el nivel de conocimiento con respecto al uso del vidrio reciclado como material alternativo de construcción es mínimo; esto se debe a la poca investigación aplicada y a la limitada disponibilidad de los constructores para usar insumos no convencionales en proyectos reales. A nivel internacional los aportes científicos son mayores, sin embargo, sigue siendo poco a comparación del conocimiento de otras tecnologías.
- Se ha investigado más sobre el uso de vidrio reciclado como árido alternativo en reemplazo del agregado fino. La otra forma de aplicación encontrada fue como una adición del cemento.
- Los materiales sobre los que más se ha investigado el efecto del vidrio molido son: asfalto, concreto simple y mortero de cemento; seguido de: ladrillos de arcilla, bloques huecos de concreto, conglomerado de yeso, etc.
- El vidrio molido mejoró en un 76.92% de los casos las propiedades físicas de los materiales de construcción en estudio; solo el 15.38% no presentó mejoras.
- El vidrio molido mejoró en un 61.54% de los casos las propiedades mecánicas de los materiales de construcción en estudio; solo el 15.38% no presentó mejoras.
- Solo el 30.77% de estudios revisados realizó un estudio de factibilidad económica, concluyendo en todos los casos que no es factible llevar el vidrio molido a obras de proyectos reales.
- La granulometría más usada fue la de vidrio granulado (entre la malla N° 50 y N° 100) con un 61.54%, seguido del vidrio en polvo (pasante de la malla N° 100) con un 30.77%.
- La granulometría más óptima para aplicarla, sea como reemplazo del árido o como adición, en un material de construcción cualquiera es el vidrio granulado, pues realiza mejoras tanto en las propiedades físicas como mecánicas.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las investigaciones que se utilicen como antecedentes de investigación tengan carácter científico y sean de naturaleza reciente, para que los resultados del análisis descriptivo sea lo más actualizado posible.
- Sería conveniente un estudio puramente cuantitativo respecto a las posibles mejoras de las características mecánicas del concreto, mortero y asfalto con la adición de vidrio molido.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Chávez, «Sector construcción: Capeco eleva estimado de crecimiento de 4,75% a 6,22% al 2019,» *El Comercio*, 23 Mayo 2019.
- [2] A. Abbas Jasim, «By using waste as secondary aggregates in asphalt mixtures,» *International Journal of Advanced Research*, vol. II, n° 1, pp. 41-46, Febrero 2014.
- [3] Z. T. Abu Salem, T. S. Khedawi, M. Bani Baker y R. Abendeh, «Effect of waste glass on properties of asphalt concrete mixtures,» *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 11, n° 1, pp. 117-131, 2017.
- [4] M. Cabascango, J. Benalcázar y A. Suárez, «Pavimientos sustentables con vidrio reciclado en asfalto para vías públicas,» *Congreso internacional de ingenierías industrial, sistemas y automotriz*, pp. 1-9, Marzo 2016.
- [5] H. Behbahani, H. Ziari, N. Kamboozia, A. Mansour Khaki y S. Mirabdolazimi, «Evaluation of performance and moisture sensitivity of glassphalt mixtures modified with nanotechnology zycosoil as an anti-stripping additive,» *Construction and Building Materials*, vol. I, n° 78, pp. 60-68, 2015.
- [6] K. N. Freire Alvear, «Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2018.
- [7] M. Rodríguez y M. Ruiz, «Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio,» *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. III, n° 2, pp. 53-60, 30 Setiembre 2016.
- [8] R. Poveda, V. Granja, D. Hidalgo y C. Ávila , «Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en edoquines de hormigón tipo A,» *Revista Politécnica*, vol. 35, n° 3, Febrero 2015.

- [9] M. A. González Lozano y P. Ponce Peña, «Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla,» *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, vol. I, n° 2, Julio 2012.
- [10] V. Flores Alés, V. Jiménez Bayarri y A. Pérez Fargallo, «Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento,» *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, n° 57, pp. 257-265, 16 Marzo 2018.
- [11] A. L. Quesada Costa, «Utilización de desechos de vidrio reciclado como árido en bloques huecos de hormigón,» Ministerio de Educación Superior, Moa, Cuba, 2013.
- [12] P. Villorio Sáez, J. Santa Cruz Astorqui y M. del Río Merino, «Conglomerados sostenibles realizados con residuos de construcción generados en obras de rehabilitación energética,» *VII Elagec - Nuevas Tendencias en la Construcción Sostenible*, pp. 1-8, 17 Noviembre 2016.
- [13] J. C. Ordoñez Camelo, J. S. Pérez Vélez y A. F. Plaza Avendaño, «Uso del vidrio reciclado como agregado fino en morteros de pega para uso en viviendas de mampostería estructural,» *Pontificia Universidad Javeriana Cali*, pp. 1-8, 2018.
- [14] G. M. Walhoff Tello, «Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca 2016,» Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú, 2017.
- [15] D. Sánchez de Gusmán, *Tecnología del Concreto*, Colombia : Multi-impresos S.A.S., 2010.
- [16] F. Abanto Castillo, *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*, Lima: San Marcos E.I.R.L., 2009.
- [17] A. M. Neville y J. Brooks, *Tecnología del concreto*, México: Trillas, S.A. de C.V., 1998.
- [18] American Concrete Institute, *Terminología del cemento y el hormigón*, Michigan, USA: Comité ACI 116.
- [34] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma E.040. Vidrio,» de *Reglamento Nacional de Edificaciones*, Chiclayo, Sencico, 2018, pp. 417-428.
- [36] ASTM C162, «Terminology of glass and glass products,» ASTM, Pensilvania, 2015.
- [54] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese y J. Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concretos*, Primera ed., Illinois - USA: Portland Cement Association, 2004, p. 8.

VIII. ANEXOS

Anexo N° 01: Modelo de ficha de registro de información

TÍTULO	Título de la investigación
TIPO DE DOCUMENTO	Artículo de revista, periódico, tesis de grado, maestría, doctorado, etc.
NOMBRE	Nombre de revista, periódico, universidad o institución que realiza la investigación
FECHA	Mes, año
AUTOR(ES)	Apellidos y nombres de los autores
PROCEDENCIA	Ciudad, país
JORNADA	Edición, volumen, páginas
PROBLEMÁTICA	Problema que busca solucionar la investigación
SOLUCIÓN	Solución propuesta por en la investigación
METODOLOGÍA	Técnicas, ensayos, diagramas u otras herramientas usadas (indicar nombre y para qué se utilizó).
NORMATIVA	Normas seguidas para el desarrollo de la metodología
CONCLUSIONES	Conclusiones, observaciones y recomendaciones
INVESTIGACIONES FUTURAS	Investigación futura que el investigador recomienda seguir
FUENTE	Bases de datos / Facultad de Universidad
DIRECCIÓN URL	Link (si el documento es virtual)