



UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ

Facultad de Ciencias Técnicas

Carrera de Ingeniería Civil

PROYECTO DE TITULACIÓN MODALIDAD ARTICULO CIENTÍFICO

Previa la obtención del título de
INGENIERO CIVIL

TEMA:

“Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones”

AUTOR:

Álvarez Montes Victor Hugo

TUTOR:

Ing. Byron Baque Campozano

Jipijapa - Manabí - Ecuador

2021

**UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ**

CREADA MEDIANTE REGISTRO OFICIAL N° 261 DEL 7 DE FEBRERO DEL 2001

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**CERTIFICACION DEL TUTOR**

Ing. Byron Patricio Baque Campozano Mgs.

CERTIFICA:

Haber asesorado cuidadosamente el proceso de desarrollo del Proyecto de titulación, cuyo tema bajo la modalidad de artículo científico es: "**Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones**". Elaborado por el estudiante **Víctor Hugo Álvarez Montes**, con número de cédula 1310717564, de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, proyecto de titulación realizado bajo la modalidad de artículo científico, de acuerdo a las normas técnicas de investigación y en base a las normativas vigentes de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, por lo que se autoriza su presentación ante las instancias universitarias correspondientes.

En cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ing. Byron Patricio Baque Campozano Mgs.
TUTOR PROYECTO DE TITULACIÓN
DOCENTE CARRERA DE INGENIERIA CIVIL UNESUM

Cc. Archivo

E-mail: civil@unesum.edu.ec

APROBACIÓN DEL PROYECTO

Proyecto de Investigación Modalidad Artículo Científico, Sometido a consideración de la Comisión de Titulación de la Carrera de Ingeniería Civil-Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Civil.

Tema: "Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones"

APROBADO POR EL TRIBUNAL EXAMINADOR DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN MODALIDAD ARTÍCULO CIENTÍFICO



PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Ing. Glider Parrales Cantos Mg.sc



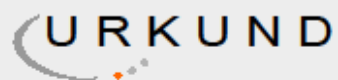

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Pablo Gallardo Armijos Mg.



MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Francisco Ponce Reyes Mg.sc



MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing Denny Cobos Lucio, Mg. Sc.



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Artículo Científico_ Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones_Víctor Alvarez (1).docx (D88041067)
Submitted: 12/6/2020 5:11:00 AM
Submitted By: alvarez-victor7564@unesum.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

<https://1library.co/document/q0521lgy-evaluacion-durabilidad-especimenes-hormigon-reciclados-encapsulados-carbonatacion-porosidad.html>

Instances where selected sources appear:

6

UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ

Creada e 17 de Febrero del año 2001, según Registro Oficial No.261
ÓRGANO COLEGLADO ACADÉMICO SUPERIOR

ANEXO 1

FORMULARIO DE:

AUTORIZACIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL UNESUM

El/La que suscribe, **Víctor Hugo Álvarez Montes** en calidad de autor/a del siguiente trabajo escrito titulado **Experiencia, tecnología y prueba de agregado de reciclado de hormigones** otorga a la Universidad Estatal del Sur de Manabí, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción y distribución pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Estatal de Sur de Manabí
Se autoriza a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

El autor como titular de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que él asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta autorización, se cede a la Universidad Estatal del Sur de Manabí el derecho exclusivo de archivar y publicar para ser consultado y citado por terceros, la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se le haga para obtener beneficio económico.

Jipijapa, 28 de abril del 2021

Firma.



VICTOR HUGO ALVARES MONTES

C.I. 1310717564

**UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ**

CREADA MEDIANTE REGISTRO OFICIAL N° 261 DEL 7 DE FEBRERO DEL 2001

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**Oficio N° 035A-TELETRABAJO-- PRESENCIAL-BPBC-UNESUM**

Jipijapa, 16 de Diciembre de 2020

Ing.
Glider Parrales Cantos
COORDINADOR CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
En su Despacho.-

De mis consideraciones:

Por medio de la presente remito a usted "*informe de cumplimiento a observaciones realizadas por pares revisores asignado por la carrera de ingeniería civil –facultad de ciencias técnicas a proyectos de titulación – modalidad artículo científico.*", para continuar con el trámite respectivo para la presentación a la defensa del proyecto de titulación del tema:

TEMA: EXPERIENCIA, TECNOLOGÍA Y PRUEBA DE AGREGADOS DE RECICLADOS DE HORMIGONES.**AUTOR 1:** Víctor Hugo Álvarez Montes**AUTOR 2:** Byron Baque Campozano (Tutor proyecto de titulación)**AUTOR 3:** Carlos Enrique Parrales García (Coautor)

Particular que remito para los fines pertinentes.

Ing. Byron Patricio Baque Campozano Mgs.
TUTOR PROYECTO DE TITULACIÓN
DOCENTE CARRERA DE INGENIERIA CIVIL UNESUM

Cc. Archivo

E-mail: civil@unesum.edu.ec



UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ

Creada mediante registro Oficial 261 del 7 de Febrero del 2001

FACULTAD DE CEICNIAS TÉCNICAS

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AVAL DE UN ARTICULO CIENTIFICO

El **Art. 38** del Reglamento de Investigación de la UNESUM, establece que la Comisión Científica de la carrera avalara la calidad científica del programa, proyecto, artículo científico u otro producto del trabajo científico luego de su debate en sesión científica.

El **Art. 6.- Valoración sistémica de la producción científica a nivel de carrera:** las comisiones científicas de las carreras de la UNESUM dentro de sus funciones está el valorar la pertinencia y calidad técnica - científica de la propuesta de los programas, proyectos, artículos científicos, trabajos para presentación de eventos científicos, registro, patentes, libros, trabajos de titulación de grados, tesis de postgrado y otros productos científicos, garantizando eficiencia y eficacia en el cumplimiento de los objetivos investigativos institucionales.

Basado en Plan de acción de la UNESUM, numeral 26. Donde indica que: "Los proyectos de titulación nuevos, podrán ser de sistematización bibliográfica de alta rigurosidad que consten en la base de datos que elaborará la comisión científica de cada carrera, derivados de proyectos de docencia, investigación, vinculación o doctorales, cuyos resultados terminen obligatoriamente en la elaboración de alguno de los tipos de artículo científico, con el respectivo aval de la Comisión Científica de cada carrera".

En base a los antecedentes establecidos, en la ciudad de Jipijapa a los 17 días del mes de diciembre del año 2020, siendo las 09H30 horas concurren los miembros de la Comisión científica de la carrera de Ingeniería Civil, **Ing. Eduardo Eutiquio Díaz García PhD, Ing. Julio Cesar Piño Tarragó PhD; Ing. Luis Alfonso Moreno Mg.Sc e Ing. Martha Johana Álvarez Álvarez Mg.Sc,** se instalan en sesión científica para proceder al análisis científico metodológico del artículo científico "**EXPERIENCIA, TECNOLOGÍA Y PRUEBA DE AGREGADOS DE RECICLADOS DE HORMIGONES**", presentado por el autor del artículo **Sr. Víctor Hugo Álvarez Montes** y como tutor el **Ing. Byron Patricio Baque Campozano Mg.Sc.**

Realizado el proceso de evaluación de acuerdo a lo establecido en **Art. 6** del Instructivo para evaluar las funciones y procedimientos de las comisiones científicas de carrera de la UNESUM, literales a y b, los evaluadores emitieron la siguiente calificación:

Aspecto evaluado	Calificación obtenida	Condición (Aprobado/Negado)
a.- Artículo completo de forma física y digital	Pertinente	APROBADO
b.- Calidad científica	Pertinente	

En consecuencia, habiéndose cumplido con lo estipulado en el Reglamento de Investigación de la UNESUM, se declara al ARTICULO CIENTIFICO "**EXPERIENCIA, TECNOLOGÍA Y PRUEBA DE AGREGADOS DE RECICLADOS DE HORMIGONES**" como **APROBADO** y se le otorga el respectivo **AVAL CIENTÍFICO**, considerando que el mismo cumple con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto, los docentes que actuaron en el proceso de evaluación firman la presente, para dar constancia de lo actuado.



UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
Creada mediante registro Oficial 261 del 7 de Febrero del 2001
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ing. Eduardo Eugenio Díaz García PhD
CI: 0963407325
Evaluador de proyecto

Ing. Julio Cesar Pinó Tarrago
CI: 1756662241
Evaluador de proyecto

Ing. Luis Alberto Molina Rosales Mg.Sc.
CI: 1310077530
Evaluador de proyecto

Ing. Martha Johana Álvarez Alvaréz Mg.Sc.
CI: 1310077530
Evaluador de proyecto

Jipijapa, 17 de diciembre de 2020

Serie Científica

Universidad de las Ciencias Informáticas



RNPS: 2343 IS

Serie Científica
Universidad de las Ciencias Informáticas
e-ISSN: 2306-2495 | o-RNPS: 2343
<http://publicaciones.uci.cu/seriecienfiva@uci.cu>

Publicado por



SERIE CIENTÍFICA UCI

Profesor, Omar Mar Cornelio
Editor Jefe
omarmar@uci.cu

La Habana, 10 de Enero del 2021

Estimados (a) colegas

Victor Hugo Álvarez Montes¹
Byron Baque Camposano²
Carlos Enrique Parrales García²

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. alvarez-victor7564@unesum.edu.ec

² Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. byron.baque@unesum.edu.ec

³ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. carlos.parrales@unesum.edu.ec

Me complace informarle que después del proceso de revisión por pares del artículo **"Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones "**, ha sido **ACEPTADO** para ser publicado por la Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas en su Vol, 14. No.01, 2021. e-ISSN: 2227-1899

Saludos cordiales

Dr.C. Omar Mar Cornelio
Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas
Editor Jefe

Editorial "Ediciones Futuro"
Universidad de las Ciencias Informáticas.
La Habana, Cuba
seriecienfiva@uci.cu



Serie Científica

Universidad de las Ciencias Informáticas



BNPS-2343 ISSN

Serie Científica
Universidad de las Ciencias Informáticas
e-ISSN: 2306-2495 | e-RNPS: 2343
<http://publicaciones.uci.edu.ec/seriecientifica@uci.edu.ec>

Publicado por



CERTIFICADO DE PUBLICACIÓN

Profesor, Omar Mar Cornelio
Editor Jefe

omarmar@uci.edu.ec

La Habana, 10 de Enero del 2021

Después del proceso de revisión por pares del artículo "Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones", ha sido **PUBLICADO** por la Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas en su Vol. 14. No.01, 2021. e-ISSN: 2227-1899

De los autores:

Víctor Hugo Álvarez Montes¹
Byron Baque Camposano²
Carlos Enrique Parrales García³

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. alvarez-victor7564@unesum.edu.ec

² Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. byron.baque@unesum.edu.ec

³ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. carlos.parrales@unesum.edu.ec

Dr.C. Omar Mar Cornelio
Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas
Editor Jefe

Editorial "Ediciones Futuro"
Universidad de las Ciencias Informáticas.
La Habana, Cuba
seriecientifica@uci.edu.ec



Dedicatoria

El presente proyecto de investigación lo dedico a ti mi amigo de toda mi vida y especialmente a mis padres Victor Álvarez y María Montes, por haberme brindado el apoyo suficiente y la confianza necesaria durante esta etapa de preparación que con mucho esfuerzo hemos logrado y por inculcarme valores desde pequeño que han sido de gran motivación. A mi hermana quien es el motivo de superación, a mis familiares en general y amigos de igual forma que siempre han estado ahí para brindarme su apoyo incondicional y de igual manera a los principales responsables en mi formación académica durante todo este tiempo en la cual he podido fortalecer mis conocimientos de una u otra forma.

VICTOR HUGO ÁLVAREZ MONTES

Reconocimiento

A medida que pasa el tiempo aprendemos que las metas poco a poco se van cumpliendo sabiendo aprovechar las oportunidades que la vida nos da, es por tal motivo que debo agradecer principalmente a Dios y a mi familia por brindarme ese apoyo que fue de mucha importancia para yo poder lograr mis objetivos.

A la Universidad Estatal del Sur de Manabí, principalmente a la Facultad de Ciencias Técnicas por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo mi formación como profesional.

A los Docentes que forman parte de esta carrera por enseñarme y ceder parte de sus conocimientos ya que de esta manera fortalecieron mi aprendizaje de la mejor manera, en especial a mi tutor Ingeniero Byron Baque Campozano por dedicar parte de su tiempo para realizar con éxito este presente proyecto de investigación.

ÍNDICE

Certificación del Tutor.....	II
Aprobación del Proyecto	III
Urkund	IV
Autorización de derecho de publicación en el repositorio digital Institucional Unesum	V
Oficio No 035 A – TELETRABAJO – PRESENCIAL -BPBC -UNESUM	VI
Serie Científica	VIII
Certificación de publicación.....	X
Dedicatoria.....	11
Reconocimiento	12
ÍNDICE.....	13
Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones	14
Resumen	15
Abstract.....	16
Introducción.....	17
Materiales y métodos.....	18
Experiencia y tecnología en agregados de reciclado de hormigones.	18
Prueba de agregados de reciclados de hormigones.	19
Resultados y Discusión.....	22
Conclusiones.....	23
Referencias Bibliográficas.....	23

Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones

Experience, technology and testing of recycled concrete aggregates

Víctor Hugo Álvarez Montes ^I

alvarez-victor7564@unesum.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0123-5322>

Byron Patricio Baque Campozaño ^{II}

byron.baque@unesum.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9701-2179>

Carlos Enrique Parrales García ^{III}

carlos.parrales@unesum.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4057-9577>

Correspondencia: byron.baque@unesum.edu.ec

- ^I Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- ^{II} Master en Gerencia Educativa, Carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- ^{III} Master en Gestión Ambiental mención Gestión Ambiental de Evaluación del Impacto Ambiental, Facultad Ciencias Técnicas, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Resumen

En el presente trabajo tiene como objetivo la realización de un estudio de revisión sobre experiencias generalizadas en la reutilización de hormigones como agregados reciclados para nuevos hormigones. El método bibliográfico y el método deductivo son implementados en la gestión y análisis de las principales referencias sobre los parámetros principales a controlar en los áridos elaborados con hormigones desechados. El estudio señala que los principales requerimientos para áridos reciclados de hormigones son la densidad, la porosidad, la granulometría, la capacidad de absorción, el coeficiente de forma y la textura; mientras estos se mantengan dentro de los límites admitidos en las normativas pueden usarse con cierta cautela, siempre y cuando no se pretenda el uso en hormigones para alta capacidad de carga. Queda evidenciado que el uso de áridos reciclados en la producción de hormigón es una solución ecológica al continuo agotamiento de los áridos naturales y a la vez no se distancia mucho en el comportamiento de los áridos sustituidos siempre que se vigilen los parámetros mencionados. Aunque se evidencian experiencias que recomiendan porcentajes de sustitución de árido reciclado por naturales y los efectos que tienen en las propiedades básicas del hormigón endurecido, no deben tomarse los mismos como estándares, más bien como experiencias referenciadas. En cada caso, es requisito que los hormigones con áridos reciclado sean sometidos a estudios de comportamiento pues la fuente de origen de residuo constructivo no es estándar.

Palabras claves: hormigón reciclado, requerimientos de áridos reciclados

Abstract

The objective of this paper is to accomplish a review study on generalized experiences in the reuse of concrete as recycled aggregates for new concrete. The bibliographic method and the deductive method are implemented in the management and analysis of the main references on the main parameters to control in the aggregates made with discarded concrete. The study indicates that the main requirements for recycled concrete aggregates are density, porosity, granulometry, absorption capacity, shape coefficient and texture; As long as these are kept within the limits allowed in the regulations, they can be used with some caution, as long as they are not intended for use in concretes with high load-bearing capacity. It is evident that the use of recycled aggregates in the production of concrete is an ecological solution to the continuous depletion of natural aggregates and, at the same time, does not differ much in the behavior of substituted aggregates, provided that the mentioned parameters are monitored. Although there are experiences that recommend percentages of substitution of recycled aggregate for natural ones and the effects they have on the basic properties of hardened concrete, they should not be taken as standards, rather as referenced experiences. In each case, it is a requirement that concretes with recycled aggregates be subjected to behavior studies since the source of origin of construction waste is not standard.

Key words: recycled concrete, recycled aggregate requirements.

Introducción.

La industria de la construcción está basada fundamentalmente en el empleo del hormigón, material que implica un alto consumo de energía y materias primas extractivas en grandes cantidades (de Albuquerque et al., 2020).

Por otro lado, el hormigón tiene vida útil limitada, su ciclo está estrechamente relacionado al mantenimiento estructural, al efecto del medio ambiente circunstante o a eventos extremos como los terremotos o ciclones, motivos por los cuales muchas veces esa vida útil se ve acortada bruscamente y se precisa una demolición de las estructuras para reemplazarlas por nuevos proyectos (Gursel et al., 2014)

En el presente como resultado de remodelaciones o demoliciones están siendo acumulados de forma interne y han llamado la atención de la comunidad científica que como mismo ha aumentado se producción en próximas décadas será preciso contar con sistemas capaces de asumir los desechos y reciclarlos, de manera que tanto reutilizar los residuos constructivos como aditivos en la construcción proporcionaría beneficios tanto ambientales como económicos (Backer, 2019).

En países que experimentan un rápido desarrollo como los países BRICS la gestión de materiales de desecho peligrosos es una de las preocupaciones ambientales más desafiantes y se han empezado a desarrollar tendencias de reciclaje respetuoso del medio ambiente. Aunque todos estos procesos no se logran de forma inmediata en la literatura es más frecuente ver reporte de estudios de materiales reciclados y sus efectos sobre nuevos usos y sobre el impacto medioambiental que se logra con el reciclaje (Calcado et al., 2019).

El objetivo `del presente trabajo es la realización de una revisión con enfoque descriptivo sobre las experiencias, tecnologías y prueba de agregados de reciclados de hormigones.

Materiales y métodos

Implementando el método bibliográfico se realiza la gestión de las fuentes bibliográficas que fundamentan la revisión. Estos están compuestos por artículos científicos en revistas indexadas, informes de trabajos de grado publicados en repositorios académicos, y libros y parte de los mismos electrónicos. En todos los casos son de fácil acceso usando buscadores académicos implementando los autores referenciados y las palabras claves: hormigón reciclado, requerimientos de áridos reciclados.

En complementación, mediante el método deductivo se analizan las experiencias y las tecnologías existentes en el procesamiento y reciclaje de residuos de demolición, particularmente hormigones, y las pruebas de agregados de reciclados de hormigones.

Experiencia y tecnología en agregados de reciclado de hormigones.

Desde la óptica de consumo actual, se recibe una gran presión de ONG ecologistas con una creciente concientización del consumidor respecto al reciclado de materiales que han cumplido su vida útil, apareciendo tecnológicas de procesamiento para reciclar residuos e introducirlos como materiales útiles en nuevos procesos, creándose bucles tecnológicos. En el caso de los hormigones demolidos son los agregados su mayor tendencia de reutilización, lo que reduce de esta forma una cantidad considerable de recursos naturales primarios a extraer (Fernández, 2017).

El uso de hormigón triturado como agregado, conocido habitualmente como “agregado reciclado”, impensable hasta hace dos décadas, es en la actualidad actividad con una alta perspectiva de crecimiento. Al inicio, diversos estudios solo avalaron la factibilidad del empleo de agregados reciclados para la elaboración de hormigones de baja calidad. En la actualidad, con el mejoramiento de las tecnologías de procesamiento, al obtenerse mejores agregados reciclados, la mayoría de los investigadores han empezado a avalar que los agregados reciclados pueden utilizarse sin mayores

precauciones excepto en casos con grandes demandas niveles de resistencia (Zega et al., 2017).

En la práctica tres situaciones facilitan el uso los hormigones elaborados con agregados reciclados: primordial es la existencia de normativas que permitan su evaluación y control, logísticamente cuando haya escasez de agregados naturales o resulte altamente costoso transportarlos y cuando exista un marco legal-fiscal que prohíba el depósito y a la vez bonifique la reutilización de los residuos de hormigón de demoliciones. Incluso, la simultaneidad conllevará al uso irremediable de los agregados reciclados (Tosic et al., 2015).

Tecnológicamente para hormigones reciclados el proceso de tratamiento consiste básicamente en las operaciones de fragmentación, trituración y clasificación final del producto; de esta forma se tiende a la obtención de un producto final similar a los agregados que se comercializan. Las plantas de producción de agregados reciclados son tecnológicamente idénticas a las de producción de agregados primarios, con excepción de algunos dispositivos intermedios con fines de seguridad, que garantizan la inspección y extracción de fragmentos metálicos en los residuos (Shi et al., 2016).

Prueba de agregados de reciclados de hormigones.

El uso de áridos reciclados influye en la calidad del hormigón, debido al comportamiento débil de la interface entre la pasta de cemento y el árido. El módulo de elasticidad, la retracción en el secado y la fluencia son las propiedades que se ven más afectadas, a mayor resistencia del hormigón reciclado. Por este motivo, resulta conveniente limitar la resistencia máxima admisible del hormigón reciclado. Los resultados alcanzados indican que la pérdida de capacidad mecánica del hormigón reciclado hasta 50 N/mm^2 es menor especialmente si se utilizan porcentajes de árido reciclado no superiores al 20 % (Arena, 2012).

Un parámetro determinante es la granulometría de los áridos, pues influye a lo largo de todo el proceso tecnológico del hormigón: inicialmente en la trabajabilidad del hormigón en proceso de conformación y depósito, luego en el fraguado condicionando la segregación y exudación de la mezcla, y finalmente se ve reflejado en las propiedades a través de la resistencia, la estabilidad de volumen y sobre todo la durabilidad, la cual implica criterios multifactoriales (Li, 2009).

Es parámetro en cuestión depende del sistema de trituración empleado en su proceso de producción. Por lo general, los trituradores de impacto permiten alcanzar residuos con mayor volumen en los áridos produciendo como consecuencia mayor cantidad de finos. La curva granulométrica de la fracción gruesa que producen es adecuada y es viable para los usos granulométricos que recomiendan normas internacionales que rigen los parámetros de árido grueso para hormigón estructural (estándar ASTM). Además, genera polvos finos durante su manipulación debido al desprendimiento por fricción operativa de pequeñas partículas de mortero adheridas que se desprenden. Estas partículas finas en la superficie del árido reciclado pueden originar problemas de adherencia entre éste y la pasta de cemento, además de provocar un aumento de absorción de agua, que demandaría un uso mayor de cemento para garantizar una relación a/c recomendada (Ismail y Ramli, 2013).

Vale observar, que el módulo granulométrico del árido reciclado en dependencia de la tecnología de trituración y las propiedades del hormigón de demolición (reciclable) presentará pequeñas variaciones; generalmente en la medida que sea mayor la resistencia del hormigón reciclable será la mayor la granulometría del árido reciclado para el mismo sistema de trituración (Kang, 2018).

Otro parámetro controlable es la densidad del árido reciclado. Esta suele ser menor que la del árido natural al presentar capas y volúmenes irregulares de mortero adherido,

cuya densidad es inferior a la del árido natural. En la medida que disminuya la granulometría disminuirá la densidad en cuestión, siendo la fracción fina obtenida de menor densidad debido a la mayor cantidad de mortero que poseen sus partículas por unidad de peso (de Juan y Gutiérrez, 2009).

Otra propiedad de alta influencia en el comportamiento del hormigón es la porosidad y el árido reciclado tiende a presentar un valor alto al respecto. Estudios realizados al respecto han demostrado que la penetración de agua es de dos a tres veces superior a los áridos convencionales. Una de las formas de controlar este parámetro es el uso de separadores de densidad industriales, donde para áridos reciclados con densidades superiores a $2,2 \text{ kg/dm}^3$ se presenta una baja porosidad (inferior al 17%), valor este aceptable para ser usado en hormigones estructurales (Alaejos et al., 2008).

Otra propiedad directamente relacionada con el tamaño y la porosidad, es la absorción. El tamaño del árido reciclado al implicar área de contacto y la porosidad vacío intersticial su influyen de manera decisiva sobre la absorción. Ambos parámetros al ser superiores en las fracciones más finas, conducen a una mayor absorción en las mismas (González y Martínez, 2005). Los valores obtenidos en ensayos ratifican la explicación fenomenológica, siendo la absorción en áridos naturales entre un 0 - 4%, mientras que en los diferentes estudios consultados los valores obtenidos en áridos reciclados oscilan entre 3,3 – 13 %, aunque la mayoría sobrepasan el valor límite de un 7 % (Arena, 2012).

Finalmente, resulta válido señalar que estudios recientes (Abed et al., 2020; Wang et al., 2020) resaltan la influencia de la textura en las propiedades del agregado de reciclado de hormigones. Las partículas de árido reciclado obtenidas suelen presentar una textura más porosa y rugosa que la de los áridos convencionales, también asociado a la presencia de mortero adherido a la superficie del árido origen. Estas circunstancias hacen que los hormigones que se fabriquen con ellos presenten problemas de trabajabilidad.

El parámetro que es un estimador de la textura es el coeficiente de forma y se ve directamente afectado la tecnología de trituración empleada en la obtención del árido reciclado. En este sentido es reconocido que machacadoras de mandíbulas ofrecen un árido reciclado con un coeficiente de forma más óptimo que las trituradoras de impactos o de conos (Tayed et al., 2020).

Resultados y Discusión

De forma directa las propiedades mecánicas de los hormigones endurecidos estarán relacionadas con el cumplimiento de los requisitos para propiedades de los áridos reciclados utilizados. En este sentido la tecnología de tratamiento y reciclaje juega un papel decisivo.

Lo anterior se debe a que existe siempre una diferencia significativa entre los áridos reciclados y los convencionales, pues en los primeros no es posible de retirar la totalidad del mortero adherido incorporado, cuyo origen es el hormigón de demolición. Aunque parezca a simple vista un aspecto insignificante, la cantidad de mortero adherido es un parámetro difícil de controlar y tiene una gran influencia sobre las prestaciones del hormigón formado con áridos reciclados, evidenciándose un aumento de absorción de agua, una menor densidad, una menor resistencia, por ende, una menor dureza y resistencia a la fragmentación.

Es válido destacar que el hormigón fabricado con estos áridos reciclado estará restringido por su nivel de depuración, reflejándose en parámetros de resistencia como el comportamiento a compresión, fluencia, tracción, módulo de elasticidad y retracción al secado.

Aunque en la revisión se evidencian experiencias que recomiendan porcentos de sustitución de árido reciclado por naturales y los efectos que tienen en las propiedades básicas del hormigón endurecido, no deben tomarse los mismos como estándares, más

bien como experiencias referenciadas. En cada caso, los hormigones con áridos reciclado demandan estudios de comportamiento pues la fuente de origen de residuo constructivo no es estándar.

Conclusiones

La recuperación y reciclado de hormigones es una tendencia creciente que incide favorablemente en el medioambiente disminuyendo la acumulación de los depósitos de demoliciones y la actividad extractiva de los áridos convencionales.

El proceso de reciclaje de hormigones para ser usados como áridos en nuevos hormigones implica la comprobación de ciertas características dentro de ellas: la densidad, la capacidad de absorción, la porosidad, la granulometría, el coeficiente de forma y la textura, entre otros.

De manera general, en la práctica de la ingeniería civil, tanto la rama docente como investigativa, es prioritaria la tarea de asimilar, elaborar y actualizar por medio de la investigación los requerimientos normativos para el uso de estos materiales reciclados alternativos a través de recomendaciones de buenas prácticas y vías de intercambio y publicación científica. Se recomienda la realización de normativas en función a la práctica experimental de la utilización de áridos provenientes de hormigones reciclados en la normativa Ecuatoriana.

Referencias Bibliográficas

- Abed, M., Nemes, R., y Tayeh, B. A. (2020). Properties of self-compacting high-strength concrete containing multiple use of recycled aggregate. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(2), 108-114.
- Alaejos, M. P., Sánchez, M., Sinis, F., y Cano, H. (2008). *Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción*. CEDEX para el Ministerio de Medio Ambiente.
- Arenas, M. D. C. (2012). *Materiales sostenibles en la edificación: residuos de construcción y demolición, hormigón reciclado (Doctoral dissertation)*.

- Baker-Brown, D. (2019). *The Re-Use Atlas: A Designer's Guide Towards the Circular Economy*. Routledge.
- Calcado, G., Alves, L., Vazquez, E., y Toledo Filho, R. D. (2019, October). Construction and demolition waste aggregates: analysis of the physical and mechanical properties of mortars. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 652, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- de Albuquerque, C. A., Mello, C. H. P., Gomes, J. H. D. F., Santos, V. C. D., y Zara, J. V. (2020). E-waste in the world today: An overview of problems and a proposal for improvement in Brazil. *Environmental Quality Management*, 29(3), 63-72.
- de Juan, M. S., y Gutiérrez, P. A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and building materials*, 23(2), 872-877.
- González-Fonteboa, B., y Martínez-Abella, F. (2005). Hormigones con áridos reciclados: estudio de propiedades de los áridos y de las mezclas. *Mater. Construcc*, 55(279), 53-66.
- Gursel, A. P., Masanet, E., Horvath, A., y Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Cement and Concrete Composites*, 51, 38-48.
- Ismail, S., y Ramli, M. (2013). Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. *Construction and Building Materials*, 44, 464-476.
- Li, X. (2009). Recycling and reuse of waste concrete in China: Part II. Structural behaviour of recycled aggregate concrete and engineering applications. *Resources, Conservation and recycling*, 53(3), 107-112.
- Kang, M., y Weibin, L. (2018). Effect of the aggregate size on strength properties of recycled aggregate concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018.
- Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., y Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate—a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 466-472.
- Tayeh, B. A., Al Saffar, D. M., y Alyousef, R. (2020). The utilization of recycled aggregate in high performance concrete: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8469-8481.

- Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., y Stanić, M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of cleaner production*, 87, 766-776.
- Wang, Q. Z., Zhao, Y. F., Tseng, M. L., y Lim, M. K. (2020). Performance analysis and reuse of construction and demolition waste stone using fractal and gradation theory. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122208.