

Estudio del Potencial de Reciclaje de los Desechos de Construcción y Demolición en la Ciudad de Guayaquil.

Carlos Raúl Rodríguez Díaz

ESPOL, Guayaquil, Guayas, Ecuador, crodrigu@espol.edu.ec

Christian Stephen Cruz Rosado

ESPOL, Guayaquil, Guayas, Ecuador, chstcruz@espol.edu.ec

Karen Gianella Contreras Choez

ESPOL, Guayaquil, Guayas, Ecuador, kgcontre@espol.edu.ec

ABSTRACT

Construction demolition debris and waste constitutes a problem in Ecuador, particularly in Guayaquil, certain areas have been used as unauthorized dumpsters. The production of concrete from raw materials, has an environmental impact inherent to the process of extraction, manufacture and distribution. The objective of this research is to find places where construction demolition and debris is placed and analyze the potential of obtaining recycled aggregates to make sustainable concrete.

The selected sample of construction demolitions waste was mechanically fragmented, crushed and sieved to obtain a material that meets the ASTM C33 concrete standard for fine and coarse aggregate. Standard concrete cylinders with a specified compression strength of 18 MPa were casted and tested. The result was a moderate strength concrete suitable for minor structural elements, affordable housing and architectural applications.

Keywords: Construction, sustainability, sustainable concrete, recycling.

RESUMEN

La contaminación por desechos sólidos de construcción y demolición constituye un problema en Ecuador, en determinados lugares de la ciudad Guayaquil hay botaderos clandestinos, los cuales se acumulan de estos desechos, generando un problema social y ambiental. Con el objetivo de reducir el porcentaje de materiales vírgenes explotados desde áreas verdes y la contaminación que implica obtenerlos, procesarlos y distribuirlos, planteamos como solución tomar muestras de desechos de hormigón de uno de estos botaderos, para analizar su potencial de reuso como agregado.

La muestra obtenida pasó por un proceso de separación mecánica, trituración y tamizado para obtener un material que cumple con la norma ASTM C33 para agregados de concreto gruesos y finos. Luego de ello se procedió a elaborar una dosificación para hormigón estructural con una resistencia especificada igual a 180 kg/cm^2 , de la que luego se ensayó su resistencia a la compresión simple. El resultado fue un hormigón de resistencia moderada apto para emplearse en la construcción de elementos no estructurales y estructurales de baja importancia. Este concreto, producto de agregados de hormigón reciclado presenta un excelente potencial para ser usado en viviendas de interés social, construcción de aceras, bordillos y otro tipo de aplicaciones estructurales, no estructurales y ornamentales.

Palabras claves: Construcción, sostenibilidad, hormigón sustentable, reciclaje.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio está enfocado en utilizar los desechos de construcción y demolición, específicamente el concreto producto de demoliciones. El estudio se sitúa en la ciudad Guayaquil, abarcando un área aproximada de 344 kilómetros cuadrados. La población indirectamente afectada constituye todos los habitantes de la ciudad, que de acuerdo al último censo de población supera los dos millones de habitantes. El estudio se desarrolló durante tres meses, el primer mes se recaudó información para establecer el marco teórico y se recogieron las muestras de desechos de hormigón, durante el segundo mes se hicieron los ensayos de los materiales que constituyeron el hormigón reciclado, finalmente, durante el tercer mes se analizaron los resultados y se elaboró el presente informe.

Al especializarnos en reciclar hormigón, nos enfocaremos en el sector de construcción. Sin embargo, nuestra proyección no se limita en su producción ya que el ciclo incluye el potencial de plazas de trabajo al buscar personas encargadas de recolectar la materia prima y su distribución..

1.1 OBJETIVOS

- Analizar el potencial de reusar los desechos de construcción y demolición en la ciudad Guayaquil, Ecuador.
- Identificar los principales lugares en la ciudad Guayaquil que sean afectados por botaderos de material de construcción o demolición.
- Producir hormigón estructural a partir de los desechos de construcción o demolición.
- Reducir la cantidad de materiales vírgenes que se utilizan para elaborar concreto.
- Generar una alternativa para diseñar hormigón reciclado.
- Establecer las bases para desarrollar una industria del hormigón reciclado.

1.2 MARCO TEÓRICO

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN, en su capítulo correspondiente, define a hormigón como un material compuesto por un medio aglutinante en que están embebidas partículas y fragmento de áridos, a su vez los áridos los constituyen materiales granulares como arena, grava y piedra triturada que se usa con un cementante para elaborar hormigón de cemento hidráulico. La arena constituye el árido fino resultante de la desintegración natural, abrasión de la roca o del procesamiento de la arenisca, en el caso de la costa ecuatoriana se obtiene del lecho de los ríos. El árido fino es además aquel que la mayoría de sus partículas pasa el tamiz No. 4 (4.75 mm) y es retenido en el tamiz No. 200 (75 μ m). El agregado grueso está constituido por gravas, resultante de la desintegración natural y abrasión de la roca o procesamiento de un conglomerado débilmente ligado. Por su granulometría, el agregado grueso se lo distingue porque la mayoría de sus partículas quedan retenidas en el tamiz No. 4 (4.75 mm). La mezcla de cemento y agua forma una pasta aglutinante que conforma el ligante entre la pasta y los agregados.

Existen escasos antecedentes, dentro de la literatura, del reciclaje de desechos de construcción en el Ecuador. Según estadísticas mineras del Sistema de Administración de Derechos Mineros, en el Ecuador existen 87 empresas destinadas a la explotación de minas y canteras. El último dato del año 2011 reporta 10'890,472.26 metros cúbicos de producción de materiales pétreos de construcción. Lo cual ha venido en ascenso durante los últimos 10 años como se puede evidenciar en el Gráfico 1.

La explotación de minas y canteras es una industria que, de acuerdo a cifras proyectadas para el año 2012, representa un mercado de un poco más de 104 millones de dólares, lo que representa el 0.31% de Producto Interno Bruto del país. Las contaminaciones asociadas a la explotación minera están relacionadas a la contaminación del aire por partículas suspendidas, desertificación del suelo y contaminación de fuentes de agua cercanas a la explotación.

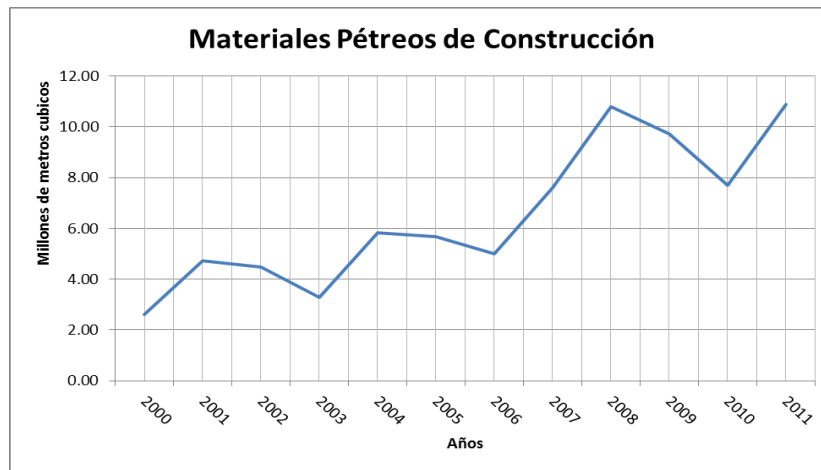


Gráfico 1. Evolución de la producción de materiales pétreos en el Ecuador.

Dentro del Plan Nacional del Buen Vivir del Ecuador proyectado para el quinquenio 2013 – 2017, el objetivo número 7 es el de garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global. Este objetivo cuenta como política el prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental en los procesos de extracción, producción, consumo y post-consumo. Específicamente el lineamiento estratégico relacionado está enfocado en fomentar el uso de tecnologías limpias y actividades económicas alternativas sustentables a la extracción de los recursos naturales para disminuir la contaminación.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las rocas, de las cuales provienen los agregados para la construcción, se consideran un recurso no renovable. Aunque en algunas zonas es abundante, es un recurso limitado, y en algunos casos es escaso. Su explotación requiere una intervención directa a los ecosistemas, que conlleva contaminación al aire y al suelo, constituyendo un impacto ambiental del proceso de la obtención del material de construcción, desde que viene de la cantera hasta su tiempo de vida útil en la obra civil. Los áridos están constituidos por minerales, considerados recursos no renovables y requieren generar estrategias que garanticen su uso sostenible. Uno de los objetivos de esta investigación es usar material de demolición de construcción para, a partir de él, obtener agregados fino y grueso para construcción, de esta manera se reduce la dependencia de explotar fuentes no renovables de minerales para obtener agregados.

Por otro lado, los desperdicios que se generan durante las obras de construcción y más aún, los desechos de demoliciones o reparaciones generan residuos sólidos que usualmente no son dispuestos adecuadamente. Para los habitantes de la ciudad no existe una cultura de adecuada recolección de desechos de construcción, lo que genera que su disposición final se la efectúe de manera informal en terrenos vacíos que se han convertido en botaderos públicos. Además, la empresa que tiene concesionados los servicios de recolección de basura, no tiene bajo su responsabilidad la recolección de desechos líquidos, peligrosos ni de construcción y demolición. Por su parte el municipio ha manifestado que el costo para el cabildo de recolectar estos desechos es muy elevado, y para solucionar esta situación se ha establecido una tarifa de \$19 por cada tonelada de este material que debe cancelar el usuario que desee desecharlos. Sin embargo los ciudadanos no están dispuestos a pagar por esto, por lo que, en algunos casos optan por verter los desechos de construcción clandestinamente.

3. METODOLOGÍA

Se partió por identificar los sitios de la ciudad de Guayaquil en donde se nota acumulación de desechos de construcción. Estos sitios están identificados en la Figura 1, se encuentran dispersos en toda la ciudad corresponden a sectores marginales de la ciudad como son: Bastión Popular y Prosperina, además de zonas consolidadas como: Guayacanes, Sauces, Alborada, Acuarela del Río y al sur El Guasmo.

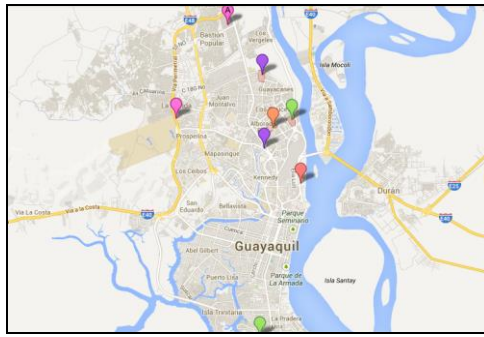


Figura 1. Lugares de la ciudad de Guayaquil, donde se acumulan desecho de construcción.

A continuación se procedió a tomar muestras de desechos de demolición, se escogió el botadero ubicado en la Prosperina, específicamente en la salida del viaducto ubicado en el Km 40 de la vía Perimetral, el mismo que conduce desde la avenida Tanca Marengo hacia la vía Perimetral. En este lugar, como se puede apreciar en la Figura 2, se encontraron desechos de todo tipo, pero principalmente desechos de construcción y demolición. De este lugar se procedió a tomar muestras de concreto de demolición de lo que parece ser una losa de concreto. En total se recolectaron 310 libras de muestra.



Figura 2. Botadero clandestino ubicado en el Km 40 de la Vía Perimetral.

El material recogido fue sometido a un proceso inicial de separación manual mediante un combo, para luego pasar por un proceso de trituración mediante un triturador de mandíbulas, luego de este proceso se obtuvo un material similar a la grava, mediante este proceso se puede triturar cerca de 100 lbs. de material por hora.

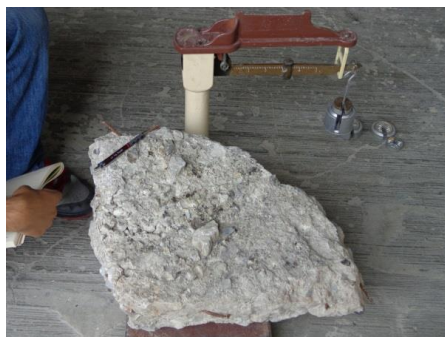




Figura 3. Proceso de pesado, separación manual y trituración de la muestra.

Una vez triturado el material se procedió a hacer varios análisis de la misma con el fin de determinar su idoneidad para ser usado como agregado de concreto. Los ensayos realizados constan en la Tabla 1. La granulometría del material, tal como salió de la trituradora, se lo comparó con los requerimientos para agregados grueso y fino de la norma ASTM C33 obteniendo los resultados de la tabla Tabla 2 y Gráfico 2. Como se puede observar esta granulometría no cumple con la norma, por lo que se procedió a conformar un stock de diferentes tamaños de granos, para a continuación realizar una dosificación para fabricar agregado grueso con piedra 3/4" (Piedra 67) y agregado fino (arena) según la NORMA ASTM C 33-02.

Ensayo	Referencia
Humedad Natural	NTE INEN 862
Análisis granulométrico	NTE INEN 696
Densidad, densidad relativa v absorción del agregado fino	NTE INEN 856
Densidad, densidad relativa v absorción del agregado grueso	NTE INEN 857
Peso volumétrico suelto y varillado	NTE INEN 857

Tabla 1. Ensayos efectuados a los agregados.

Análisis Granulométrico Agregado Grueso			
Tamiz	% Pasante	ASTM C33 3/4 "	
1"	100	100	100
3/4"	98	90	100
1/2"	69	55	77
3/8"	47	20	55
N 4	25	0	10
N 8	25	0	5

Análisis Granulométrico del Agregado Fino			
Tamiz	% Pasante	ASTM C33 ARIDO FINO	
3/8 "	100	100	100
N 4	100	95	100
N 8	62	80	100
N 16	35	50	85
N 30	19	25	60
N 50	12	10	30
N100	7	2	10

Tabla 2. Análisis Granulométrico Inicial del Agregado Grueso y Fino del material triturado.

De esta manera se pudo obtener una material con una clasificación granulométrica que cumple con las Norma ASTM C33 tanto para su uso como agregado grueso y como agregado fino (Tabla 3 y Gráfico 2). Además de mantener un stock de material clasificado del cual se pueden proporcionar otras mezclas.

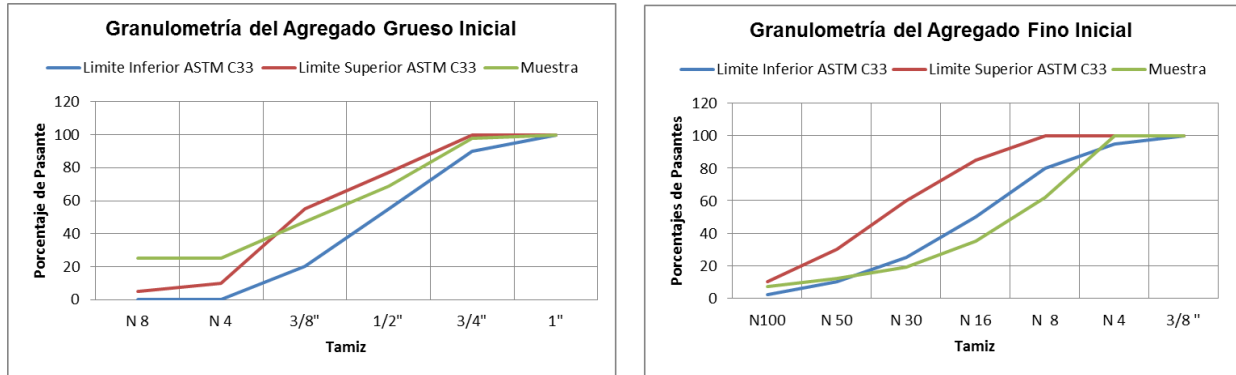


Gráfico 2. Granulometría inicial de los agregados grueso y fino del material triturado

Análisis Granulométrico Agregado Grueso			
Tamiz	% Pasante	ASTM C33 3/4 "	
1"	100	100	100
3/4"	98	97	100
1/2"	69	62	77
3/8"	47	42	55
N 4	25	6	10
N 8	25	3	5

Análisis Granulométrico del Agregado Fino			
Tamiz	% Pasante	ASTM C33 ARIDO FINO	
3/8"	100	100	100
N 4	96	95	100
N 8	85	80	100
N 16	55	50	85
N 30	30	25	60
N 50	15	10	30
N100	6	2	10

Tabla 3. Análisis Granulométrico Ajustado del Agregado Grueso y Fino del material triturado

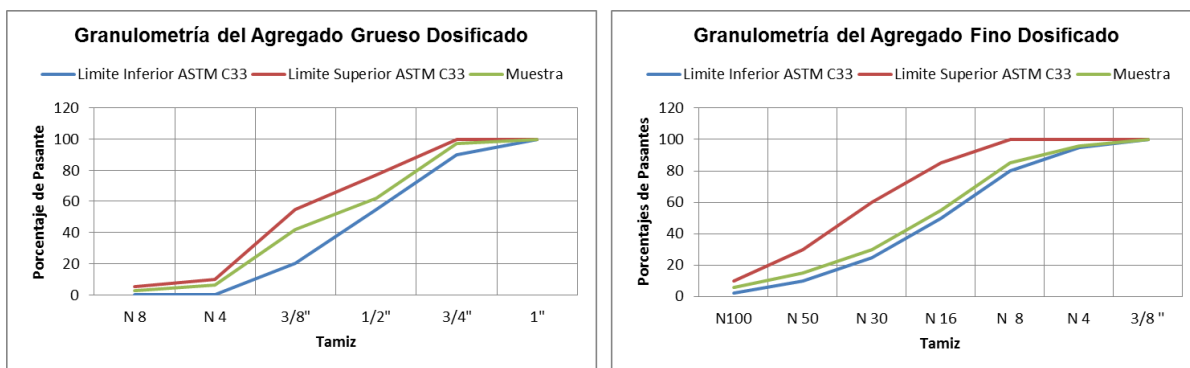


Gráfico 3. Granulometría final de los agregados grueso y fino del material triturado.

Con este material clasificado y con los resultados de los ensayos de humedad, densidad, densidad relativa, absorción y peso volumétrico se procedió a calcular la dosificación para fabricar un hormigón convencional, compuesto únicamente por cemento, arena, piedra y agua; con una resistencia a la compresión simple especificada a los 28 días $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$. Se obtuvo un hormigón liviano con una densidad de diseño igual a $2,029.42 \text{ kg/m}^3$. La dosificación se muestra en la **Error! Reference source not found.**

	Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales
Materiales	Kg / m3	%Absorción	%Humedad	Kg / m3	Kg / m3
Cemento	316.44	---	---	316.44	316.44
Piedra	926.40	6.29	5.09	871.61	915.97
Arena	554.56	16.96	10.43	474.14	523.60
Agua	232.03	---	---	367.23	273.41
Σ	2,029.42		Σ	2,029.42	2,029.42

Tabla 4. Dosificación por Corrección por Humedad y Absorción. Diseño 180 kg/cm^2

Con esta dosificación se preparó una mezcla de hormigón con la cual se elaboraron cilindros estándar de 100mm de diámetro y 200mm de alto, estos cilindros fueron sometidos al ensayo de resistencia por compresión simple, obteniendo resistencias a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 5.



Gráfico 4. Cilindros de hormigón reciclado antes y después del ensayo de resistencia por compresión simple.

Edad (días)	Area (cm 2)	h(cm)	Peso(gr)	P.volumetrico (kg/m3)	Carga Aplicada (Kg)	Resistencia Kg/cm2
7	78.54	20.00	3377	2149.65	5,670	72.2
14	78.54	20.00	3396	2161.75	8,074	102.8
21	78.54	20.00	3406	2168.33	10,030	127.7
28	78.54	20.00	3410	2170.87	13,006	165.6

Tabla 5. Resultados del promedio de tres cilindros ensayados por ruptura a la compresión simple.

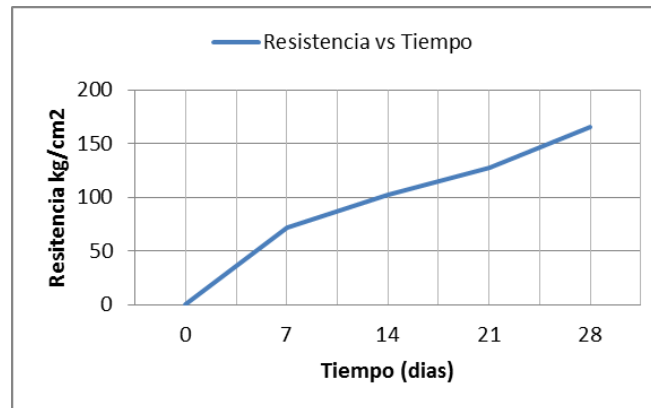


Gráfico 5. Evolución de la resistencia del hormigón reciclado.

4. CONTRIBUCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 SOLUCIONES PROPUESTAS

La solución es simple pero a la vez tiene un gran potencial de ayuda al ambiente y a la sociedad. La solución sería reciclar los materiales de desechos de construcción o demolición para poder reusarlos y así ayudar al ambiente.

Proponemos la creación de una empresa de reciclaje y fabricación de elementos estructurales y ornamentales de hormigón reciclado. De esta manera generamos empleo y solucionamos un problema ambiental y social.

Podemos usar este hormigón para diversas aplicaciones estructurales y no estructurales. Se puede usar este hormigón reciclado para construir aceras, contrapisos, replantillos, columnas de viviendas de no más de un nivel, bancas prefabricadas, bolardos, divisiones de carriles y otras aplicaciones en estructuras no esenciales.

Por medio del reciclado de los desechos de demolición en construcción se reemplaza el uso de agregados naturales para la construcción, reduciendo así el uso de materiales vírgenes por cada metro cúbico de hormigón.

4.2 VIALIDAD

El reciclaje de los desechos de construcción y demolición en la ciudad de Guayaquil es un proyecto sostenible y se desarrolla dentro de los tres ámbitos de la sustentabilidad:

Ambiental: Se desenvuelve en lo sostenible y en lo sustentable ya que, al utilizar los desechos de construcción y demolición como agregados para hormigón, estamos ayudando a que disminuya la explotación de un recurso natural como es la piedra, preservándola para futuras generaciones, sin olvidarse de las necesidades económicas y sociales que tenemos ahora, sumándole a esto el resultado de un ambiente sano para la actual generación.

Ayudaríamos a que estos botaderos con desechos de construcción y demolición se reduzcan, mejorando así el paisaje y la condición ambiental, contribuyendo de esta manera al turismo.

Social: Al fomentar el reciclaje de los desechos de construcción y demolición en la ciudad de Guayaquil, evitaríamos los problemas que se generan entre vecindarios por la acumulación de dichos desechos.

Se crearía un centro de acopio para facilitar el transporte de estos desechos de construcción y demolición, que con una llamada se de solución a este problema a las personas afectadas por estos botaderos.

Sabemos que un cambio no sucede de la noche a la mañana, por eso es necesario un proceso de cambio de valores, conductas y estilo de vida en las personas, que podría ser evaluado en unos cinco años, por medio de este proyecto veríamos si hay un cambio en la sociedad para bien del ambiente y de la vecindad.

Económico: Generando un mercado para estos materiales de desechos de construcción y demolición en la ciudad Guayaquil, que a su vez se lo proyectaría para el resto del país, se crearía fuentes de trabajo, que van desde la recolección hasta el producto obtenido a partir del material reciclado, teniendo en cuenta la capacitación al personal en cada uno de los procesos, haciendo que la economía crezca internamente. El proyecto muestra viabilidad económica ya que en el costo del hormigón, sólo se incluiría una parte del agregado, correspondiente a la recolección de los desechos y a su trituración en planta. Hemos estimado, de acuerdo a precios de mercado, que el costo por metro cúbico del hormigón de resistencia $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ es de \$122.36, de los cuales \$49.80 corresponden a los materiales (cemento, arena, piedra y agua). De acuerdo a nuestro análisis de precio unitario, el costo del mismo hormigón reciclado sería \$112.38 por cada metro cúbico siendo \$41.48 la parte que corresponde a los materiales. Esto significa un ahorro del 17% en materiales y cerca de \$10 por cada metro cúbico de hormigón puesto en obra. Lo que convierte a estos productos atractivos económicamente.

Además, se ha estimado que la ciudadanía está dispuesta a pagar hasta un 10% más por productos que sean amigables con el medio ambiente (Conferencia CIMA Ecuador, 2013), sin embargo nuestra propuesta incluso costaría menos que su contraparte convencional.

5. CONCLUSIONES

- Por medio del reciclado de hormigón a partir de desechos de demolición pudimos fabricar un hormigón con un contenido de material reciclado del 74% y una resistencia cercana a $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$.
- Podemos reemplazar el 100% de los agregados para la fabricación de hormigón con material reciclado.
- Durante el proceso encontramos que el porcentaje de absorción en los agregados es mayor a lo normal, por lo que se ha recomendado que estén superficialmente saturados al momento de hacer la mezcla para obtener hormigón.
- Nos dimos cuenta que no toda la propiedad cementicia del cemento se había perdido en el hormigón reciclado.

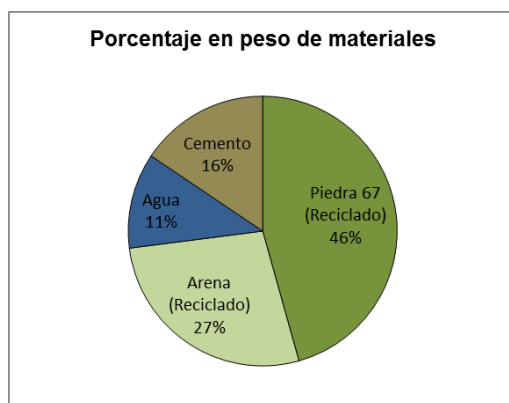


Gráfico 6. Porcentaje en peso de los materiales utilizados para fabricar hormigón reciclado.

- Pudimos observar que el hormigón fabricado a partir de desechos de demolición reciclados tiene un proceso de endurecimiento más lento que el hormigón convencional, obteniendo resistencias a los 7, 14, 21 y 28 días iguales al 40%, 57%, 71% y 91% de la resistencia final, respectivamente.
- Vemos que existe un gran potencial para usar este hormigón reciclado en diversas aplicaciones.
- Identificamos lugares en la ciudad de Guayaquil donde existe gran cantidad de desecho de construcción y demolición.
- En el Ecuador, la inversión actual en construcción es un rubro muy significativo en la economía, desde nuestra propuesta contribuimos a que esta inversión sea más amigable con el medio ambiente.
- Creemos que este proyecto se puede extrapolar a otras ciudades del país convirtiéndose en un plan nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for, T., & Materials, M. P. C. A. (1993). *Standard specification for concrete aggregates*. Philadelphia, PA: ASTM.
- Angulo Sc, el. al. (2009). Chemical-mineralogical characterization of C&D waste recycled aggregates from São Paulo, Brazil. *Waste management (New York, N.Y.)*, 29(2), 721-730.
- Begliardo, H. (2011). *Valorización de Agregados Reciclados de Hormigón*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Heyman, el. al. (2001). *La ciencia de las estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- INEN. (2010a). Norma Técnica Ecuatoriana *Hormigón y Árido para elaborar Hormigón*. Quito, Ecuador.
- INEN. (2010b). Norma Técnica Ecuatoriana *Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino*. Quito, Ecuador.
- INEN. (2010c). Norma Técnica Ecuatoriana *Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso*. Quito, Ecuador.
- INEN. (2010d). Norma Técnica Ecuatoriana *Aridos para Hormigón*. Quito, Ecuador.
- INEN. (2010e). Norma Técnica Ecuatoriana *Determinación de la Resistencia a la Compresión*. Quito, Ecuador.
- Mehta, P. K. (1986). *Concrete : structure, properties, and materials*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Montero, el. al. (2010). Gypsum and organic matter distribution in a mixed construction and demolition waste sorting process and their possible removal from outputs. *Journal of hazardous materials.*, 48(1), 747.
- Scanferla, L. (2011). *Evaluación del Comportamiento de Hormigones Elaborados con Agregados Reciclados*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Telégrafo, El. (2012, 12 de Enero). Recolección de materiales de construcción tendrá costo extra, *PP El Verdadero*.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.