

LA ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA PARA EL RECICLAJE DE
CONCRETO (RCD) EN UNA OBRA CIVIL



ANGUIE TATIANA GÓMEZ CORTES

Ensayo presentado como opción de grado para optar por el título de:

INGENIERO CIVIL

Programa académico internacional en el marco de las relaciones Colombia – Perú

Lima – Perú

Luz Yolanda Morales Martin

Tutora

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

BOGOTA, D.C

2020

LA ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA PARA EL RECICLAJE DE CONCRETO (RCD) EN UNA OBRA CIVIL

En el ensayo se presenta un estudio de la economía circular aplicada al reciclaje del concreto como material granular, proveniente de un RCD (Residuo de Construcción y Demolición) y no de materias primas obtenidas de un medio natural, en donde se define la temática relacionada a la economía, evaluando aspectos de la implementación de la misma, las barreras que surgen cuando se desea implementar este tipo de economía visto desde un punto general y un punto ingenieril y ejemplos de prácticas de este tipo de economía.

Así mismo, se exponen los aspectos que relacionan al concreto con el sistema económico, describiendo el material, definiendo sus características y su ciclo de vida, como también el proceso de reciclaje del material, luego de la actividad de demolición y procedimiento que se puede dar al mismo, los usos que tiene este tipo de tipo de concreto reciclado, el beneficio que trae utilizar este tipo de concreto como material granular, los obstáculos que se pueden presentar en el proceso, la normativa que rige respectivamente este tipo de reciclado y al final, un estudio de caso que demuestra que el concreto reciclado funciona como reemplazo de agregados gruesos para el desarrollo de un nuevo concreto.

Sistema económico circular

La economía circular se implementa como la nueva alternativa eficaz que propone responder y satisfacer las necesidades básicas humanas y del ecosistema a partir de las 6 R, las cuales se conocen como: Reducir, Reutilizar, Reciclar, Redefinir, Revalorizar y Redistribuir. El objetivo principal de esta economía reside sobre la reducción del uso de materias primas por la producción de los desechos, (Cerdá, 2016).

En la actualidad se utiliza un sistema económico lineal, el cual está pensado en la generación de productos que no tienen ningún fin diferente al desecho del mismo luego de que termine su tiempo de vida útil, por consiguiente, se compone de diferentes procesos de desarrollo que giran a partir de sus propios intereses, estos procesos se dividen generalmente en seis partes las cuales cada una es generadora de desechos.

- **Diseño del producto:** Se basa en una idea que surge a partir de la necesidad del consumidor, en consecuencia, se piensa en producir mucho para vender mucho.
- **Extracción de la materia prima:** Como su nombre lo indica son materiales extraídos de la naturaleza ya sea de origen vegetal, animal o mineral.
- **Distribución de los materiales:** Desplazamiento del material hasta la fábrica de producción el cual se rige de diferentes normativas que evitan causar algún tipo de contaminación al medio ambiente, sin embargo, se implementan medidas transportadoras contaminantes como los barcos de carga, entre otros.
- **Producción en fábricas:** Se realiza el procesamiento de las materias primas con diferentes herramientas y maquinarias hasta obtener el producto objetivo.
- **Distribución y venta:** Venta del bien y servicio relacionado con un periodo y cantidad de tiempo determinado.
- **Consumo:** Compra por parte del consumidor para satisfacer una necesidad material, (Prieto, Jaca, & Ormazabal, 2017).

Por esta razón se procede a realizar un cambio a la economía de la producción, utilizando la economía verde o economía circular, que lleve a que los anteriores procesos se rediseñen en global o dependiente uno del otro, de manera que en cada fase se tenga en cuenta la conciencia para la creación de nuevos productos.

¿Cómo implementar la economía circular?

La implementación de la economía circular como una herramienta que relaciona los procesos de obtención de materias primas, producción y consumo de los materiales asociados a los diferentes procesos comerciales, genera una vista de responsabilidad de las diferentes organizaciones y/o empresas, evitando ocasionar desequilibrios y problemáticas ambientales, sociales y económicas, pues visto el sistema económico lineal más afondo, no solo se ve afectado el medio ambiente por la contaminación de sus servicios ambientales, si no la sociedad en general, pues surgen impactos relacionados al agotamiento de recursos naturales y externalidades que intervienen directamente en la salud y economía de los agentes relacionados.

Para diseñar e implementar la economía circular directamente asociada a una empresa, es necesario contemplar diferentes perspectivas que permitan a la misma analizar e identificar los materiales referentes al sistema energético y al proceso resultante de las materias primas, para lo cual se deberá identificar dentro del marco el tipo de residuo y la clasificación de los aprovechables y no aprovechables, de igual manera es preciso evaluar la viabilidad técnica y económica referente a la estrategia de economía circular, para al final redefinir “EL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS (PGIRS)” generados por la empresa, (Jimenez, 2017).

El PGIRS está ligado a diferentes etapas, tales como la identificación de los residuos provenientes, la clasificación y disposición de los residuos por colores, el almacenamiento temporal de los residuos, el tratamiento, el aprovechamiento y la disposición final, (Minvivienda, 2018). Sin embargo, para llevar a cabo el rediseño influyente en la economía circular, se deberá incluir la responsabilidad de la empresa de la recolección de los residuos

posterior a la venta, obteniendo el óptimo resultado de la actividad de separación en la fuente, generando así de manera sostenible la reducción de costos, procesos, materias primas y además generar políticas en las compras de los consumidores creando beneficios y tendencias responsables, (PGIRS, 2016-2027).

Barreras para implementar la economía circular

Para comprender las barreras que intervienen llevar a cabo este sistema que resulta no solo ser beneficioso para el medio ambiente sino también para los generadores del objeto y los consumidores del mismo, es necesario separar estas barreras en dos ámbitos, las barreras externas e internas.

Las barreras externas recaen directamente en aspectos de tipo político, económico, tecnológico y de infraestructura, puesto que no existe el apoyo financiero, ni legislativo por parte del gobierno y llevar a cabo este tipo de economía tiene costes financieros elevados y adicionales en comparación con los productos obtenidos por el sistema lineal y así mismo las tecnologías e infraestructuras para el desarrollo de los procesos de reciclaje son escasos y obsoletos.

Las barreras internas reinciden sobre las faltas de capacidades técnicas de los operarios de la empresa u organización, los recursos financieros propios de la misma y el interés relacionado directamente a la protección del medio ambiente visto desde cada uno de los cargos responsables, (Prieto, Jaca, & Ormazabal, 2017).

Prácticas de la economía circular con materiales reciclados

La economía circular como ha sido explicado consiste en reducir el consumo, reutilizar y reciclar, la cual permite generar negocios sostenibles en las diferentes obras civiles, un ejemplo

de esto puede ser la empresa SUSTAINER HOMES ubicada en la capital de los países bajos Ámsterdam, quien se encarga de realizar obras sustentables utilizando la prefabricación de diferentes materiales para la construcción de viviendas, (HOMES, 2015). Sin embargo, esta economía va más allá de ello, pues en Colombia, existe una empresa llamada igNEO en la ciudad de Barranquilla, quien consolida un proyecto innovador para el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición, (igNEO, 2018). En la actualidad los residuos de construcción y demolición generan bastantes problemáticas debido a la disposición que se da de los mismos, llevándolos en el mejor de los casos a los rellenos sanitarios cercanos, pues existen sitios de disposición ilegal como botaderos de este tipo de residuos, según (Castaño, Rodríguez, Lasso, Gómez, & Ocampo, 2013) en Bogotá para el año 2013 se detectaron alrededor de 94 sitios de disposición ilegal y una cantidad de 12 millones de toneladas de materiales al año. Por esto, el ministerio de medio ambiente creó la resolución No. 0472 el 28 de febrero del 2017 en la que se establece: *“Las disposiciones para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición – RCD y aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan Residuos de Construcción y Demolición – RCD de las obras civiles o de otras actividades convexas en el territorio nacional”*, (PGIRS, 2016-2027)

La empresa igNEO, realiza productos especializados manejados en diferentes colores, texturas, acabados, diseños disruptivos y cuenta con productos de mobiliario urbano, sistemas de moduladores para iluminación exterior, soportes de iluminación exterior, proyectos especiales en concreto reciclado. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Productos con concreto reforzado, empresa igNEO

Producto	Concreto recuperado
Mobiliario Urbano	
Sistema de moduladores para iluminación exterior	
Soportes de iluminación exterior	

Figura 1. (igNEO, 2018). Productos urbanos sostenibles [Figura]. Recuperado de <http://igneocolombia.com/>

Figura 2. (igNEO, 2018). Productos urbanos sostenibles [Figura]. Recuperado de <http://igneocolombia.com/>

Figura 3. (igNEO, 2018). Productos urbanos sostenibles [Figura]. Recuperado de <http://igneocolombia.com/>

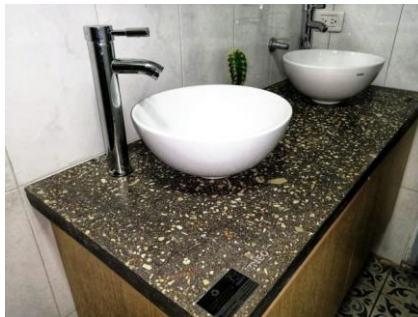


Figura 4. (igNEO, 2018). *Productos urbanos sostenibles* [Figura]. Recuperado de <http://igneocolombia.com/>

Nota. Recuperado de igNeo Colombia. Sostenibilidad completa, 2015.

El concreto y su reciclaje

Para poder conocer acerca de las técnicas del reciclaje de concreto, los usos que se pueden dar a esta actividad, se debe definir el concreto, las características del mismo y su ciclo de vida.

Definición y características del concreto

El concreto es conocido como un material de construcción universal, utilizado en procesos constructivos y poseedor de propiedades que brindan alto desarrollo al mundo de las construcciones, entre ellas su principal propiedad de resistencia. El concreto es un material compuesto de cemento, agregado, aire y agua, lo cual lo sitúa en la lista de residuos sólidos de construcción y demolición como uno de los materiales que mejor función tiene al momento de una actividad como el reciclaje.

El concreto como material homogéneo puede ser mezclado con diferentes aditivos que permitan modificar las propiedades del mismo, brindando características plastificantes, retardantes, acelerantes y la combinación de estas, con el fin de cumplir los requerimientos respectivamente, además de ello posee una elevada resistencia a la compresión lo que lo hace un material estructural eficiente en elementos estructurales, tales como las columnas, sin embargo es un material que posee un alto porcentaje de fragilidad respecto a las fuerzas de tracción ya que tiene escasa

capacidad de deformación, lo que ha llevado a modificaciones tales como la introducción de acero, vidrios y polímeros, de tal forma que es llamado “Concreto reforzado”, (Diaza, Vitervo, Hernandez, A., & Gutiérrez, 2010).

En otras palabras, el concreto es un determinante al momento de un proyecto civil, pues además de contar con diferentes propiedades, se debe tener en cuenta un factor de durabilidad, el cual brinda la garantía de la vida útil del concreto. La durabilidad está ligada directamente a elementos como la compactación, porosidad y la permeabilidad, por tal razón genera una responsabilidad en la tecnología utilizada para el desarrollo del concreto entre ellos su dosificación, producción, transporte, colocación, vibrado, curado y demás etapas pertenecientes al ciclo de vida de un concreto de calidad, (Diaza, Vitervo, Hernandez, A., & Gutiérrez, 2010).

El concreto posee diversos tipos, los cuales son aplicados de acuerdo al proyecto correspondiente, difiriendo así de sus características ya nombradas, el tipo de concreto convencional o simple es el usado en más cantidad, a continuación, en la Tabla 2, se presenta la composición de la mezcla, las características del concreto y las del agregado grueso y algunas ilustraciones.

Tabla 2. Concreto simple

Tipo de Concreto	Mezcla	Características del concreto	Características del agregado grueso	Ilustración
Concreto simple	Agua, Agregado grueso, Agregado fino, cemento portland.	Para analizar las características del concreto, es necesario examinar el diseño de mezcla, en el que se tiene en cuenta el elemento estructural y las especificaciones de diseño, como también los resultados obtenidos en el	Resistencia: 250 kg/cm ² . Para obtener mayores resistencias se utilizan agregados de tamaños pequeños). Densidad aparente: 2.3 y 2.9 g/cm ³ Contenido límite de finos: 1 y 3%. Resistencia al desgaste por máquina de los ángeles:	 Figura 5. (Directorio de bienes raíces , 2020). Como se fabrica el firme de concreto y que materiales ocupa [Figura]. Recuperado de https://www.nosmudamos.net/

laboratorio de agregado fino, agregado grueso e información del material cemento. Losas de concreto y pavimento: Desgaste máximo de 35%. Otras estructuras: Desgaste máximo de 40%.

Ensayo de sulfato de sodio y magnesio:

Resistencia a la compresión del concreto (nominal) a los 28 días: 21 Mpa – 210 kg/cm²

Sulfato de sodio: Perdida del agregado no mayor al 12%.
Sulfato de magnesio: Perdida de agregado no mayor al 18%.

Recomendaciones: Se debe evitar el uso de agregados planos y alargados, utilizando partículas esféricas y cubicas, las cuales aumentan la resistencia y disminuyen el uso del cemento, el agregado no debe contener arcillas. Es importante revisar la NTC 174 y las normas aquí específicas y las especificaciones de diseño el tamaño máximo nominal.



Figura 6. (GeoStru, 2020). Software de cálculo de muros de contención [Figura]. Recuperado de <https://geostru.com/>



Figura 7. (Precise forms, Inc, 2020). Características decorativas de hormigón [Figura]. Recuperado de <http://preciseforms.com/>

Nota. Recuperado de “El concreto y otros materiales para la construcción”, por Gutiérrez, L, 2003, cap. 2, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. (Gutierrez de Lopez, 2003)

Ciclo de vida del concreto

El análisis de ciclo de vida del concreto (ACV), es un proceso que permite estimar o evaluar los impactos ambientales que posee este material a través de su ciclo de vida, por consiguiente, deberán ser evaluados los procesos pertenecientes a la extracción de los recursos, la modificación y proceso del mismo hasta llegar al producto, uso y reutilización o reciclaje. Para conocer el ciclo de vida del concreto se tomó la siguiente tabla, en donde se ven reflejados los procesos de ciclo de vida del mismo, los aspectos relacionados directamente al proceso y algunos de los impactos ambientales, con el fin de incidir sobre la tecnología y diseño utilizado para llevar a cabo el desarrollo del concreto, brindando una visión correspondiente al sistema económico circular,

evaluando acciones que permitan el ahorro de materias primas, energía, servicios ambientales, entre otros, para así generar un desarrollo sostenible, (Diaza, Vitervo, Hernandez, A., & Gutiérrez, 2010). En la Tabla 3, se presentan las acciones y los impactos ambientales generados en los diferentes ciclos del proceso de producción del concreto.

Tabla 3. Principales impactos ambientales en el ciclo de vida de las tecnologías del concreto

Ciclo	Acciones	Impactos negativos más comunes
Ciclo I Extracción de materias primas	Extracción de áridos y otras materias primas. Extracción y procesamiento de minerales. Consumo de energía.	Emisiones atmosféricas de polvo y gases. Ruidos. Contaminación hídrica. Contaminación y compactación de suelos. Cambio de uso de suelos. Afectaciones a la biodiversidad.
Ciclo II Transporte de materias primas	Transporte de materias primas y materiales. Consumo de energía y uso de combustible.	Emisiones atmosféricas de polvo y gases. Ruidos. Contaminación por aceites y lubricantes.
Ciclo III Producción de componentes del concreto	Fabricación del cemento y aditivos. Fabricación de acero. Pre-fabricación en planta. Vibrado del concreto. Consumo de agua. Consumo de energía.	Emisiones atmosféricas de polvo y gases. Ruidos. Contaminación hídrica. Contaminación del suelo por residuos sólidos de la producción. Contaminación del suelo por residuos líquidos.
Ciclo IV Distribución de componentes a plantas y obras	Distribución del cemento, acero, aditivos, áridos y otros productos. Consumo de energía.	Emisiones atmosféricas de polvo y gases. Ruidos. Contaminación por aceites y lubricantes.
Ciclo V Diseño y proyección	Proyectos ingenieriles. Consumo de energía. Consumo de papel y otros materiales.	Incrementos de la generación de residuos sólidos de papel y otros materiales.
Ciclo VI Construcción y puesta en marcha	Construcción. Movimiento de elementos. Consumo de agua. Consumo de energía. Ocupación de suelos.	Emisiones atmosféricas de polvo y gases. Ruidos. Contaminación hídrica. Contaminación del suelo por residuos sólidos de la producción. Contaminación del suelo por residuos líquidos. Cambio de uso de suelo. Afectaciones a la biodiversidad y el valor paisajístico.
Ciclo VII Uso	Uso de edificación. Mantenimiento. Reparación de las patologías del concreto. Reparación de terminaciones, redes técnicas y otros. Consumo de agua. Consumo de energía.	Contaminación por residuos sólidos. Contaminación hídrica. Contaminación por residuos líquidos. Ruidos.

Ciclo VIII	Abandono y demolición.	Emisiones atmosféricas de polvo y gases.
Demolición.	Rehabilitación.	Ruidos.
Re-uso.	Gestión de residuos.	Contaminación por residuos sólidos.
Rehabilitación.		Contaminación por residuos líquidos.
		Afectaciones al paisaje y las personas.

Nota. Recuperado de “Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo, vol. 1, ‘Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida’”, por Díaz et al, enero – junio, 2010, p. 46.

Para analizar el ciclo de vida del concreto resulta importante definir diferentes categorías que permitan caracterizar el impacto ambiental en alto, medio y bajo o más normalmente como se realiza en la actualidad, impactos medios conocidos como “Impactos de punto intermedio” o impactos elevados conocidos como “Impactos de punto final”. Los impactos pueden ser medidos en primera instancia de manera espacial, ya que pueden presentarse de forma global, regional y local, para luego proceder a realizar análisis de tipo cuantitativo y cualitativo, hasta llegar a un análisis final, (Díaz, Vitervo, Hernández, A., & Gutiérrez, 2010).

En la Tabla 3 se muestran los impactos ambientales de acuerdo a cada ciclo del concreto, en donde desde el primero de ellos “Extracción de materias primas”, resulta contaminante generando un impacto ambiental y claro está una externalidad, por ello es importante evaluar la sostenibilidad del material, para llegar a un proceso de reciclaje.

Reciclaje del concreto

El concreto es un material que tiene alta tasa de consumo a nivel mundial “Se estima que en 2006 en el mundo se consumieron entre 21 y 31 billones de toneladas de concreto (conteniendo 2.54 billones de toneladas de cemento), a comparación de los menos de 2 – 2.5 billones de toneladas de concreto consumidas en 1950 con (200 millones de toneladas de cemento)”, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible, 2009). Estas cifras representan el alto crecimiento del uso de concreto, lo cual ha permitido considerar la idea de reciclar el concreto como un componente para una mejor práctica del desarrollo sostenible, minimizando las

generaciones de desechos, sustituyendo los recursos vírgenes o materias primas, reduciendo los costos y demás, sin embargo, esta práctica no se emplea con alta frecuencia, debido a la baja visión de reciclaje y además intervienen generalmente algunas normas regulatorias que aceptan que el 20% del contenido de agregados sea reemplazado para aplicaciones estructurales. El reciclaje del concreto puede ser preferible si se está hablando de agregados vírgenes de acuerdo a la situación, una de ellas se refiere directamente a las bases y sub - bases viales, pues el agregado producido por concreto reciclado de RCD posee mejores propiedades de compactación y requiere menos cemento al momento de la sub - base y claro está, que resulta más económico que un material proveniente de un recurso virgen, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

¿Cómo reciclar el concreto?

En la actualidad, el reciclaje del concreto se realiza con el método de trituración, generalmente, en donde se ubican maquinas trituradoras cercanas a los sectores de construcción o en los mismos, con el fin de realizar los procesamientos in-situ o de otra manera se establecen espacios especializados que permiten realizar el procedimiento y garantizar la generación de mejores agregados, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

Las maquinas trituradoras tienen la capacidad de procesar el material de tal forma que convierte el mismo en trozos pequeños, Ver Figura 8 y algunas de ellas incorporan cuchillas de aire e imanes las cuales remueven materiales ligeros tales como la madera, plásticos y los aceros respectivamente, Ver Figura 9, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).



Figura 8. Tomado de <http://https://aimixtrituradora.com/>



Figura 9. Tomado de <http://https://https://www.mekaglobal.com/>

Cabe resaltar que para llevar a cabo el proceso de reciclaje del concreto sostenible y obtener un agregado de calidad, es necesario cumplir el procedimiento correspondiente de manera puntual y además efectuar algunas prácticas como la separación correcta de los residuos sólidos de construcción y demolición (RCD), implementar medidas energéticas sustentables para su proceso y evaluar la practica vía in-situ vs vía especializada.

Usos del concreto reciclado como agregado

En realidad, el concreto reciclado y recuperado es un material que puede ser utilizado en diferentes medidas, algunas de ellas, sometidas a procesos de trituración, utilizadas finalmente como agregados, otras, procesadas para el desarrollo del cemento (también componente del concreto), para producir Clinker.

- **Concreto reciclado utilizado como agregado grueso:**

Comúnmente el concreto reciclado y procesado tiene uso general en las bases y subbases granulares viales, ya que posee altas propiedades en cuanto su compactación y características importantes en cuanto a la economía del proyecto. La calidad del agregado es directamente dependiente a la calidad del material original y claro está al proceso de demolición, trituración y separación del mismo, como también intervienen las características de contaminación del material. Sin embargo, como se ha implementado en la actualidad, triturar el concreto hasta convertir en material granular, permite utilizar este sistema como materia prima del concreto.

En la actualidad se utilizan agregados reciclados en diferentes países a nivel mundial, algunos de ellos pertenecientes a Europa, en donde sus aplicaciones más comunes se ven representadas en las carreteras viales y las recomendaciones respecto al concreto reciclado resultan positivas. Algunas investigaciones realizadas por los diferentes países, comentan que el uso de este tipo de agregados a diferencia de los agregados obtenidos en canteras, permite la reducción del grosor de las capas granulares debido a las altas propiedades de capacidad de soporte, como también una cohesión superior a los agregados vírgenes luego de pasar por un proceso pertinente, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

- **Concreto reciclado utilizado como agregado fino**

El concreto reciclado también puede ser utilizado como agregado fino, sin embargo, en este caso existen algunas limitaciones asociadas a las características del concreto, ya que, al contar con un grado de porcentaje de mortero, se pueden afectar propiedades como la plasticidad y contracción debido a la absorción de agua, de igual manera se podrán

presentar problemas de asentamientos y fracturas por contracción durante el desarrollo del secado, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

¿Cómo beneficia el reciclaje del concreto?

Anteriormente se habló acerca del ciclo de vida del concreto, en donde fue posible identificar que la fabricación del concreto consta de diferentes procesos que generan impactos negativos en el medio ambiente. Reciclar el concreto trae muchos beneficios, los cuales pueden ser determinados por la comparación de algunos aspectos de los agregados obtenidos de una cantera como materia prima o los agregados obtenidos del reciclaje del concreto. Los aspectos evaluados están ligados a los principales impactos ya presentados en la Tabla 3.

1. Disminución del impacto por emisiones atmosféricas, ruidos, contaminaciones hídricas y energéticas:

Debido a la alta cantidad de demanda en el sector de la construcción y por ende la alta porción de agregado que se requiere, es necesario realizar actividades de explotación recurrentemente, lo que ocasiona impactos ambientales relacionados a los conflictos atmosféricos, en donde implica el almacenamiento del material(partículas), molienda del material (partículas), entre otros, además de ello, el desarrollo de esta actividad presenta ruidos y contaminaciones hídricas nefastas para el ecosistema cercano. El implementar los agregados reciclados evitaría ocasionar problemáticas hídricas importantes, disminuiría las emisiones atmosféricas, reduciría los gastos de energía si se implementan variables sostenibles, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

2. Disminución de impacto por contaminación del suelo:

Según el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo sostenible (2009), el uso de agregados reciclados permite disminuir la explotación de materias primas y recursos

naturales, ya que se ven implicadas las aguas superficiales y subterráneas, como también la de los ríos, lagos, entre otros, se ve comprometida de igual manera la flora y la fauna, hasta llegar a la destrucción de ecosistemas. Asimismo, es posible aumentar el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios y/o escombreras, como también la reducción de desechos en vertederos, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

3. Disminución del impacto por contaminación del aire:

El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (2009), expresa que el uso de combustible y las emisiones de CO₂ se ven representadas a lo largo del procesamiento de concreto, ya que las materias primas requieren de maquinaria portadoras de emisiones de CO₂ y deben ser transportadas para ser procesadas, para luego ser llevadas al diseño y desarrollo del concreto, algunos son preparados in-situ y otros preparados en una concretera especializada. Los materiales obtenidos en una cantera generalmente están distanciados del lugar de construcción, ya que suelen ser lugares naturales, generando más contaminación de transporte, mientras que los RCD pueden ser trabajados como ya fue dicho anteriormente, de manera in-situ en la construcción, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

4. Disminución de impactos durante el ciclo de uso:

Los agregados obtenidos de concreto reciclado poseen características muy similares a los agregados naturales, lo que implica que tengan el mismo impacto a nivel general. Cabe resaltar que el concreto es un material que en el momento de uso para una construcción necesita poca energía para su calefacción respecto a otros materiales, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

Asimismo, es posible valorar los beneficios económicos por el uso del agregado reciclado, pues esta variable es determinante al momento de proceder en el desarrollo de un proyecto. Implementar este tipo de sistema genera factores de facilidad, pues para realizar un proyecto ingenieril, es necesario contar con la disponibilidad de material y el grado de complejidad para su obtención, lo que aseguraría el agregado reciclado, de igual manera existiría un mayor grado de confiabilidad en la calidad, cantidad y oferta del material, como también un bajo costo debido a los impuestos y tasas de cobro por materiales provenientes de una cantera natural o en otras palabras, **“El concreto reciclado funciona como una utilidad a favor de una empresa y/o proyecto”**, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

Estudio de caso: Edens Expressway en Chicago

Para ilustrar la aplicación de la economía circular en el reciclaje del concreto como RCD y los temas presentados a lo largo del ensayo, se analiza a continuación un estudio que permite comparar el resultado de reciclar cerca de 300.000 toneladas de RCD (principalmente concreto). *“Se encontró que se podían lograr importantes reducciones en el consumo de energía. El reciclaje también se consideró como la mejor alternativa para el cumplimiento del cronograma de trabajo”*, (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible , 2009).

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos por el estudio realizado en el proyecto Edens Expressway, en donde se comparan los valores de disminución de material de demolición arrojado a vertimientos, la disminución de energía y transporte, utilizando material reciclados y no reciclados.

Tabla 4. Ahorro de energía en la construcción de una vía con reciclaje de RCD

Ahorro de energía en la construcción de una vía con reciclaje de RCD			
SIN RECICLAJE		CON RECICLAJE	
350,000 t de RCD a vertederos	350,000 t de material primario	52,500 t a vertederos	52,500 t de material primario 297,500 t de material secundario
7,900 viajes al vertedero + 7,900 viajes de regreso al sitio	7,900 viajes a la cantera + 7,900 viajes de regreso al sitio	1,200 viajes al vertedero + 1,250 viajes de regreso al sitio	1,200 viajes a la cantera + 1,200 viajes de regreso al sitio
TRANSPORTE		TRANSPORTE	
1.64x10 ¹¹ MJ	1.97x10 ¹¹ MJ	0.249x10 ¹¹ MJ	0.805x10 ¹¹ MJ
CONSUMO ENERGÍA PARA DEMOLICIÓN		CONSUMO ENERGÍA PARA DEMOLICIÓN Y TRATAMIENTO	
0.0132x10 ¹¹ MJ		(0.0132 + 0.0008)x10 ¹¹ MJ	
CONSUMO DE ENERGÍA SIN RECICLAJE:		CONSUMO DE ENERGÍA CON RECICLAJE:	
3.61x10 ¹¹ MJ (100%)		0.818x10 ¹¹ MJ (22,6%)	
Fuente: Pavement 154, 1989, Recycling of Portland Cement Concrete			
Supuestos:			
• Tasa de recuperación: 85% • Carga de camión: 44 toneladas • Consumo de energía para transporte de material: 1.22 MJ por tonelada por km • Consumo de energía para el tratamiento de RCD: 285 MJ por tonelada • Consumo energético para demolición: 92 MJ por tonelada			

Nota. (MJ) es una unidad conocida como “Métrico” o unidad de energía, la cual puede ser convertida a Joule(J)

siendo 1 MJ = 1.000.000 J. El Joule se define como el trabajo realizado por la fuerza de 1 Newton en un desplazamiento de un metro. Concreto y Cemento. (2010). Investigación y desarrollo. [Figura]. Recuperado de http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf

Obstáculos en el reciclaje del concreto

Los obstáculos para realizar la actividad de reciclaje de concreto dependen de cada País en específico, ya que se ve afectado optar por este sistema por las diferentes barreras internas y externas según fue explícito anteriormente, (Prieto, Jaca, & Ormazabal, 2017). Sin embargo, no sólo depende de ello, pues el proceso del mismo trae algunas problemáticas que implicarían la falta de interés y desconocimiento por el público en general, por ello se muestra a continuación la Tabla 5, en donde se observan algunos casos en específico y el obstáculo correspondiente:

Tabla 5. Obstáculos en el reciclaje del concreto

Tema	Obstáculo
Disponibilidad del material	La disponibilidad del material depende directamente de la demanda de las demoliciones realizadas en el país correspondiente (Colombia). Resolución 0472 – 2017

Infraestructura	Para llevar a cabo el proceso, es necesario adecuar una infraestructura que permita obtener material granular de alta calidad y de manera rápida, ya sea vía in – situ (Recomendable) o en un espacio especializado.
Procesamiento	Es necesario implantar planes de gestión integral de manejo de residuos sólidos de construcción y demolición(RCD) con su respectiva clasificación.
	Algunos concretos reciclados especiales requieren de procesos costosos.
Costo del material	Dependiendo del País, el costo de los agregados reciclados es más costoso que el de los agregados vírgenes.
Normativas y regulaciones	Para utilizar el agregado reciclado en cualquier obra civil, es necesario conocer sobre los permisos y regulaciones correspondientes en Colombia según el porcentaje de agregado (20%) que se puede implementar. El agregado reciclado debe cumplir con las normativas correspondientes antes de su uso. Agregados para concreto (NTC - 174) y normativas correspondientes. Agregados para proyectos viales (INVIAS)
Impactos ambientales	El sistema que propone reciclar el concreto y procesarlo hasta convertirlo en agregado debe tener en cuenta que se generaran poluciones que generen emisiones atmosféricas y contaminación auditiva, como también el gasto de energía si no se solventa con energía sostenible.

Nota. Recuperado de “Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible ‘Reciclando concreto’”, 2009.

Normativa en Colombia para agregados de calidad

Como cualquier actividad que relaciona a la ingeniería civil con algún desarrollo para la sociedad, es necesario tener en cuenta una serie de normativas que especifican los valores límites para poder llevar a cabo un proyecto, ya sea de tipo vial, hidráulico, de infraestructura, entre otros. En el caso de agregado reciclado y según se ha tratado en este ensayo, es necesario consultar las normativas referentes a “Las especificaciones de los agregados para el concreto” (NTC – 174 y sus normativas correspondientes) y “Sección 200 para agregados pétreos” (INVIAS), en donde *“Se establecen los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, (excepto los agregados livianos y pesados) para uso en concreto”*, (NORMA TECNICA COLOMBIANA , 2000) y *“Esta norma se refiere al muestreo de agregados gruesos y finos con los siguientes propósitos: (1)Investigación preliminar de las fuentes de suministro de materiales; (2)inspección de los materiales en la fuente; (3)control de operación de los materiales en el sitio de la obra, y (4) aceptación o rechazo de los materiales”*, (INVIAS, 2012) respectivamente.

Es necesario tener en cuenta las propiedades de los agregados reciclados, ya que varían en aspectos contundentes como la granulometría, según, (Gerd , 2012), *“La granulometría del agregado reciclado está relacionada directamente con el proceso de triturado, seleccionado y el tamizado, realizado en el proceso de reciclaje, así mismo, depende tanto de la dureza como de la composición del material procesado”*, al respecto, es importante señalar que es indispensable realizar una buena práctica para el desarrollo de procedimientos, pues estos son indispensables a la hora de clasificar el material, teniendo en cuenta que las diferentes mezclas de concreto deben realizarse con el tamaño de agregado adecuado. (Sanchez, 2019), en relación con lo anterior dice *“Por lo general los agregados reciclados triturados presentan una buena gradación, comprendida entre un 70% y 90% correspondiente a la fracción gruesa (European Demolition Association)”*.

En cuanto a la forma y textura (Lopez , 2008), expresa que la textura de los agregados reciclados es rugosa, porosa en comparación con los agregados naturales, debido a la forma de su obtención y a la presencia de mortero adherido en la superficie del agregado origen, lo que contribuye a que los concretos que se elaboran con estos agregados afecten las propiedades del concreto fresco, generando incrementos en cantidad de agua necesaria para obtener una buena manejabilidad. (Gerd , 2012) al respecto, dice que la forma y textura de los agregados reciclados dependen del tipo de trituración utilizado para su fabricación y de su propia naturaleza. La densidad y absorción de los agregados reciclados provenientes de demoliciones de concreto y mampostería son parámetros importantes para clasificar la calidad del material en la fórmula adecuada de la relación agua/cemento.

En cuando a la resistencia a la abrasión (Gonzales & Martinez , 2002) dice que agregados reciclados presentan un valor mayor de coeficiente de resistencia a la abrasión (desgaste de los

ángeles) en contraste con el agregado natural, por la naturaleza porosa del material, la existencia de grietas y la menor resistencia del mortero adherido.

De igual manera, es necesario tener en cuenta el contenido de contaminantes e impurezas pertenecientes a las muestras resultantes de la trituración de concreto, por lo que resulta conveniente utilizar la trituradora que incorpora las cuchillas de aire e imanes con el fin de retirar materiales contaminantes como plásticos, madera, yesos, ladrillos, vidrios, aluminios, entre otros. Además, se debe analizar la dosificación del concreto en donde se utilizan los mismos métodos para la dosificación de concretos elaborados con agregados naturales y se deberá tener un control sobre la densidad, humedad, absorción de los agregados reciclados, como fue explícito anteriormente para asegurar la calidad del mismo, (Cruz & Gomez , 2013).

Para tener certeza de la calidad del agregado reciclado es importante requerir, si existen, los resultados que establecen el cumplimiento de las especificaciones y pruebas del concreto que paso por el proceso de demolición, (Cruz & Gomez , 2013), por lo cual es necesario consultar al menos la (NTC 396, NTC 550, NTC 673).

Procedimiento técnico para análisis de agregado reciclado

Para comprobar e identificar que el agregado reciclado es un material capaz de cumplir con la necesidad de reemplazo de materias primas, se tomó un resultado obtenido en la UNIVERISIDAD MILITAR NUEVA GRANADA por una prueba de laboratorio realizada en la materia de Tecnología del Concreto (2019-2), programa Ingeniería Civil, a cargo del Ing. Leonardo Fonseca y los estudiantes Juan Manuel Moya, Gina Jiménez, Daniel Chávez, Lorena Muñoz, Ana Rengifo, Camila Romero, Darío Salguero, Alejandra Samacá, Karla Soler, Andrés Vargas, en donde se requería obtener una probeta de concreto que resistiera a la compresión de 21 Mpa – 210 kg/cm²,

con agregado reciclado. A continuación, serán presentados los procedimientos realizados y resultados obtenidos del ensayo de laboratorio que evidencia la resistencia del concreto:

Laboratorio y ensayo

- Procedimiento:

Para iniciar el diseño de mezcla y teniendo en cuenta la resistencia que se desea obtener y las características de los materiales a usar, se deberán reunir y pesar los mismos por separado ya sea agregado fino, agregado grueso, cemento y agua, para después mezclarlos. Cabe resaltar que resulta importante realizar un ensayo de asentamiento el cual se especifica en la NTC 936.

Según la NTC 550 “Caracterización del concreto fresco: Temperatura, asentamiento, contenido de aire y masa unitaria” se procedió con lo siguiente, luego de tener la mezcla lista:

- Se aplica en las paredes de los moldes aceite mineral.
- El llenado de concreto en los camiones se debe realizar en 3 capas iguales con una profundidad de 100 mm o en dos capas iguales dependiendo el molde, empleando un método de compactación como apisonamiento o vibración.
- Es necesario tener en cuenta llenar el molde evitando disminuir la segregación.
- Se apisona cada capa usando 25 golpes por toda la superficie.
- Se golpea el borde del molde 15 veces para sacar las burbujas de aire atrapadas.
- Se adiciona el concreto necesario para llenar el molde.
- Se marcan los cilindros.
- Se debe de cuidar la muestra de la intemperie como del viento o la humedad.
- El curado se debe realiza a una temperatura de 16°C a 20°C.

- Después de 24 horas se desmoldan las muestras.
- Se almacenan en un tanque de curado de agua libre a una temperatura de 23°C.

Después de este proceso, según la NTC 673 “Caracterización del concreto endurecido: Resistencia a la compresión 7 días”, se conduce al siguiente proceso:

- Los cilindros del recipiente con agua se sacan y se coloca en la mesa de trabajo
- Se prosigue con la toma de datos; midiendo por medio de un metro, 3 lecturas de altura y 3 lecturas de radio.
- Como apoyo de nivelación en la cabina de falla, se coloca neopreno.
- Se verifica que la probeta se encuentre en el eje axial de la carga.
- Los datos obtenidos son tomados.

El anterior procedimiento se realizó con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días.

Resultados y cálculos

Granulometría del material

- Agregado grueso reciclado:

Se tomó una muestra de suelo de agregado reciclado, la cual se hizo pasar por una serie de mallas o tamices, con su respectiva abertura, se tomaron los pesos correspondientes para luego calcular el %retenido, el cual se formula como $\left(\frac{\text{Peso retenido del tamiz}}{\Sigma \text{ peso retenido}} \right) * 100\%$, después de esto, se calculó el %retenido acumulado, para al final obtener el %pasa, quien se mide como $(100\% - \text{Retenido acumulado})$. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Calculo para realizar la curva granulométrica de agregado grueso

CURVA GRANULOMETRICA DE LA GRAVA						
	Tamiz	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
GRAVA	1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
	1"	25	24.4	1.22	1.22	98.78
	3/4"	19	713.3	35.68	36.90	63.10
	1/2"	12.5	911.6	45.60	82.49	17.51
	3/8"	9.5	242.2	12.11	94.61	5.39
	No 4	4.75	101.3	5.07	99.67	0.33
	Fondo	0	6.5	0.33	100.00	0.00

Recuperado de Laboratorio de Tecnología y concreto, semestre 9, Programa Ingeniería Civil, UMNG

Los valores presentados en la Tabla 7, difieren directamente de la granulometría de la muestra, teniendo en cuenta su peso total como se evidencia en la sumatoria de los pesos retenidos (1999.3 g), su tamaño máximo quien se denomina de acuerdo al tamiz en el que empieza la granulometría (1 1/2") y su tamaño máximo nominal designado por un peso retenido mayor al 0% (1"). A demás es importante tener en cuenta las especificaciones tal como el módulo de finura del material granular.

Tabla 7. Calculo de especificaciones para desarrollo de la mezcla

Total	1999.3
Módulo de	3.9
Tamaño máximo nominal	1"
Tamaño máximo	1 1/2"

Recuperado de Laboratorio de Tecnología y concreto, semestre 9, Programa Ingeniería Civil, UMNG

Curva granulométrica de la grava

Para realizar la curva granulométrica es importante utilizar papel semi- logarítmico en donde se ubica la abertura del tamiz en el eje de las ordenadas x y el %pasa en el eje de las ordenadas y. En la figura 10 se observa la curva correspondiente a la granulometría desarrollada en la tabla 6.

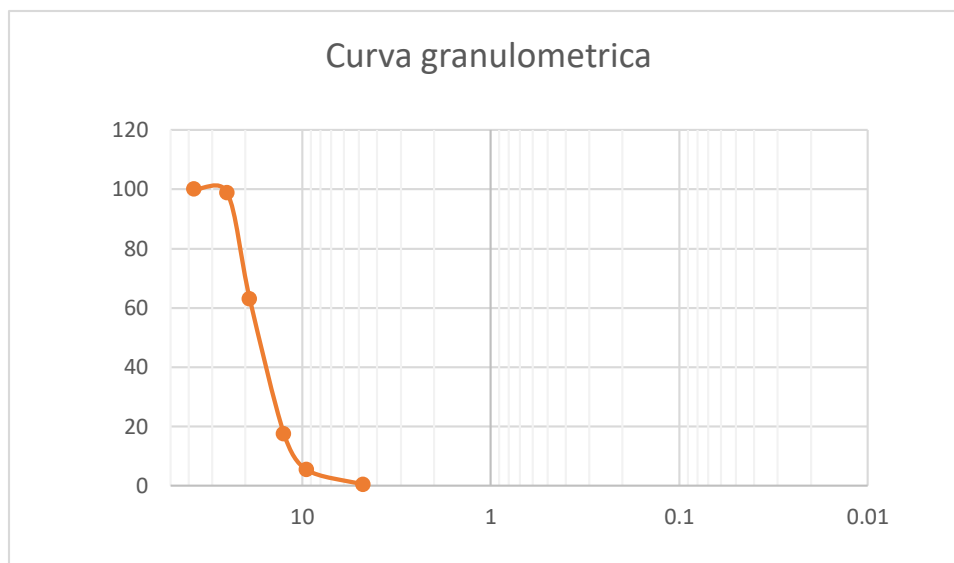


Figura 10. Recuperado de Laboratorio de Tecnología y concreto, semestre 9, Programa Ingeniería Civil, UMNG

Resultados de resistencia a la compresión

Para obtener los resultados de resistencia a la compresión, se tomaron los datos obtenidos por la máquina de prueba a la compresión hidráulica. Ver Tabla 8.

Tabla 8. Calculo de especificaciones para desarrollo de la mezcla

CURVA RESISTENCIA A COMPRESION		
Tiempo (días)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)
7	18	22.4
	23.92	
	25.38	
14	30.85	30.2
	27.88	
	31.98	
28	21.28	21.0
	22.71	
	21.2	

Evidencias del procedimiento

En la Tabla 9, se presentan las evidencias de las diferentes probetas elaboradas en el laboratorio, y los resultados correspondientes a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 9. Evidencias a los 7,14 y 28 días

7 días	14 días	28 días
 <i>Figura 11 - 12. Recuperado de Laboratorio de Tecnología y concreto, semestre 9, Programa Ingeniería Civil, UMNG</i>	 <i>Figura 13 - 14. Recuperado de Laboratorio de Tecnología y concreto, semestre 9, Programa Ingeniería Civil, UMNG</i>	 <i>Figura 15. Recuperado de Laboratorio de Tecnología y concreto, semestre 9, Programa Ingeniería Civil, UMNG</i>

Los resultados obtenidos en el laboratorio cumplen con los requisitos propuestos inicialmente, lo que señala que utilizar agregado reciclado en la mezcla de concreto, permite un buen comportamiento y desempeño del concreto convencional. Al realizar el ensayo a los 28 días se puede observar que el comportamiento de la falla es más pronunciado y su resistencia es menor, lo cual puede surgir por fenómenos asociados al cabeceo, quienes dependen de posibles irregularidades en la superficie de diseño de los cilindros, como también puede atribuir el material granular al momento de la fabricación del concreto y el uso de este, ya que por ejemplo, si se encuentra a intemperies saturadas se verá afectado, además es importante realizar un buen

seguimiento a la actividad de demolición para que estas se realicen de manera cuidadosa y no interfieran en la calidad del agregado reciclado.

CONCLUSIONES

- La economía circular es la nueva alternativa capaz de cumplir con las necesidades humanas al mismo tiempo que disminuye los impactos ambientales. Actualmente este tipo de sistemas sostenibles está tomando fuerza, lo que pondrá a las técnicas lineales como obsoletas, esto asegura que la industria de obtención de materias primas naturales se reducirá en unos años en gran cantidad, brindando nuevas oportunidades de trabajo a los ingenieros civiles y la posibilidad de emprender nuevos proyectos.
- El concreto reciclado es un material completamente aprovechable, quien además de servir como materia prima para la generación de nuevos concretos, permite la reducción de costos, reducción de material, reducción de impactos ambientales, brindando buenas características de resistencia y capacidad de soporte.
- Implementar el sistema de economía circular y generar un desarrollo más sostenible al proceso de obras civiles, es posible, si se emplean diseños que cumplan con los parámetros y normativas de calidad, planificando el proceso de manera regular.
- El curso misión académica internacional en el marco de las relaciones Colombia – Perú, permite a los cursantes tener conocimiento sobre temáticas desconocidas que brindan alternativas y posibilidades para emprender un nuevo negocio, ya sea relacionado a la ingeniería civil o alguna otra rama de estudio. A demás, de acuerdo a la temática de relaciones colombo-peruanas se crea la capacidad de transformar el espacio para fomentar cooperación entre ambos países y así ampliar el nuevo negocio en los mismos.

REFERENCIAS

- Aimix Group. (2020). *Trituradora de concreto*. Obtenido de <http://https://aimixtrituradora.com/>
- Castaño, J., Rodriguez, R. M., Lasso, L. A., Gómez, A., & Ocampo, M. (Abril de 2013). *Gestion de residuos de construcción y demolicion en Bogota: Perpectivas y limitantes* . Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/6933-Texto%20del%20art%C3%ADculo-31552-1-10-20140705.pdf
- Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible . (2009). *Reciclando concreto* . Obtenido de http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf
- Cruz , M. A., & Gomez , O. A. (2013). *Influencia del Agregado Grueso Reciclado de Mampostería en el comportamiento del concreto reciclado*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12676/CruzVelozaMonicaAsleidy2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, O., Vitervo, A., Hernández, B., A., R., & Gutiérrez, L. (2010). *Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3612/361233546004.pdf>
- Directorio de bienes raíces . (2020). *Nos mudamos*. Obtenido de <https://www.nosmudamos.net/>
- GeoStru. (2020). *Software de calculo de muros de contención* . Obtenido de <https://www.geostru.eu/>

- Gerd , A. (2012). *Guia Española de aridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD)*. Obtenido de <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/documentostecnicos/guia>
- Gonzales , B., & Martinez , F. (2002). *Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=42002>
- Gutierrez de Lopez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción* . Obtenido de Universidad Nacional de Colombia Manizales: http://bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf
- HOMES, S. (2015).
- igNEO. (2018). Obtenido de <http://igneocolombia.com/>
- INVIAS. (2012). *Sección 200 , Agregados pretreos* . Obtenido de [file:///C:/Users/user/Downloads/SECCI%C3%93N%20200%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/SECCI%C3%93N%20200%20(1).pdf)
- Jimenez, K. (2017). *La implementación: Economía circular, procesos comerciales, marketing*. Obtenido de <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/956/1/Economia%20circular252c%20procesos%20comerciales%20y%20marketing.pdf>
- Lopez , F. (2008). *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*. Obtenido de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/11104;jsessionid=95E0466CA89B2336B44CAF8A005E430A#page=1>

Meka. (2020). *Trituradora de concreto de cono*. Obtenido de

<http://https://https://www.mekaglobal.com/>

Minvivienda. (2018). *Planes de gestion integral de residuos solidos - PGIRS*. Obtenido de

<http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/gestioninstitucional/gesti%C3%B3n-de-residuos-solidos/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos>

NORMA TECNICA COLOMBIANA . (2000). *Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto*. Obtenido de

<http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%20174%20de%202000.pdf>

PGIRS, E. t. (2016-2027). *Plan de gestion integral de residuos solidos* . Obtenido de

http://uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/direccion/PGIRS_FINAL_18-12-2015.pdf

Precise forms, Inc. (2020). *Caracteristicas decorativas de hormigon*. Obtenido de

<http://preciseforms.com/>

Prieto, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (Agosto de 2017). *Economia circular: Relación con la evaluación del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*.

Obtenido de https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/53653/1/Economia_Circular.pdf

Sanchez, Z. (2019). *Utilizacion de árido reciclado para la fabricacion de piezas de hormigon prefabricado de mobiliario urbano*. Obtenido de

<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/55703/81240.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Santana, K. J. (2017). *Economía circular, procesos comerciales y marketing* . Obtenido de <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/956/1/Economia%20circular252c%20procesos%20comerciales%20y%20marketing.pdf>