

4

**ESTUDIO DEL POLVO DE VIDRIO OBTENIDO
DE LA MOLIENDA DE BOTELLAS
RECICLADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA
ELENA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL
CEMENTO EN EL HORMIGÓN.**

*Juan Garcés Vargas, Vanessa Flores De la Rosa, Freddy
Huamán Marcillo.*

*Recibido: septiembre de 2016
Aprobado: noviembre de 2016*

ESTUDIO DEL POLVO DE VIDRIO OBTENIDO DE LA MOLIENDA DE BOTELLAS RECICLADAS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN EL HORMIGÓN.

STUDY OF GLASS DUST OBTAINED FROM THE GRINDING OF RECYCLED BOTTLES IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA, AS A PARTIAL SUBSTITUTE FOR CEMENT IN CONCRETE

Juan Garcés Vargas¹, Vanessa Flores De la Rosa², Freddy Huamán Marcillo³

⁽¹⁾⁽³⁾ Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)
Campus La Libertad, vía principal Santa Elena – La Libertad
La Libertad-Ecuador
jgarces@upse.edu.ec

Resumen

El estudio consiste en el proceso de reutilización del desecho de las botellas de vidrio y triturarlas hasta lograr una finura tal que permita ser sustituto parcial del cemento en el hormigón, pues el vidrio al estar finamente molido al tamaño de micras actúa como puzolana de alta reactividad. El cemento es el componente principal para la producción del hormigón, también es el que mayor impacto ecológico produce al medio ambiente, esto es por la producción del Clinker que requiere de un alto consumo de energía, térmica y eléctrica, por tal razón existen estudios para disminuir tal consumo, como la sustitución de combustible de origen fósil por residuos de alto poder calorífico, también disminuir o sustituir el cemento en las construcciones sin afectar la calidad, mejorando sus propiedades mecánicas. Esta se da usando materiales tales como la ceniza volante, escorias de alto horno o humo de sílice, empleo de materiales reciclados, entre otros. La utilización de material reciclado en el hormigón supone un doble beneficio, por un lado se disminuyen los desechos y por otro, mejoran las propiedades mecánicas del hormigón, dicho esto, se demuestra en este trabajo que el vidrio es un material que debido a sus propiedades físicas y químicas es un candidato ideal para el reciclaje, en un alto porcentaje.

Palabras clave: vidrio, reciclaje, cemento, hormigón.

Abstract

The present study consists in reusing glass bottle wastes by crushing and grounding them into a fineness that allows the partial substitute of cement in the concrete. This is because when glass has been finely grounded to a micron size, it acts as a high reactivity pozzolana. Cement is the main component for producing concrete; it is also the one that causes the highest impact to the environment because the clinker production requires high energy consumption. There are studies to diminish the energy consumption, such as the substitution of fossil fuel for high calorific power residues, or by diminishing or substituting cement in construction without affecting its quality, and improving its mechanical properties. That is obtained by using materials such as flying ashes, blast furnace slags or silica fume, and the use of recycled materials, among others. The use of recycled material in concrete supposes a double benefit: on the one hand wastes are diminished and, on the other hand, the mechanical properties of concrete can be improved. That said, glass is a material that due to its physical and chemical properties, is an ideal candidate for recycling it in high percentage.

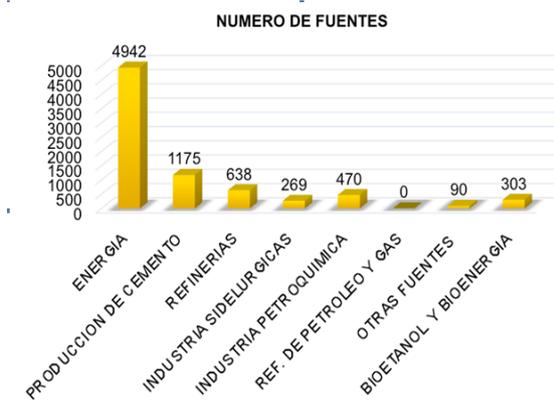
Keywords: glass, recycling, cement, concrete.

Recibido: septiembre de 2016
Aprobado: noviembre de 2016

1. Introducción

El presente estudio está enfocado a la reutilización de botellas de vidrio recicladas como elemento en la fabricación del hormigón, sin alterar sus propiedades mecánicas como es la resistencia a la compresión.

El proyecto es un estudio sobre la influencia que tiene en la resistencia a la compresión la adición de molinada de vidrio reciclado en mezclas de hormigón, para de esta manera disminuir el uso de cemento en la mezcla, disminuyendo las emisiones de CO² causada por la industria cementera y a la vez que contribuye a reducir considerablemente la reacción álcali sílice generada por los agregados reactivos de uso común.



Fuente: Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

Figura 1. Número de fuentes que generan CO²

El proyecto no tiene ninguna restricción, es decir puede ser utilizado en cualquier lugar, en la fabricación de hormigón, bloques y enlucido de mampostería, en estabilización de suelos, en carpeta de carreteras. El estudio da cabida a nuevas y mejores técnicas de construcción amigables con el medio ambiente, con materiales sostenibles que reducen el impacto en el medio sin comprometer la calidad, estableciendo procesos adecuados en las obras de construcción determinadas.

2. Problemática

Con este estudio se pretende aprovechar el 100 % de los desechos de botellas de vidrio que son tirados en los botaderos de cielo abierto en la provincia de Santa Elena, para reutilizarlos en forma de polvo de vidrio como sustituto parcial del cemento en la conformación del hormigón.

Además, la obtención de áridos y materias primas necesarias para la obtención del cemento, puede implicar la destrucción de ciertos hábitats así como causar contaminación en el aire y agua de la zona. La fabricación de cemento, y más específicamente la producción de Clinker, es una actividad que requiere

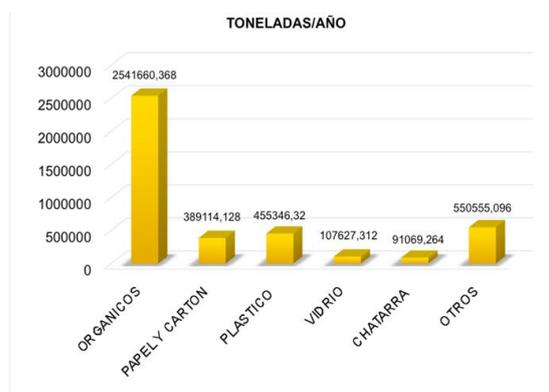
un consumo intensivo de energía, tanto en forma de energía térmica como en forma de electricidad.

	Mundo	Latino América
consumo de energía térmica por producción de Clinker		
MJ/Tonelada de Clinker	3.561	3.623
consumo de energía eléctrica por producción de cemento		
Kwh/Tonelada de cemento	107	107

Fuente: FICEM

Tabla 1. Número de consumo de energía térmica y eléctrica

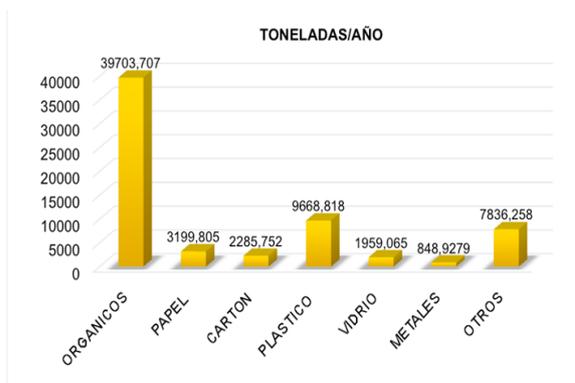
En el Ecuador se generan alrededor de 11341 toneladas diarias de residuos, es decir, un aproximado de 4'139.512 t/año, de los cuales 61,4% son orgánicos, 9,4% papel y cartón, 11% plástico, 2,6% vidrio, 2,2% chatarra y otros 13,3%.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Figura 2. Toneladas de residuos al año en Ecuador

De esto se detalla que, en la provincia de Santa Elena se generan 178.91 t/día, un aproximado de 65302.15 t/anales de donde 60.8% son desechos orgánicos, 4.9% papel, 3.5% cartón, 14.50% plástico, 3% vidrio, 1.6% metales, 12% otros.



Fuente: Ministerio del Ambiente

Figura 3. Toneladas de residuos al año en Santa Elena

Según un último informe del Min. de Ambiente, sólo 45 (20%) municipios cuentan con rellenos sanitarios y los 179 (80%) restantes disponen de botaderos, de esto en la provincia de Santa Elena existen 4 botaderos a cielo abierto; los cuales se encuentran 2 en Santa Elena, 1 en La Libertad, 1 en Salinas.

De la cantidad de residuo aproximado que se produce en la provincia de Santa Elena, 1959.07 t/año le corresponden al desecho de vidrio, este desecho va a parar en su totalidad a los botaderos de basura.

3. Objetivo General

Reutilizar los desechos de botellas de vidrio y triturarlas hasta una finura tal que el polvo de vidrio reciclado sirva como sustituto parcial del cemento en la fabricación del hormigón sin afectar sus propiedades mecánicas, evitando de esta manera que la contaminación ambiental aumente por la fabricación de cemento, al mismo tiempo que se reducen los desechos de vidrio enviados a los botaderos.

4. Objetivos Específicos

- Disminuir el uso de cemento en el hormigón.
- Sistematizar el proceso de reciclaje de botellas de vidrio en la provincia de Santa Elena.
- Optimizar en el hormigón el uso de desechos de botellas de vidrio para aprovechar su utilidad.
- Exteriorizar a la población sobre los beneficios que origina el uso de polvo de vidrio reciclado en la fabricación de hormigón.

5. Metodología y herramientas

Para alcanzar los objetivos expuestos, se ha establecido el siguiente proceso metodológico:

Para la obtención del polvo de vidrio, primero se procederá a la recolección, reciclaje, y clasificación general de las botellas la cual está dividida en tres grupos, según su color: verde, ámbar o café y transparente o blind, para luego ser limpiadas de todo aquello que haya podido ser introducido, esto se hará con detergente y agua caliente, también se le quitará las etiquetas, tapas, plástico, que estos pudieran tener.



Figura 4. Botellas de colores

A continuación, la botella entera de vidrio será colocada en un molino de martillos, estas botellas deberán tener el mismo color para poder determinar la influencia que tiene el color en la resistencia del

hormigón; del molino de martillos se obtendrá un tamaño de partícula menor o igual a 2mm. El material triturado es colocado en un molino de bolas hasta que este se haga polvo, posteriormente este material será pasado por la malla N 100 y N 200, que al final será la finura de polvo de vidrio que se va a emplear en la mezcla con el hormigón. Para hacer el triturado, molido de vidrio, y los ensayos de laboratorio es necesario utilizar equipo de protección personal como: guantes de napa, gafas de seguridad, protectores auditivos, mascarilla con filtro al carbono.

Obtenido el diseño de la mezcla, el siguiente paso será la adición del polvo de vidrio a la mezcla en varios porcentajes con respecto a la masa total del cemento, para determinar la influencia que tiene la resistencia con respecto a la cantidad de polvo de vidrio que se le agregue.

Se elaborará prototipos de mezcla de concreto y se considerará como variable la cantidad de adición de polvo de vidrio de porcentaje en peso de cemento a la mezcla, la finura y el color.

Para realizar los especímenes se usará moldes para cilindros que cumplan con los requisitos de la norma ASTM C-470, se harán 6 cilindros por cada mezcla más 2 testigos, para la rotura a las 24 horas, 3, 7, 14, 21, 28 días. El llenado de los moldes se debe efectuar en tres capas, cada una apisonada por 25 golpes, se seguirá la norma INEN 1576. Para determinar la resistencia a la compresión se seguirá la norma INEN 1573.

Todas las muestras cilíndricas permanecerán sumergidas en un tanque con agua hasta que cumplan con la edad de ensayo de compresión.

Al finalizar se hará una comparación de los resultados de los diferentes ensayos realizados, para determinar cuál es el diseño de mezcla óptimo.

Se hará el diseño de la mezcla siguiendo la norma del ACI 211 con una resistencia de 280 kg/cm², para esto se procederá a la realización de probetas de hormigón para ser ensayadas en laboratorio y obtener las propiedades físicas de los agregados tales como: densidad aparente, finura, peso volumétrico suelto, peso volumétrico varillado, absorción, y granulometría. Se utilizará cemento: portland tipo GU, agregado fino: arena gruesa, agregado grueso: grava de tamaño máximo nominal 19 mm (¾) y agua potable.

6. Soluciones propuestas

Con este estudio se pretende fomentar el reciclaje de los desechos de las botellas de vidrio en la provincia de Santa Elena, para la fabricación del hormigón, sin

afectar su resistencia y disminuir de esta manera el uso de grandes cantidades de cemento en la construcción, minimizando costos y a la vez ayudando al medio ambiente con la disminución de las emisiones de CO² que su fabricación produce.

7. Viabilidad

El crecimiento en el consumo de cemento está directamente relacionado con el aumento de la población; de eso se detalla que la producción de cemento anual en América Latina y el Caribe para el año 2012 fue de 179.796 millones de toneladas, de donde Ecuador produce 6'025.000 millones de toneladas de cemento.



Fuente: Instituto Ecuatoriano de la construcción

Figura 5. Consumo per cápita Kg/Hab.

El sector de la construcción representa uno de los más dinámicos e importantes en la economía por su notable crecimiento y por el valor agregado que este sector genera, desde el punto de vista de los insumos intermedios que demanda. Cada tonelada de cemento producida por el sistema convencional produce una tonelada de CO²; esto quiere decir que por cada saco de cemento de 50kg producido, se producen 50 kg de CO² que afecta al medio ambiente.

La producción per cápita de CO² en Ecuador es de 2.2 toneladas métricas/hab. año, un total de 34'759447.8 toneladas métricas de CO² anuales, de donde la industria del cemento le corresponde el 5% (1'737972.39) toneladas métricas de CO².

De tal manera que con el uso de residuos de vidrio se podrá disminuir la cantidad de sacos de cemento en la fabricación de hormigón al igual que el CO² producido por esta industria.

Al reutilizar el vidrio se reducirá aproximadamente un 20% el uso del cemento, esto se deduce porque al hacer comparaciones de las propiedades químicas de la puzolana y el vidrio se determinó que hay similitud, y al colocar esta propiedad química del vidrio frente a los requerimientos de la norma ASTM C618 se determina que el desecho de vidrio usado para fabricar hormigón es una opción viable.

Tabla 2. Composición química
Composición química de los materiales que se usan actualmente como puzolana en adición en el hormigón

MATERIAL	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%
HUMO DE SILICE	96	0.3	0.2	0.03
ESCORIA DE ALTO HORNO	32-71	15.75	1.38	42.11
CENIZAS VOLANTES	49.1	26.18	14.63	5.48
PUZOLANA NATURAL	71.22	15.77	1.59	1.21
POLVO DE VIDRIO	72.2	1.54	0.48	11.42

Fuente: scielo.org

De esto se concluye que el polvo de vidrio tiene su composición química similar al de las puzolanas.

Tabla 3. Porcentaje de adición de puzolana
Porcentaje de adición de puzolana al cemento portland de uso normal

CEMENTO COMPUESTO BINARIO	
CEMENTO PORTLAND	HUMO DE SILICE
90%	10%
CEMENTO PORTLAND	ESCORIA DE ALTO HORNO
80%	20%
CEMENTO PORTLAND	CENIZAS VOLANTES
70%-90%	10%-30%
CEMENTO PORTLAND	PUZOLANA
85%	15%

Fuente: Norma Inen 490 y materconstrucc.revistas.csic

Tomando en cuenta dichos valores se detalla que el uso de polvo de vidrio en el hormigón es viable.

Tabla 4. Disminución de sacos de cemento
Disminución de sacos de cemento y co₂ por m³ de hormigón producido

FABRICACION DE 1 M ³ DE HORMIGON DE 280 KG/CM ²	
SACOS DE CEMENTO A UTILIZAR	TONELADAS DE CO ₂ PRODUCIDO
9	0.45
FABRICACION DE 1 M ³ DE HORMIGON DE 280 KG/CM ² CON ADICION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO	
SACOS DE CEMENTO A UTILIZAR	TONELADAS DE CO ₂ PRODUCIDO
7.2	0.36
DISMINUCION DE EMISIONES DE CO ₂ Y AHORRO DE CEMENTO POR CADA M ³ DE HORMIGON PRODUCIDO	
AHORRO SACOS DE CEMENTO	DISMINUCION DE TONELADAS DE CO ₂
1.8	0.09

Fuente: autores

Haciendo los ensayos de resistencia a la compresión reemplazando polvo de vidrio pasante por la malla de 100 y 200 por cemento en porcentajes de 5, 10 y 20% se obtienen los siguientes resultados a los 120 días

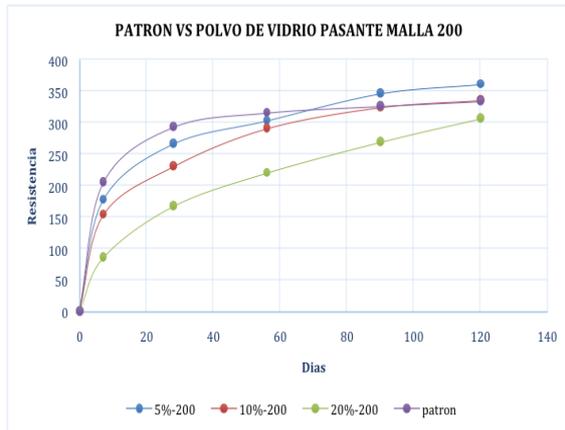


Figura 6. Patrón Vs Polvo de Vidrio malla 200

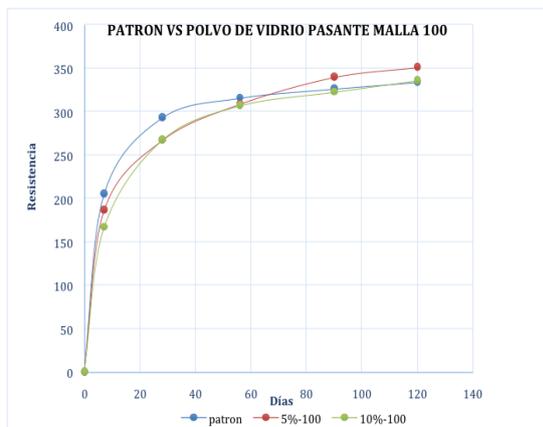


Figura 7. Patrón Vs Polvo de Vidrio malla 100

Al reutilizar el vidrio se reducirá aproximadamente un 10% el uso del cemento al igual que se contribuirá a disminuir las emisiones de CO₂ y los desechos de vidrio enviados a los botaderos a cielo abierto, y los costos asociados al uso de cemento.

Tabla 5. Datos de hormigón

HORMIGÓN DE 280 KG/CM ²		
SACOS DE CEMENTO A UTILIZAR	VALOR	TOTAL
9	\$ 7.50	\$ 67.50
HORMIGÓN DE 280 KG/CM ² CON ADICIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO		
SACOS DE CEMENTO A UTILIZAR	VALOR	TOTAL
7.2	\$ 7.50	\$ 54.00
AHORRO POR CADA M ³ DE HORMIGÓN PRODUCIDO		
AHORRO SACOS DE CEMENTO	VALOR	TOTAL AHORRADO
1.8	\$ 7.50	\$ 13.50

Fuente: Creado por los autores

Para producir un m³ de hormigón de 280 kg/cm² se necesitarían 7.2 sacos de cemento y 470 botellas de vidrio de 215 gr., aproximadamente.

8. Conclusiones

- El uso de polvo de vidrio, como agregado en el hormigón contribuiría a disminuir en un 10% aproximadamente el uso de cemento y por ende a reducir las toneladas de CO₂ producidas en la fabricación de cemento.

- Al utilizar desechos de vidrio en la elaboración de hormigón se puede mejorar las propiedades mecánicas, al mismo tiempo que se contribuye de manera sostenible con el ambiente y la sociedad.
- Cada materia prima extraída del ambiente es un desecho potencial, el cual lo será al cabo de poco tiempo. Solamente una pequeña fracción es incorporada en bienes durables y mucho menos es reciclada.
- Con este estudio se pretende aprovechar el 100 % de los desechos de botellas de vidrio enviados a los botaderos.

9. Consideraciones finales

Se recomienda que al realizar los ensayos, estos se ejecuten siguiendo las normas INEN – ASTM, con equipos de protección, para evitar exponerse, por el polvo y el ruido que se produce al triturar el vidrio.

10. Referencias bibliográficas

- [1] Informe estadístico de la Federación Interamericana del Cemento FICEM.
- [2] <http://www.inecyc.org.ec/> estadísticas consumo de hormigón Ecuador
- [3] <http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/ecuador-produjo-mas-de-1-400-millones-de-botellas-plasticas-en-2013.html> toneladas de residuos.
- [4] <http://www.ambiente.gob.ec/la-gestion-de-los-residuos-solidos-en-los-municipios-un-proyecto-prioritario-para-el-gobierno-nacional/> producción per cápita basura.
- [5] http://es.theglobaleconomy.com/Ecuador/Carbon_dioxide_emissions_per_capita/ producción per cápita de CO₂
- [6] Estudio de impacto ambiental de Santa Elena-Guayas, producción per cápita de basura
- [7] Federación Interamericana del cemento – FICEM. Capítulo V-VI informe estadístico del año 2013
- [8] <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries/EC-XJ-XT?display=default> CO₂ PERCAPITA ECUADOR
- [9] La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- [10] Kandru Ashok, M. I. Kumar, M. K. M. V Ratnam and Dr. U Ranga Raju (2016). A Study on Mechanical Properties and Durability Studies of Concrete using Rice Husk Ash as a Partial Replacement of Cement using Sulphuric Acid. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 3(6), 47-50.

- [11] Y. S. S. Parvathi, Mr. M. K. M. V. Ratnam and Dr. U. Ranga Raju (2016). A Study on Strength of Concrete by Partial Replacement of Cement with Fly Ash (F) and Adding Admixture as Coconut Fibers. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 3(6), 58-71.
- [12] Jostin, Ssuganya, Banu (2014). Use Of Glass Powder As Fine Aggregate In High Strength Concrete. *International Journal of Science and Engineering Research (IJSER)*, Vol 2 Issue 7 July-2014.

11. Mención

Dejamos constancia de nuestro agradecimiento a la Universidad Estatal Península de Santa Elena – UPSE, a través de su Observatorio de Políticas Sociales, que contribuyó con información significativa sobre la Península de Santa Elena.