

Impacto de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas

Cesar Mauricio Jarre Castro¹, Juan José Howland Albear², María Shirlendy Guerrero Alcivar¹,
Salomón Brito³

1. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. Ave Urbina y Ché Guevara, Portoviejo.

mjarre@utm.edu.ec., mguerrero@utm.edu.ec

2. CUJAE, La Habana. Cuba. jhalbear@civil.cujae.edu.cu.

3. INIGEMM, Sector Monte Serrín, calle Las Malvas E15-142 y De Los Perales, ciudad de Quito, Ecuador. salomon_brito@inigemm.gob.ec.

Abstract— The cement industry provides the basic material in the production of concrete; but it is one of the most aggressive productions in relation to the environmental component, emitting large amounts of CO₂ in the process. Research using new binders that meet the same characteristics as cement and its production less polluting is very important. In an analytical assessment work related to the technical feasibility of using natural volcanic pozzolan to replace an important part of Portland cement according to the elaboration of concrete offers. The potential that can present this material in its use may provide economic and environmental advantage to achieve lower cement consumption. The research has served to demonstrate the possibilities offered by Ecuador regarding the availability of natural pozzolan due to the volcanic origin of the Ecuadorian territory.

Index Terms— pozzolan, environmental protection, concrete

I. INTRODUCCION

El hormigón, es la única roca fabricada por el hombre y de la cual existen muchas clases dependiendo de sus componentes, como es el caso del cemento Pórtland, que es el más barato y fácil de manejar, siendo el único que adquiere las características de la roca en cuanto a su resistencia a la compresión, duración, impermeabilidad, peso unitario, dureza y apariencia, entre otras.

El hormigón es un material de construcción que se diseña bajo unas normas específicas dependiendo del proyecto que se vaya a utilizar y con las características de economía para un determinado fin. El hormigón se elabora a base de diseños con trabajos de ingeniería y que por esta condición están sujetos a cambios, modificaciones y la optimización del producto.

La puzolana es una materia esencialmente silicosa que finamente dividida, no tiene ninguna propiedad hidráulica, pero posee constituyentes (sílice-alúmina) capaces, a la temperatura ordinaria, de fijar el hidróxido de cal para dar compuestos estables con propiedades hidráulicas.

La introducción de las adiciones de puzolanas naturales, obedece a razones económicas, ecológicas y funcionales o ingenieriles. Desde el punto de vista económico, la sustitución parcial de importantes volúmenes de cemento Pórtland por la utilización de puzolana natural, se traduce además en

reducciones del consumo de combustibles durante la producción del cemento.

Actualmente es común a nivel mundial la utilización de puzolanas naturales y artificiales en la producción de cementos mezclados, hormigones y aglomerantes de tipo cal-puzolana. A tal efecto se han llevado a cabo estudios en diferentes partes del mundo sobre la utilización de puzolanas, tanto de origen natural como artificial.

En muchos casos las puzolanas de origen artificial tales como las provenientes de la quema de cáscara de arroz, de bagazo de caña y otras, pueden ser contaminantes del entorno ambiental. En el caso concreto de Cuba se han mostrado resultados muy satisfactorios en la utilización de tobas naturales zeolitizadas finamente molidas en la producción de hormigones, así mismo en los desempeños especiales se ha utilizado la microsílíce (sílica fume) y el metakaolín.

El cemento Pórtland, aglomerante principal a escala mundial para la producción de construcciones, requiere de elevados consumos de energía en su obtención. El alto consumo energético y las altas emisiones nocivas, se convierten en las principales amenazas a la sostenibilidad de la producción de este importante material. A saber, una tonelada de cemento Pórtland producido es responsable de casi una tonelada de CO₂ emitido a la atmósfera (Dopico, 2009).

Ante la demanda de cemento a nivel mundial y la conciencia ambiental que existe acerca de su producción, el consumo energético y emisiones nocivas que provoca, el estudio de nuevos aglomerantes que puedan cumplir con las mismas características que el cemento es de suma importancia y ante la aparición de las puzolanas, tanto naturales como artificiales, se han llevado a cabo estudios de factibilidad que demuestran su capacidad no solo de poder cumplir con desempeños similares que el cemento, sino que también poder reducir la contaminación y disminuir los costos que estén relacionados a su producción, tanto en puzolanas naturales como artificiales.

En el Ecuador no hay suficiente experiencia en la utilización de un recurso natural como las puzolanas de origen volcánico, con grandes posibilidades en la producción de hormigones mediante la sustitución parcial del cemento Pórtland, manteniendo o incluso mejorando los desempeños del hormigón, así mismo logrando una disminución considerable

en el consumo del cemento que conlleve repercusiones positivas, tanto a nivel ambiental como socioeconómico.

Bajo estos conceptos, el objetivo del trabajo se enfoca en mostrar la consideración del impacto socioeconómico y ambiental de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas en la producción de hormigones hidráulicos con sustitución parcial del cemento Pórtland.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la definición de las características técnicas del material puzolánico se utilizaron los resultados del estudio realizado por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), que se encuentran reflejados en un informe técnico de dicha institución.

En el trabajo se combinan los métodos teóricos tradicionales de la investigación científica, tales como: El método análisis-síntesis en el estudio del material bibliográfico disponible; El histórico-lógico para el ofrecimiento de consideraciones precisas relativas a la lógica del desarrollo sobre la utilización del cemento como aglomerante desde su evolución en años anteriores; El método de inducción y deducción, que propició a partir de la existencia del contenido del objeto de estudio, a la obtención de conclusiones propias, permitiendo con ello ir deduciendo las esencias, las causas y los por qué de las propuestas y recomendaciones finales.

Todo lo anterior se aplicó a los efectos de develar la esencia del problema científico, en el procesamiento de la información y la definición del sistema de categorías centrales y operativas.

Además de lograr un resultado concreto y alcanzar las conclusiones y recomendaciones correspondientes, las que podrán resultar de utilidad en el aprovechamiento de las experiencias para la utilización a gran escala de la puzolana en sustitución de una parte del cemento Pórtland, propiciando con ello la reducción de los impactos ambientales derivados de la industria de la construcción en el Ecuador.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. El cemento desde sus orígenes y el ambiente

Desde la antigüedad se emplearon pastas y morteros elaborados con arcilla o greda, yeso y cal para unir mampuestos en las edificaciones. Según fuentes históricas, la construcción más antigua realizada en hormigón es el suelo de una cabaña en Lepensky Vir (Yugoslavia), que datada del año 5.600 a.C.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero elaborado a base de una mezcla de arena con materia cementosa para unir bloques de piedra y levantar sus prodigiosas construcciones. Parte de una de las pirámides de Gizeh que fueron construidas por el año 2.600 a.C., fue levantada con hormigón, así como el mural de Tebas construido sobre el año 1.950 a.C. De ello se conservan escenas de hombres fabricando hormigón y aplicándolo en una obra.

El cemento se empezó a utilizar en la Antigua Grecia utilizando tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini,

resultando los primeros cementos naturales.

Los constructores romanos descubrieron que ciertos materiales procedentes de depósitos volcánicos, mezclados con caliza, arena y agua, producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce y salada. La civilización romana utilizaba el hormigón en la construcción de grandes edificios y también en la red de agua potable y en la evacuación de aguas residuales.

En el siglo I a. C. se empezó a utilizar en la Antigua Roma, un cemento natural que ha resistido la inmersión en agua marina por milenios, los cementos Portland no duran más de los 60 años en esas condiciones; formaban parte de su composición cenizas volcánicas obtenidas en Pozzuoli, cerca del Vesubio. La bóveda del Panteón es un ejemplo de ello.

El cemento surge en 1824, cuando Joseph Aspdin patenta el cemento Pórtland como “Una mejora en las formas de producir piedra artificial”. A partir de entonces se han realizado variados estudios referentes a este material, los cuales han llevado al desarrollo y mejora de las propiedades del mismo hasta como lo conocemos hoy día.

El cemento es uno de los materiales más consumidos por la humanidad junto al agua, y su producción demanda 10 veces más energía que otras actividades industriales. Una sola planta cementera, como la operada por Holcim en la provincia de Mendoza, consume tanto gas natural por día como una ciudad de 80.000 habitantes (González Carletto, 2007). Los principales combustibles utilizados por las cementeras en distintos países incluyen carbón, coque de petróleo, hidrocarburos líquidos pesados, gas natural y gas de refinerías de petróleo. Pero los elevados requerimientos de combustible y su incidencia en la rentabilidad hicieron que las cementeras buscaran nuevas fuentes de calor. (Montes De Oca, 2010)

La explotación de canteras para la obtención de la materia prima constituyente del cemento, representa una alta erosión del suelo, que trae consigo grandes repercusiones no solo al medio, sino también a la salud humana, la flora, la fauna de la zona de la cantera y sus alrededores. (Martinera, 2003)

La importancia del cemento en el mundo de la construcción actual resulta clave, ya que es insustituible para el preparado del hormigón, material utilizado de manera global para la mayoría de construcciones que requieren altos niveles de resistencia y durabilidad.

El diseño de las mezclas de hormigón es el resultado de trabajos de investigación desarrollados, para lograr (con las materias primas indicadas o disponibles) un grupo de desempeños (por resistencias mecánicas y durabilidad), con una máxima racionalidad de recursos (especialmente cemento) y con economía (Howland, 2009).

Ya que no existe un material que sustituya al hormigón como material óptimo de construcción, que brinde similares prestaciones, se considera que no existirá una competencia para el mismo, al menos por los siguientes cincuenta años.

3.2. La producción de cemento ecuatoriano.

La industria del cemento en Ecuador se inicia en el año 1923 con la instalación de plantas Industrias y Construcciones.

Actualmente existen cuatro compañías encargadas de la producción de cemento, dos de ellas son privadas (HOLCIM y LAFARGE) mientras que las dos restantes pertenecen a instituciones del estado ecuatoriano (CHIMBORAZO Y GUAPAN). Las industrias nacionales proporcionan el 100% del cemento gris que en el Ecuador se consume.

Existe una gran variedad de cementos según la materia prima base y los procesos utilizados para producirlo, que se clasifican en procesos de vía seca y procesos de vía húmeda.

El proceso de fabricación del cemento comprende cuatro etapas principales:

1. Extracción y molienda de la materia prima: La caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso se extrae de canteras o minas y dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

2. Homogeneización de la materia prima: La etapa de homogeneización puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el clínker a temperaturas superiores a los 1500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, el proceso de horneado resulta más cortos y el clínker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.

3. Producción de Clinker: Independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

4. Molienda del cemento: El proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de clínker, yeso y otros materiales denominados "adiciones". Los materiales utilizables, que están normalizados como adiciones son entre otros: escorias alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales, cenizas volantes y caliza. En función de la composición, la resistencia y otras características adicionales, el cemento es clasificado en distintos tipos y clases. La molienda de cemento se realiza en equipos mecánicos en los que la mezcla de materiales es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas.

Para ello se utilizan los siguientes equipos: Prensa de rodillos, molinos verticales de rodillos, molinos de bolas y molinos horizontales de rodillos. Una vez obtenido el cemento se almacena en silos para ser ensacado o cargado a granel (Róndon, Gonzáles, 2008).

3.3. Introducción al concepto de tecnología apropiada

Se considera una tecnología apropiada a la que en todo su proceso se adapta a las circunstancias ambientales, socioeconómicas, étnicas y culturales de los usuarios. (Díaz, Arana, 2011)

Si bien las circunstancias del país en que sean implementadas varían, es considerado de manera diferente por ejemplo, en países en desarrollo serían las tecnologías que se centran en la utilización de mano de obra en lugar de la inversión en maquinaria, mientras que en los países industrializados las definen como tecnologías que tienen consecuencias ambientales o éticas. (ArtifexBalear, 2011)

Tomando en consideración algunos de los conceptos y procesos expuestos, se puede determinar que la producción del cemento, materia base para el elaboración de hormigones, es causante de muchos problemas ambientales, afectando varios factores incluida la salud humana. Independientemente que resulta importante considerar que para su fabricación pueden aplicarse subproductos y desechos de otras industrias y en cuanto a su ciclo de vida es de los materiales que más sustentabilidad presenta, ya que incluso se puede reciclar al final de su vida útil como material.

La nobleza del hormigón aun así no oculta la alarmante contaminación por la producción de su material base, el cemento. Para lo cual nuevas alternativas para reducir la utilización del mismo se han estudiado, siendo la suplantación de partes de cemento por puzolana natural, la que presenta los resultados más alentadores, porque si bien es cierto, la utilización de puzolanas artificiales como el humo de sílice (sílica fume) en lo hormigones, da como resultado mejores resistencias y mejor durabilidad (Howland, 2011), sigue siendo este un residuo de la industria, en la cual se generan ciertas afectaciones antes de obtener este elemento, no obstante la puzolana de origen natural, que se encuentra abundantemente en determinados puntos geográficos del Ecuador, brinda una alternativa amigable con el ambiente, ya que no es producto de procesos industriales y su utilización solo requiere de su molienda, dando como resultado hormigones con excelentes prestaciones.

La tecnología apropiada en el caso de los hormigones sería la utilización de materias primas del sector para evitar el consumo innecesario de combustible para la transportación del mismo, en el caso del cemento, la reducción de su consumo mediante aglomerantes puzolánicos naturales crea una alternativa positiva en cuanto a lo ambiental, y económicamente rentable para los hormigoneros, hacer estudios de factibilidad sobre la ubicación de los consumos de hormigón, y hacer una relación en cuanto a las distancias entre canteras y las plantas de hormigón, aplicando estratégicamente la cercanía máxima que se pueda para evitar consumos de dinero y de energía, esto seguido de lineamientos ambientales, hacen de esta alternativa una solución tecnológica óptima en la producción de hormigones de manera sostenible.

En el Ecuador las empresas cementeras en su totalidad, tanto extranjeras como nacionales, utilizan la puzolana natural en la obtención de cementos, que si bien es cierto, es una práctica que técnica y económicamente resulta favorable, pero que si se entiende que la utilización de la puzolana no va a afectar al producto final y que solo afecta al producto del proceso, no es una práctica lógica, mucho menos cuando los fabricantes cementeros por políticas privadas no exponen el porcentaje de puzolana adherido a sus cementos, lo cual dificulta la creación

de un diseño de mezcla óptimo basado en la integración de esta materia prima natural.

3.4. Posibles usos de puzolanas naturales ecuatorianas

El Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM) ha llevado a cabo la caracterización de puzolanas naturales procedentes de yacimientos ubicados en el corredor andino del país, específicamente en las zonas de Panzaleo y Jachaguangu ubicadas en el cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, en la cual se determinó las diferentes propiedades que presentan las puzolanas de los distintos sectores, teniendo que los resultados de los análisis químicos cumplen con las especificaciones establecidas por la norma ASTM C-618 que se refiere al contenido mínimo de la suma de óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido ferroso (Fe_2O_3) debe ser de 70%, donde la puzolana de Panzaleo tiene un contenido del 84.1% y la de Jachaguangu del 84.9%.

Los resultados obtenidos demuestran que la puzolana natural ecuatoriana es apta para su utilización en la producción de hormigones sustituyendo parcialmente el cemento Pórtland, sin embargo el aspecto económico y político juegan un papel difícil de balancear, ya que la utilización de puzolana supone una reducción en la utilización de cemento, que económicamente afectaría a las empresas cementeras. Parte de la investigación realizada por el INIGEMM consistió en construir una vivienda tipo con hormigones que tuvieran una sustitución parcial de cemento por material puzolánico, donde se obtuvo que la reducción del costo en la construcción del modelo demostrativo fue del 23.68%.

Existen factores socioeconómicos y ambientales derivados de la utilización de la puzolana natural ecuatoriana, de los que se pueden referir los siguientes (tomando en cuenta la investigación del INIGEMM):

- El proceso de molienda no representa mayor problema debido a que el material puzolánico, tiene una granulometría fina, por lo que el secado previo se lo puede realizar simplemente con energía solar.
- El costo de fabricación de un saco de aglomerante calco-puzolánico de 50 kg es de \$2,82, debe considerarse que la elaboración del aglomerante fue desarrollado utilizando solamente instrumentos de investigación.
- El efecto económico que produce el empleo del aglomerante calco-puzolánico al sustituir en un 36% (en peso) al cemento Portland, en la construcción de un modelo demostrativo con el elemento investigado es del 23,68% del costo total.
- La comparación directa de precios, entre cemento Portland y aglomerante indican que el cemento tradicional es un 66,51% más costoso que el aglomerante cal puzolana, aun cuando la producción con fines investigativos del aglomerante registran proporciones más altas en la mano de obra y demás elementos utilizados.
- Los diferentes ensayos de la calidad de las materias primas, aplicados en la construcción de un modelo prototipo demostrativo, sobre la base de las normas técnicas vigentes en

el Ecuador para hormigones (ASTM, INEN), determinaron que la mezcla de 80% de puzolana y 20% de cal presenta mejores características técnico - industriales para el uso del aglomerante calco-puzolánico, como cemento de albañilería en la construcción de viviendas de interés social.

La puzolana de estos lugares no requiere de grandes maquinarias de extracción ni de explosiones de tipo minera para su obtención. Se encuentra en suelo, por lo que con pico y palas fue suficiente para su recolección, lo cual es una disminución considerable en consumo de energía, no obstante existen lugares donde habría que utilizar máquinas para excavar y obtenerla, a lo cual se estima que comparando la utilización de maquinaria de excavación, el combustible utilizado en su transporte, y por último la energía utilizada en su molienda, están por debajo del consumo energético de la explotación de canteras y procesos de producción para la obtención de cemento, creando así nuevas plazas de trabajo en este nuevo campo de la explotación del recurso natural puzolana. (INIGEMM, 2013).

IV. CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió demostrar la factibilidad económica, social y ambiental de introducir el uso de la puzolana natural como sustitutivo parcial de más de un 35% de cemento Pórtland en la elaboración de hormigones, con posibilidades de reducir los impactos ambientales derivados de la industria de la construcción.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- 1) ARANA, M., VALDES, ROXANA., Tecnología Apropiaada: Una Concepción para una Cultura. La Habana 2008.
- 2) ARMENTEROS, M., VEGA, C., De la Transferencia a la Innovación Tecnológica: Experiencia Cubana. Estudio de Casos. La Habana 2010.
- 3) ARTIFEXBALEAR, Tecnología Apropiaada, Tecnología de Baja Intensidad. Mallorca, 2011.
- 4) CENTRO COMUN DE INVESTIGACION, COMISION EUROPEA, Prevención y Control Integrados de la Contaminación. Documento referente sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio. Sevilla, 2010.
- 5) DIAZ, J., Pensar la Ingeniería. La Habana, 2010.
- 6) DIAZ, J., ARANA, M., La Innovación Tecnológica Como Complejo Proceso de Investigación. La Habana 2011.
- 7) DIAZ, J., ISAAC, S., Sobre los Conceptos de Técnica, Ciencia, Tecnología e Ingeniería. La Habana 2009.
- 8) DOPICO, J., Contribución al Uso de la Adición Mineral Cal- Puzolana, Como Sustituta Parcial de Altos Volúmenes de Cemento Pórtland en la obtención de un hormigón estructural. Santa Clara, 2009.
- 9) GARCIA, F., CHASSAGNES, O., El Desarrollo de Capacidades Tecnológicas Endógenas: Fuente de Inserción

Competitiva en la Economía Mundial 2011.

10) GONZÁLEZ, S.V., La Empresa de Cementos Minetti. Práctica Profesional Supervisada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, 2007, 57 p.

11) HOLCIM, Tipos de Cemento, <http://www.holcim.com.ec/productos-y-servicios/portafolio-holcim/cementoholcim.html> , 22 de Mayo del 2015.

12) HOWLAND, J., La Innovación Tecnológica y la Protección del Medio Ambiente en la Producción del Hormigón. Tecnologías Industriales para la Construcción (TICONS). La Habana 2011.

13) HOWLAND, J., Tecnología del Hormigón. La Habana, 2009.

14) INNIGEM, Caracterización Química y Físico - Mecánica de Materiales Puzolánico y Calcáreo de los Sectores de Panzaleo, Jachaguangu y Unacota, Provincia de Cotopaxi, Para la Validación de la Calidad del Aglomerante Calco-Puzolánico. Informe interno en espera de publicación. Quito, 2013.

15) KHAN, I., ALHOZAIMY, A., Properties of Natural Pozzolan and its Potential Utilization in Environmental Friendly Concrete. NRC Research Press Web. 2010.

16) LAFARGE, Tipos de Cemento, http://www.ec.all.biz/lafarge-cementos-sa-e2091#.VYiJ7c9_Okr , 22 de Mayo del 2015.

17) MARTINERA, J., Una Alternativa Ambientalmente Compatible para Disminuir el Consumo de Aglomerantes de Clínker de Cemento Pórtland: El Aglomerante Cal-Puzolana Como Adición Mineral Activa. Las Villas. 2003.

18) MONTENEGRO, R., Impacto Sobre la Salud y el Ambiente de las Empresas Cementeras que Incineran Residuos, Compilación, 2011, 33 p.

19) MONTES DE OCA, A., Impactos en el Medio Ambiente Producido por la Explotación de las Canteras de Materiales de Construcción en Cuba. Holguín, 2010.

20) PRODAN, L., BACHOFEN G., Seguridad en la Construcción. Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo. 14 – Cemento y Hormigón. Génova. 2012.

21) RÓNDON, F., GONZÁLES, A., Efectos Nocivos de la Contaminación Producida por la Empresa CEMEX en los Habitantes de las Poblaciones de Pamataculito y Valle Seco del Municipio Guanta. Guanta, 2008, 2 p.

22) RÓNDON, F., GONZÁLES, A., Efectos Nocivos de la Contaminación Producida por la Empresa CEMEX en los Habitantes de las Poblaciones de Pamataculito y Valle Seco del Municipio Guanta. Guanta, 2008, 3 p.

23) Utilización sostenible de los recursos naturales, <http://manejo.tripod.com/n.htm> , 23 de Mayo del 2015.