



Identificación del Trabajo	
Área:	Materiales
Categoría:	Alumno
Regional:	Santa Fe

## Evaluación del potencial puzolánico del polvo de ladrillo y puzolanas naturales

---

**Francisco BUDINI, Virginia CLAUSEN**

Laboratorio de Geotecnia (Lavaisse 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe UTN

E-mail de autores: franciscobudini@hotmail.com/virginiaclausenr@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Mg Ariel González y del Ing. Santiago Cabrera, en el marco del proyecto "MSUTIFE0004877TC Análisis de las propiedades del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) estabilizado con cal y otros aglomerantes no cementicios" (2018 – 2019).

### Resumen:

---

El siguiente trabajo pretende evaluar el efecto de la utilización de cal y adiciones minerales como estabilizante para la producción de bloques de tierra comprimida (BTC), buscando así reemplazar de manera total o parcial al cemento portland, sin que esto modifique las principales propiedades de resistencia y durabilidad de los bloques. Esto lograría disminuir considerablemente el aporte energético requerido para fabricarlos, disminuyendo así su huella ecológica. Las adiciones minerales mencionadas al reaccionar con hidróxido de calcio generan compuestos similares a los productos de hidratación del cemento portland. Mediante ensayos de cal fijada se buscó determinar que adición mineral presenta mayor actividad puzolánica, donde se obtuvo que las puzolanas naturales reaccionan en mayor medida que las artificiales, en este caso polvo de ladrillo, con el hidróxido de calcio. Además, este ensayo determinó que la mayor actividad puzolánica se presenta a los 28 días de la preparación.

**Palabras Claves:** puzolanas; adiciones minerales; cal; bloques de tierra comprimida.

---

## 1. Introducción:

### 1.1. **El Bloque de Tierra Comprimida**

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto fabricado mediante la compresión de un mortero de suelo estabilizado que se encuentra contenido en el interior de una prensa mecánica o hidráulica (Rigassi, 1985) (Neves & Borges Farías, 2011) (Guillaud, 2011). Estas prensas son manuales para bajas demandas de producción o automáticas para sistemas industrializados (Fontaine & Agner, 2009).

La técnica de producción del BTC parece idónea para una época de transición en la que, sin duda, los hábitos y costumbres de la industria de la construcción están sufriendo cambios drásticos (Vázquez Espi, 2001). Según Julián Salas (Salas Serrano, 1995), el BTC puede ser considerado como un salto tecnológico respecto al tradicional adobe, el cual, sin dejar de mirar por el espejo retrovisor, logra integrarse de manera más acorde a los contextos productivos vigentes en la actualidad, empleando en su proceso de fabricación maquinaria especializada (Salas

Serrano, 1995). Si bien el material de base para estos bloques lo constituye la tierra, esta admite la incorporación de estabilizantes minerales (generalmente cemento) que permitan mejorar sus propiedades físicas, aumentando así la resistencia a compresión y al intemperismo de los BTC, y reducir las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (Roux Gutiérrez, 2010).

Las ventajas generales del BTC, en comparación con otros mampuestos de fábrica, como el tradicional ladrillo cerámico o el bloque de hormigón, podrían resumirse en su regularidad de forma (presentando caras lisas y aristas vivas) y su alta densidad -generada por la compresión efectuada durante el proceso de fabricación-, la cual los hace más resistentes a la erosión y a la acción del agua; además de la posibilidad de ser reciclado prácticamente en su totalidad (Roux Gutiérrez & Espuna Mújica, 2012).

### **1.2. Utilización de cal como estabilizante**

Durante años, el estabilizante utilizado por excelencia en la fabricación de BTC ha sido el cemento portland, tal es así que en numerosos países se conoce a este tipo de mampuestos como “Bloques de Suelo Cemento”. Aunque los BTC estabilizados con este material poseen muy buenas prestaciones, debe considerarse que su utilización implica un elevado costo económico y su fabricación requiere de importantes procesos de transformación térmica (superándose los 1400 °C), liberando además enormes cantidades de  $CO_2$  a la atmósfera. Es por este motivo que el estudio de la utilización de estabilizantes no cementicios, y particularmente la cal, ha cobrado gran relevancia en los últimos años, ya que su proceso de fabricación posee características que la hacen más económica y ambientalmente menos perjudicial si se la compara con la fabricación de otros materiales semejantes.

Sin embargo, estudios realizados por el Laboratorio de Geotecnia de la UTN FRSF han demostrado que la resistencia a compresión de los BTC estabilizados únicamente con cal (tanto aérea como hidráulica) es significativamente menor que la de sus homólogos estabilizados con igual proporción de cemento (Cabrera & González, 2019), lo cual coincide y refuerza los resultados obtenidos por diferentes investigadores (Diamond, S; Kinter, 1971) (Laguna, 2011).

### **1.3. Las adiciones minerales adiciones minerales**

Se denomina “adición mineral” o “puzolana” a todos los materiales inorgánicos, ya sean naturales o artificiales, que se endurecen en agua cuando se mezclan con hidróxido de calcio (cal) o con materiales que pueden liberar hidróxido de calcio durante su proceso de hidratación (Massazza, 2003). Estos materiales silicios o silico-aluminosos por sí solos no poseen capacidad cementante significativa, pero molidos finamente y en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos C-S-H (silicatos de calcio hidratados) y C-A-H (hidratos de aluminato de calcio), los cuales poseen propiedades cementicias (Giovambattista, 2011).

La utilización de adiciones minerales -generalmente artificiales- como reemplazo parcial del cemento portland ha sido ampliamente estudiado, llegando a ser una práctica habitual de las empresas cementeras del mundo. Sin embargo, su utilización como estabilizante de BTC no ha sido hasta el momento debidamente estudiada. Es por este motivo que, en el marco del proyecto de investigación denominado “Análisis de las propiedades del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) estabilizado con cal y otros aglomerantes no cementicios” se está estudiando la posibilidad de

desarrollar una dosificación para BTC que utilice únicamente cal y adiciones minerales como estabilizante, minimizando así el impacto ambiental asociado a su fabricación.

#### **1.4. Propósito del trabajo:**

Se plantea como hipótesis principal de la investigación la siguiente: “La utilización de cal y adiciones minerales como estabilizantes para el mortero de los BTC puede reemplazar total o parcialmente al cemento, sin que esto modifique las principales propiedades de resistencia y durabilidad de los bloques”.

El objetivo de esta investigación es el de evaluar la capacidad puzolánica de diferentes adiciones minerales, evaluando su potencialidad para ser utilizadas en la estabilización de BTC.

Para ello, se proponen los siguientes objetivos particulares:

1. Seleccionar diferentes tipos de adiciones comercialmente disponibles en la ciudad de Santa Fe.
2. Determinar la capacidad de reaccionar con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  de cada una de ellas
3. Contrastar los resultados obtenidos con los informados por otros autores para diferentes tipos de adiciones minerales.

Se optó para este trabajo utilizar polvo de ladrillo debido a que es un residuo de las ladrilleras y puzolana natural de una cantera de Mendoza ya que está disponible en la región.

## **2. Metodología:**

En esta primera etapa de las investigaciones, se decidió estudiar el comportamiento de dos tipos de adiciones: puzolanas naturales provenientes de una cantera emplazada en la provincia de Mendoza y polvo de ladrillo proveniente de una ladrillera en la ciudad de Monte Vera, Santa Fe. Para analizar el potencial puzolánico de cada una de ellas se realizaron ensayos de cal fijada (también denominado DSC) a 7 y 28 días a través de los cuales puede determinarse la cantidad de hidróxido de calcio capaz de reaccionar con cada una de ellas. Este ensayo de DSC (Disolución Saturada de Cal) es una técnica desarrollada por el Instituto Torroja (España), cuyo procedimiento se detalla a continuación:

### **2.1. Ensayo de Cal Fijada:**

Se coloca 1.0000 gr de muestra seca pasante por el tamiz #200 (ver Figura 1) en un recipiente hermético en 75 ml de una solución saturada de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0,2g/100ml y se lleva a estufa a 40°C durante el período de tiempo que se desee evaluar, en este caso 7 y 28 días. Al finalizar el período de reposo se extraen 20 ml de la solución sobrenadante y se determina su concentración  $\text{Ca}_2^+$  y  $\text{OH}^-$ .

Para determinar el contenido de  $\text{Ca}_2^+$  se colocan los 20 ml de la solución extraída en un vaso conteniendo 80 ml de agua destilada + 5ml de hidróxido de sodio 4N (para regular el pH) +

una pizca del indicador calceína, valorándose finalmente esta solución con EDTA 0.02M hasta el viraje verde - rosa.



**Figura 1:** Muestras de 1,0000 g de polvo de ladrillo (izq) y puzolana natural (der).

Para evaluar el contenido de  $\text{OH}^-$  se colocan 20 ml de la solución sobrenadante en un vaso de precipitado y se agregan 5 gotas de indicador naranja de metilo. Se valora luego con HCl al 0.1 M hasta alcanzar el viraje naranja - rojo.

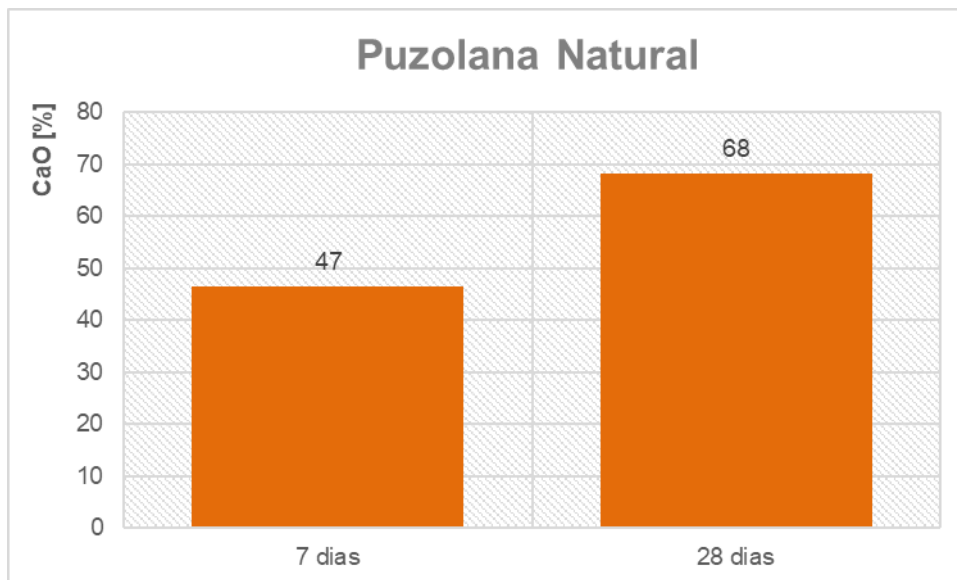


**Figura 2:** Llenado de recipientes con 75ml de una solución saturada de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

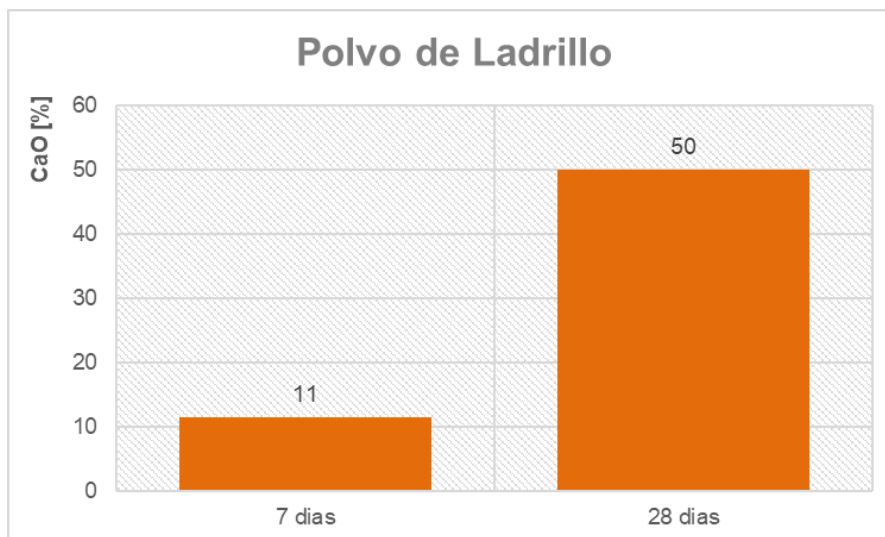
Finalmente, el resultado de este ensayo puede sintetizarse como el porcentaje de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  fijado por la muestra de adición mineral ensayada, el cual puede determinarse por simple diferencia entre la concentración inicial de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  de la solución saturada y su concentración luego del período de reacción con la adición (7 o 28 días).

### 3. Resultados y discusión:

A continuación, se exponen los resultados obtenidos tras la realización del ensayo de cal fijada sobre muestras de puzolanas naturales y polvo de ladrillo, a 7 y 28 días, todos ellas por triplicado. Los resultados se expresan en porcentaje de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  fijado tras el período de ensayo.



**Figura 3:** Resultados ensayo de cal fijada sobre muestras de puzolana natural



**Figura 4:** Resultados ensayo de cal fijada para muestras de polvo de ladrillo.

De los gráficos anteriores puede advertirse que la capacidad de absorber hidróxido de calcio de las muestras de puzolana natural es significativamente mayor a la del polvo de ladrillo, tanto a 7 como a 28 días. A su vez, el potencial puzolánico en ambas adiciones es significativamente mayor a los 28 días, en especial para las muestras de polvo de ladrillo.

Finalmente podemos concluir que la puzolana natural es una mejor opción que el polvo de ladrillo para utilizar como adición con cal ya que puede "fijar" un 18 % más de hidróxido de calcio.

Si se comparan estos resultados con los obtenidos por la Dr. Guilarducci al evaluar la capacidad puzolánica de las cenizas de alto horno producidas por la central térmica Río Turbio (Guilarducci, 2018), puede apreciarse que, a pesar que las muestras de puzolana natural presentan una elevada capacidad de asimilación del hidróxido de calcio a los 28 días, ésta es significativamente menor que las cenizas de alto horno estudiadas por Guilarucci (ver Figura 5).

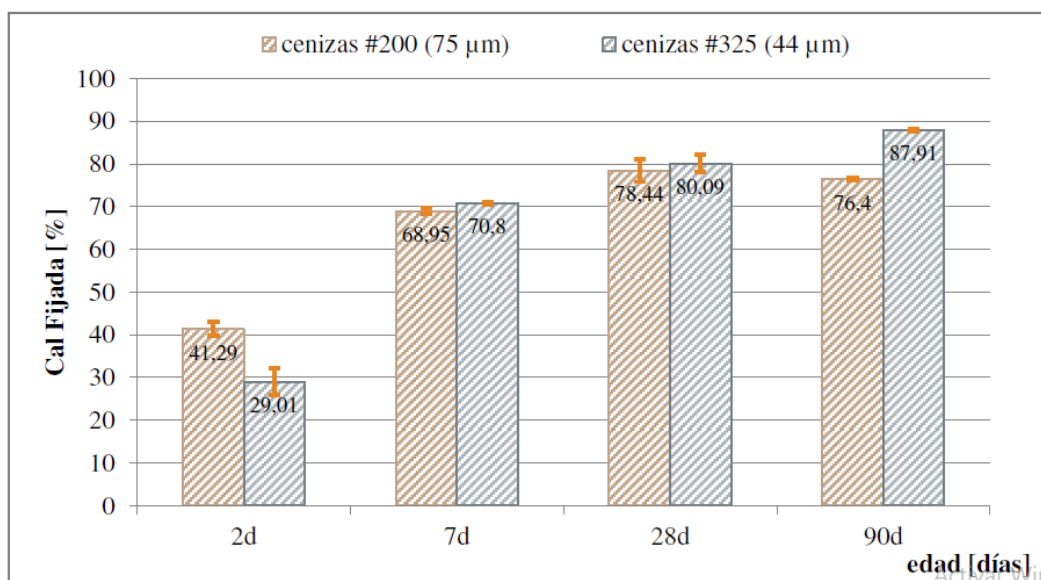


Figura 5: Resultados del ensayo de DSC para cenizas de alto horno (Guilarducci, 2018).

#### 4. Conclusión:

Tras la realización de los ensayos realizados puede concluirse ambas adiciones minerales evaluadas presentan potencial puzolánico; sin embargo, las puzolanas naturales provenientes de Mendoza tienen un mejor desempeño, alcanzando a fijar un 68% de hidróxido de calcio a los 28 días.

En el futuro cercano, se pretende evaluar la capacidad puzolana mediante ensayos de resistencia a compresión de probetas de mortero cal-adición, evaluando así su incidencia en la resistencia a compresión.

#### Bibliografía:

Cabrera, S., & González, A. (2019). Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Evaluación de dosificaciones y resistencia a la compresión. *III encuentro latinoamericano y europeo de edificaciones y comunidades sostenibles*, 210–219. Santa Fe.

Diamond, S; Kinter, E. (1971). Mecánica de la estabilización del suelo – cal. Una revisión interpretativa. *Carreteras*, 12, 3–16.

Fontaine, L., & Agner, R. (2009). *Batir en terre. Du grand de sable à l'architecturele*. París: BELIN.  
 Giovambattista, A. (2011). *HORMIGÓN: materiales, vida útil y criterios de conformidad y su consideración en el reglamento CIRSOC 201-2005*. Buenos Aires: INTI.

Guilarducci, A. (2018). *Generación de Adiciones Minerales para el Cemento Portland a Partir de Residuos de Centrales Termoeléctricas de Lecho Fluidizado*. Universidad Nacional del Litoral.

Guillaud, H. (2011). Actuar a favor de un nuevo humanismo valorizando las arquitecturas de tierra. *XI Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción Con Tierra (SIACOT)*, 32–41. Tampico: UAT / PROTERRA.

Laguna, M. (2011). Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible para las Construcción. Universidad Pública De Navarra.

Massazza, F. (2003). Pozzolana and Pozzolanic Cements Ltd. In *P. Hewlett, Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (pp. 471–635). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Neves, C., & Borges Farías, O. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. Bauru: FEB-UNESP / PROTERRA.

Rigassi, V. (1985). Compressed Earth Blocks: Manual of Production. In *Network*. Eschborn: GATE / BASIN.

Roux Gutiérrez, R. (2010). *Los bloques de tierra comprimida (BTC) en las zonas húmedas*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Roux Gutiérrez, R., & Espuna Mújica, A. (2012). *Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales*. México D.F.: Plaza y Valdez.

Salas Serrano, J. (1995). *Habiterra, exposición Iberoamericana de construcción con tierra*. Bogotá: Escala.

Vázquez Espi, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Informes de La Construcción*, 52(471), 29–43. <https://doi.org/10.3989/ic>