

# PUZOLANAS EN LOS ALREDEDORES DE IRRA

JORGE IVÁN TOBÓN

*Departamento de Recursos Minerales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

**RESUMEN.** Las puzolanas son materiales de adición, de suma importancia, en la industria del cemento por su capacidad de atrapar la cal libre que queda en el clinker después del proceso de sinterización de las materias primas (caliza, arcilla y correctores), reduciendo el calor de hidratación y los costos de producción. Los materiales volcánicos en teoría podrían tener propiedades puzolanicas, por esto se planeó hacer un muestreo y ensayos por el método de Fratini para la secuencia volcano-sedimentaria que se encuentra en los alrededores de Irra, obteniendo excelentes resultados.

**PALABRAS CLAVES.** Puzolan, Adiciones, Cemento

**ABSTRACT.** The Puzolans are addition's materials important in the cement's industry because they absorb free lime that is in the clinker after of sinterization process of raw material (limestone, clay and correctors), they help to reduce the hydration heat and production cost. Volcanic material, in theory, could have puzolanic properties. For this we sampled and analized after the Fratini's method the volcanic sequence around of Irra and obtained excellent results.

**KEY WORDS.** Puzolan, Additions, Cement.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria del cemento es particularmente susceptible a las materias primas, pues de ellas depende el tipo y características de cemento producido y la posibilidad de optimización del proceso de fabricación.

La diversidad de aplicaciones que tiene el cemento en la actualidad hace que sea necesario elaborar productos de diferentes características, obedeciendo a las distintas necesidades de resistencia mecánica y química, color, tiempos de fraguado, costos, entre otras. Para lograrlo se requiere utilizar, en su elaboración, sustancias naturales o sintéticas que impriman al cemento las propiedades requeridas. Esta función la cumplen los llamados ADITIVOS.

Dentro de los aditivos están las PUZOLANAS, las cuales se definirán y se discutirán sus características, las ventajas y desventajas de su utilización y el mecanismo de funcionamiento de éstas al interior de la mezcla de concreto en el tiempo.

En la búsqueda de nuevos materiales para la fabricación de un producto diferente y con menores costos en CEMENTOS EL CAIRO S.A. se propuso la exploración de materiales puzolánicos en las cercanías de su fábrica. Para este artículo solo se presentaran resultados de uno de los depósitos explorados.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 ADITIVOS EN EL CEMENTO

En forma genérica se puede afirmar que un aditivo es un material distinto del agua, agregados o triturados y del cemento hidráulico, de origen natural o artificial, que en determinadas proporciones y adicionados a la materia prima o molidos conjuntamente con el clinker, no perjudican el normal comportamiento del cemento resultante, pudiendo aportar alguna cualidad positiva o mejorar cualquiera de las características existentes, de tal manera que se haga más adecuado para las condiciones de trabajo o más económico.

Existe una clasificación desde el punto de vista funcional de los aditivos:

- ◆ Inclusores de aire
- ◆ Reductores de agua
- ◆ Retardantes
- ◆ Acelerantes
- ◆ Superplastificantes
- ◆ Minerales
- ◆ Otros (Expansores, fluidizantes...)

En el presente trabajo solo se tratan los aditivos minerales, los cuales son materiales finamente molidos (pasan malla 100) que se le agregan al clinker o al concreto para mejorar su trabajabilidad. Algunos de éstos son relativamente inertes (cuarzo, caliza, arcillas calcinadas, etc) pero existen otros de marcada e

importante actividad química entre los que se encuentran las PUZOLANAS y son éstos el objeto principal de este documento.

**2.1.1. Activos:** Cuando a temperatura ambiente al entrar en contacto con el clinker se generan, mediante reacciones químicas, productos similares a la Tobermorita (Silicato cálcico hidratado) que participan en el endurecimiento del cemento.

**2.1.2 Inactivos:** Una adición inerte, relleno o "Filler" como también se le denomina, es un material agregado al cemento en proporciones que fluctúan entre el 5 y 30% en peso y que no reaccionan químicamente con éste.

### 3. PUZOLANAS

#### 3.1 ORIGEN DEL TERMINO "PUZOLANA"

Los griegos y romanos, primeros en conocer "La Cal" con sus propiedades cementicias le agregaron materiales naturales que estaban a su alcance, quizás con el objeto de que participasen como áridos (inertes), y como es sabido el suelo donde florecieron estas civilizaciones tiene una importante cobertura de material piroclástico, obteniendo morteros de alta resistencia y mayor durabilidad lo que llevo a que el uso de estos aditivos volcánicos se generalizara, éstos se encontraban principalmente en la localidad de Puzzuoli de donde derivan su nombre.

#### 3.2 DEFINICIÓN DE PUZOLANA

Son productos naturales o artificiales, silíceos o sílico-aluminosos que en si mismos poseen poca o ninguna propiedad aglomerante ni de actividad hidráulica, pero finamente molidas, a temperaturas ordinarias y en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio formando compuestos que sí tienen propiedades aglomerantes e hidráulicas.

Las puzolanas presentan en virtud de su inestabilidad química, reflejo del desorden estructural, alta susceptibilidad de reaccionar con otras sustancias para formar nuevos compuestos más estables, es así como atrapan la cal libre en el clinker.

Las puzolanas engloban materiales de diferente naturaleza, por esto cuando se habla de ellas se está haciendo alusión a rocas, suelos, sedimentos o productos artificiales que presentan propiedades puzolánicas.

#### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PUZOLANAS SEGÚN EL ORIGEN

Se clasifican en dos grandes grupos: naturales y artificiales, aunque existe un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que necesitan tratamientos térmicos de activación, con el objeto de aumentar su reactividad.

**3.3.1 Puzolanas Naturales:** Son productos minerales con características composicionales (silico-aluminosos), estructurales (estructura imperfecta o amorfá) y texturales (grano fino) que los hacen aptos para su uso como aditivos activos en la industria del cemento, entre éstas están:

- Las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas, que por su alto contenido de materiales vitreos son propensas a sufrir reacciones como las requeridas para las puzolanas. Más tarde por procesos geológicos de enterramiento estas cenizas se convierten en tobas, las cuales son rocas volcánicas bastante porosas, característica que les confiere una gran superficie interna favoreciendo su reactividad, entonces, como puzolana sirve tanto el sedimento como la roca.

En rocas y materiales volcánicos hay que considerar dos factores diferentes controladores de la actividad puzolánica; por una parte, la composición química del magma originario que determina la de los productos, y por otra, la constitución y textura de los minerales de dichas rocas, las cuales dependen de la velocidad de enfriamiento y de los procesos de meteorización que los hallan afectado.

En las rocas volcánicas son especialmente interesantes las rocas ácidas (ricas en cuarzo y feldespato). Químicamente tienen la composición que se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Composición química típica de las puzolanas volcánicas

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Variación	42 - 73	10 - 20	1 - 14	0 - 12	0 - 11	1 - 5	1 - 5	0 - 0.5
Promedio	57.4	15.8	5.5	4.7	2.1	3.2	3.1	-

Tabla 2. Composición química típica de las puzolanas sedimentarias orgánicas

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Variación	42 - 58	13 - 19	4 - 14	1 - 12	1 - 11	1 - 7	1 - 7	-
Promedio	57.4	15.8	5.5	4.7	2.1	3.2	3.1	-

- Rocas o minerales sedimentarios ricos en sílice hidratada y formadas en yacimientos submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones de radiolarios y diatomeas.

- Existen algunas rocas y minerales no puzolánicos de origen pero que al descomponerse generan productos de naturaleza puzolánica, los cuales son muy escasos en el mundo.

**3.3.2 Puzolanas Artificiales:** Son materiales que deben su condición puzolánica a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales; tales como, residuos de bauxita, polvos de chimeneas de altos hornos, cenizas volantes, etc

Las de mayor peso en la actualidad, en el mundo, son las cenizas volantes en función de las ventajas económicas y técnicas que ofrecen ya que es un material de desecho y los cementos aumentan la trabajabilidad y disminuyen el calor de hidratación porque son muy buenas puzolanas.

Mineralógicamente las cenizas volantes se componen de:

- ◆ Sílico-aluminatos vítreos
- ◆ Compuestos cristalinos de Fe, Na, K y Mg entre otros
- ◆ Carbón no quemado

La reactividad de las cenizas volantes como puzolanas depende del tipo y origen del carbón, composición química y mineralógica de éste, del contenido de fase vítreas después de quemado y de la granulometría principalmente.

**3.3.3 Puzolanas mixtas o intermedias:** Son aquellas puzolanas que, naturales por su origen, se someten a un tratamiento térmico con el objeto de cambiar sus propiedades para aumentar su reactividad química. Dentro de éstos se incluyen las zeolitas, suelos, rocas, cascarilla de arroz y las arcillas, un representante típico de éstas últimas es el polvo de ladrillo, obtenido como producto de desecho de la industria de la cerámica roja.

La factibilidad de que un material arcilloso sometido a un tratamiento térmico permita la formación de compuestos puzolánicamente activos depende principalmente de:

- ◆ Estructura y constitución mineralógica
- ◆ composición química
- ◆ Temperatura
- ◆ Tiempo de cocción y de enfriado

Dentro de éstos están el ópalo, el trípoli y las diatomitas. Químicamente tienen la composición que se muestra en la tabla 2:

### 3.4 VALORACIÓN DE LA PUZOLANICIDAD

El hecho de que la puzolanicidad pueda deberse a diferentes causas, además de que esta propiedad se manifiesta de diferentes maneras, hace verdaderamente difícil imaginar un único método que con carácter general permita llevar a cabo una estimación del valor puzolánico en condiciones equiparables en materiales distintos. Además, es importante resaltar que los ensayos que se practiquen en la determinación de la actividad puzolánica solo serán válidos en la medida que reflejen las condiciones reales de su posible uso.

**3.4.1 Criterios Cualitativos:** Son bastante empíricos, dudosos y poco precisos.

- ◆ **Químicos:** Detecta la capacidad de reacción de los materiales puzolánicos en una solución de hidróxido de calcio. El método consiste en observar la formación de flóculos, su cantidad y velocidad de sedimentación.
- ◆ **Físicos y tecnológicos:** Uno es la observación al microscopio del material para definir la perfección de su estructura cristalina, además, se determina la capacidad de absorción de agua cuando está finamente molido. Otro ensayo consiste en la elaboración de pequeñas probetas de mezcla del material con cal hidratada, éstas se conservan durante tres días en ambiente húmedo y sin CO<sub>2</sub>, al cabo de los cuales se comprueba si se ha producido algún endurecimiento de la masa. Se considera que el material ensayado es puzolánico cuando las probetas así conservadas resisten, sin deshacerse, dos horas en agua hirviendo.

**3.4.2 Criterios Cuantitativos:** Son más elaborados y precisos, permiten realizar comparaciones entre resultados de un mismo ensayo.

- ◆ **Químicos:** También se basan en la reacción de la muestra puzolánica con agua de cal pero se usa la química determinativa y los análisis complejometrados. La principal carencia de éstos

es que no reproducen las condiciones reales en las que trabajará el material puzolánico.

- ◆ **Físicos y Tecnológicos:** Se elaboran probetas y se les hacen ensayos de resistencia a la tracción y a la compresión.
- ◆ **FRATINI:** Es el método más difundido para ensayar cementos puzolánicos, consiste en comparar la cantidad de hidróxido de calcio presente en una solución acuosa en contacto con el cemento hidratado, con la cantidad de hidróxido de calcio capaz de saturar un medio de la misma alcalinidad. En un cemento puzolánico la concentración de hidróxido de calcio en solución es siempre menor que la concentración de saturación (Norma ICONTEC 1512).

Para los cálculos se utiliza la curva isoterma de solubilidad a 40 °C del hidróxido de calcio en presencia de álcalis (Figura 1). En la gráfica está la alcalinidad total contra el contenido de CaO. Cuando al graficar una muestra el punto cae por debajo de la curva ésta se considera puzolánica. El ensayo se hace a siete y veintiocho días.

### 3.5 UTILIZACIÓN DE LAS PUZOLANAS

El primer criterio que apoyó la producción de cementos puzolánicos fue el corregir el cemento Pórtland tipos I y II fijando la cal libre, generada durante la formación de los silicatos bi y tricálcicos, la cual es inestable a pH menores de 12, para formar compuestos estables que no son vulnerables a la acción lixiviante de las aguas ácidas. Pero adicionalmente estos materiales tienen otros efectos sobre el cemento y el concreto.

- ◆ Reemplazan una buena porción del cemento portland del 20 al 40%, disminuyendo los costos de producción porque esta adición es mucho más barata que el clinker y más económica de moler.
- ◆ Reduce el calor generado durante la hidratación, la cual es una reacción bastante exotérmica.
- ◆ Evita el agrietamiento del concreto por la acción expansiva de la cal al hidratarse y compresiva al secarse.
- ◆ Rebajan en cierto porcentaje los aluminatos que son inestables en medios sulfatados y absorben álcalis, los cuales normalmente entran a reaccionar de manera perjudicial con los agregados del concreto.

Dependiendo de las propiedades del cemento se define el porcentaje que se puede adicionar para que las resistencias a la compresión no caigan por debajo de los valores mínimos permitidos en las normas del ICONTEC. Porque las puzolanas al ser materiales muy finos, normalmente, recubren los áridos en el concreto impidiendo su contacto con el cemento creando zonas de debilidad.

## 4. PUZOLANAS EN LOS ALREDEDORES DE IRRÁ

Para esta excursión geológica entre la población de Irrá y la estación de policía La Botija, sobre la vía que de Irrá conduce a Manizales, se contó con la plancha 205 (Chinchina) del INGEOMINAS, en edición, y con la compañía del geólogo Juan José Estrada.

### 4.1 GEOLOGÍA LOCAL

Este sector corresponde a una cuenca estrecha y alargada en sentido NE, limitada al Sur por fallas inversas, donde se encuentran secuencias volcánico-sedimentarias de edad Terciaria y composición andesíticas. Sedimentos volcánicos arenosos ricos en cuarzo, feldespato y pómex, intercalados con niveles conglomeráticos con abundantes fragmentos de pórfidos andesíticos y dacíticos, los cuales en teoría podrían tener propiedades puzolánicas.

Geomorfológicamente la zona está caracterizada por cerros pequeños, redondeados y de pendientes suaves. Con drenajes de subparalelos a subdendríticos y en su mayoría intermitentes.

El área está dedicada a las fincas de recreo y a la ganadería.

### 4.2 MUESTREO

El método de trabajo consistió en identificar afloramientos de interés cercanos a la vía principal, describirlos y tomar muestras de canal.

En un trayecto de aproximadamente 2Km se tomaron tres muestras M1, M2 y M3 de más o menos 10kg cada una.

**M1:** Está constituida de sedimentos piroclásticos pumítico en una matriz arenosa rica en cuarzo y feldespato, de colores claros casi blancos. Los sedimentos en el afloramiento presentan una estratificación laminar, suavemente ondulada y en apariencia rítmica.

**M2:** Se tomó de uno de los horizontes conglomeráticos ricos en pórfidos dacíticos y andesíticos en atención a que M1 se había extraído de los arenosos donde da la impresión de que se encuentra concentrado el pómex.

**M3:** Se sacó de uno de los horizontes arenosos.

Al igual que el afloramiento donde se tomó M2 se tienen intercalaciones de capas arenosas y conglomeráticas.

### 4.3 RESULTADOS

Los análisis se realizaron en el laboratorio de control de calidad de cementos RIOCLARO S.A. de acuerdo con la norma ICONTEC 1512 para la mezcla de las muestras M1,

M2 y M3 con cemento tipo II (sin adición) en proporciones 40% a 60% respectivamente, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Resultados de Puzolanicidad

Muestra	mmol/l OH	Mmol/l CaO	Tiempo (días)
M1	39.51	12.87	7
	42.78	8.49	28
M2	37.46	13.55	7
	39.006	8.61	28
M3	34.70	11.68	7
	38.93	7.39	28

Los resultados se pueden ver graficados en la figura 1, de ella se deduce que el ensayo fue positivo para las tres muestras, porque aunque M2 a siete días está por encima de la curva es muy próxima al valor de equilibrio y a veintiocho días como todas las demás está ubicada por debajo de la curva. Notándose un efecto más rápido para la muestra M3 que parece ser la de mayor actividad puzolánica.

Nótese que la posición de los puntos a los 28 días está más abajo, indicando que con el tiempo las muestras fueron capaz de atrapar cada vez más cal de la solución acuosa,

confirmando que estos materiales tienen propiedades puzolánicas.

Las puzolanas fueron molidas hasta un "blaine" promedio de 5500 cm<sup>2</sup>/g. Este dato es importante porque a escala industrial se maneja un blaine de 3800 a 4200 cm<sup>2</sup>/g en promedio, esta molienda tan fina seguramente afectará el valor de las resistencias.

Los análisis químicos de estas puzolanas arrojaron la siguiente composición para las tres muestras (Tabla 4):

Tabla 4. Resultados Análisis Químicos

Análisis	M1	M2	M3
SiO <sub>2</sub>	57.30	60.88	60.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.14	16.20	16.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.77	6.29	5.64
CaO	6.87	6.06	8.06
MgO	1.25	1.05	1.11
S O <sub>3</sub>	0.08	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	1.27	2.12	1.48
Na <sub>2</sub> O	0.87	0.86	0.83
P.F	3.51	1.41	3.63
R.I	86.00	86.53	84.21

Estos resultados de los análisis químicos ubican a estas muestras dentro de las composiciones promedias para las puzolanas.

Los siguientes pasos en una exploración de este tipo son: fallar unos cubos de las mezclas a diferentes edades, realizar una cartografía detallada del área, un muestreo sistemático y hacer un ensayo industrial con

aproximadamente 30 toneladas de este material en diferentes porcentajes de adición, para ver como se comporta la mezcla en condiciones más reales de funcionamiento de la planta y no como en este análisis que son condiciones de laboratorio. Posteriormente se debe hacer un cálculo de reservas para lo cual se necesitaran apiques o pozos.

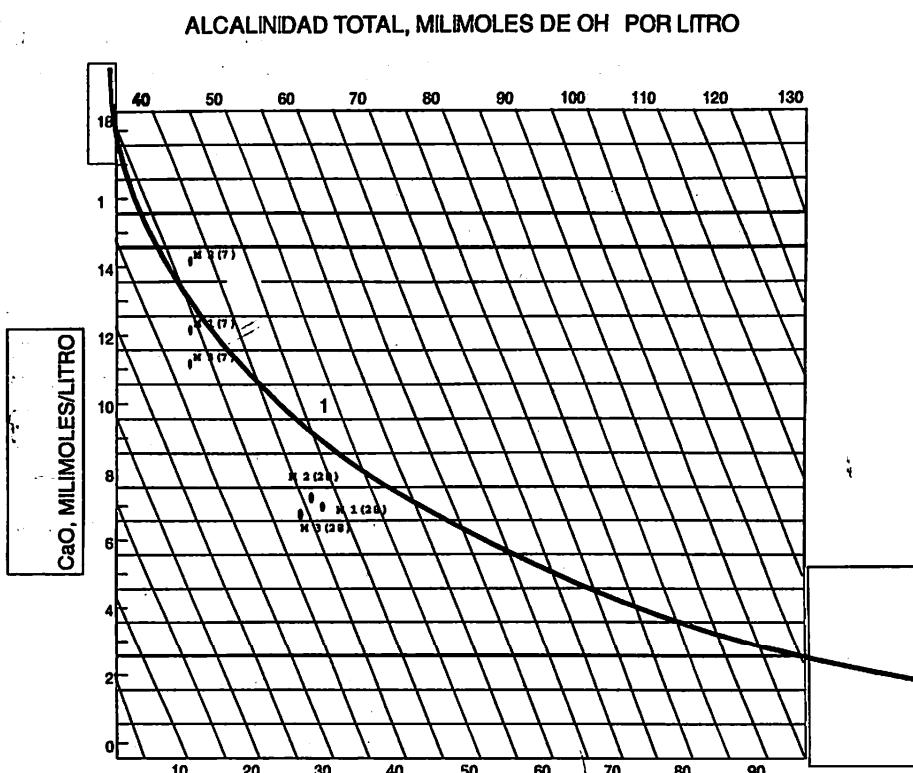


Figura 1. Resultados del ensayo de puzolanicidad Metodo Fratini

## 5. CONCLUSIONES

Las puzolanas como aditivos son de capital importancia dentro de la industria del cemento, ya que intervienen en la calidad del producto final, aumentan la eficiencia del proceso de fabricación y reducen los costos de producción.

El calor generado por la mezcla Cemento/Puzolana es menor que el generado por el mismo peso de solo cemento, lo cual incide en la durabilidad del concreto dado que se disminuyen las tensiones generadas en la dilatación-contracción térmica.

El uso de puzolanas permite el diseño de mezclas de concretos más impermeables, cuyo período de deterioro por el lixiviado de la cal libre se reduce.

Algunas puzolanas aportan resistencia al concreto contra el ataque de aguas de mar, sulfatadas, ácidas o que contengan dióxido de carbono en solución.

Las puzolanas disminuyen la expansión resultante de la reacción de los agregados alcalinos.

Las puzolanas adicionadas en los porcentajes establecidos (20 al 40%) en el cemento no disminuyen la resistencia de los concretos.

Las muestras tomadas en los alrededores de Irrá mostraron actividad puzolánica importante y una composición química dentro del promedio para las puzolanas, haciendo a este depósito interesante para la industria del cemento desde el punto de vista geológico y químico.

Los niveles de mayor puzolanicidad son los arenosos por estar más enriquecidos en pómex, el cual es un material amorfo.

## REFERENCIAS

Calleja, J. Las Puzolanas. En: Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la construcción del cemento. Vol.281; p. 1-95. 1969

De Benito C, A. Geología de las Materias Primas en la Industria Cementera; Experiencia Latinoamericana. Industria Minera. Madrid, (25): 21-33. 1983

Heberhardtj, C. Residuos Industriales para la Fabricación de Cemento. Jornadas Colombianas del Cemento III, Paipa (Boyacá). Memorias, Medellín, Instituto Colombiano de Productores del Cemento, 4p. 1989.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). Ensayo Químico para Determinar la Actividad puzolánica. Norma 1512. 1979.

Salazar J., A. Panorama del uso de las puzolanas en Colombia; p. 1-45. En: ASOCRETO. Memorias Técnicas. Reunión del concreto. Tomo 4 (Materiales y Patologías). 1994.

Soria Santamaría, F. Panorama de los cementos puzolánicos en el futuro: Cementos PAS-PUZ. En: Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento. Vol. 270; p 1-60. 1968