EL USO DE LA ZEOLITA COMO UNA ADICIÓN MINERAL PARA PRODUCIR CEMENTO PUZOLÁNICO

Paola Robalino Espinoza[1], Hugo Eguez Álava[2]

[1]Ingeniero Civil 2004
[2]Director de Tesis, Ingeniero Geólogo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1085. Postgrado EEUU, Universidad de Virginia del Oeste, 1987, Profesor de la ESPOL desde1987.

RESUMEN
Las puzolanas son un material natural o artificial compuesto principalmente por sílice amorfa, que por si solas no poseen ningún valor cementante, pero que finamente dividido y en presencia de humedad reaccionan químicamente con la cal y forman un compuesto que posee propiedades aglomerantes.

El cemento puzolánico es la resultante de la incorporación de la puzolana (zeolita) al cemento portland en una proporción del 20% de la mezcla de la masa. Este producto se realizó bajo las normas de la ASTM C618 – 01

Para esta tesis se utilizó la zeolita como adición en la fabricación del cemento puzolánico, con el fin de mejorar sus propiedades, y obtener un cemento igualmente resistente y más económico. El objetivo de esta tesis es desarrollar la aplicación de las zeolitas naturales como un componente básico de las mezclas de hormigones y morteros. Demostrar mediante ensayos y pruebas las bondades de la zeolita como una adición mineral para producir este material.

Es indiscutible que para la rama de la construcción éste es un valioso recurso. Es importante demostrar las ventajas que ofrece este material, desde el punto de vista tanto técnico como económico. La zeolita es un nuevo recurso que no ha sido explotado aún, y esta en espera de ser reconocido.

INTRODUCCIÓN
A lo largo de los años se ha reconocido el gran desempeño y utilidad que las zeolitas naturales han tenido, en varias de las ramas tanto de la economía, como la salud y los servicios. Gracias a diferentes estudios e investigaciones, se ha logrado encontrar mas aplicaciones para el uso de este mineral.

En la actualidad gracias a la moderna tecnología del hormigón se ha podido estudiar mas a fondo las aplicaciones de las zeolitas naturales como una adición mineral. El objetivo de esta tesis es precisamente desarrollar y optimizar la aplicación de las zeolitas naturales como un componente básico de las mezclas de hormigones y morteros. Utilizar un material inorgánico como lo es la zeolita, e incorporarla al cemento para obtener un cemento puzolánico. Estas adiciones incorporadas al cemento se las realiza con el fin de mejorar sus propiedades, obteniendo un producto igualmente resistente y más económico.

2.1. Definición
Las puzolanas son materiales naturales o artificiales compuestos principalmente por sílice amorfa, que por si solas poseen poco o ningún valor cementante o propiedades hidráulicas, pero que finamente dividido y en presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio o cal y forman un compuesto que posee propiedades aglomerantes.

2.2. Tipos de Puzolanas
Existen dos tipos principales de puzolanas, las puzolanas artificiales y las naturales.

Puzolanas Artificiales: son sub-productos industriales y materiales tratados térmicamente, y existen varios tipos, las cenizas volantes (fly ash), arcillas activadas térmicamente, microsílice, y las cenizas de cáscara de arroz.

Puzolanas Naturales: Para fines de la construcción, las puzolanas naturales son consideradas en general como materiales de naturaleza silícea, algunos tipos son las cenizas volcánicas, tobas volcánicas o zeolitas, y diatomitas

2.3. Zeolitas
Las zeolitas naturales son un grupo de alumino-silicatos hidratados de metales alcalino y alcalino-terreos. El término zeolita se utiliza para designar a una familia de minerales naturales con propiedades particulares como el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Esta última propiedad es la que da origen a su nombre, que se deriva de dos palabras griegas, *zeo:* que ebulle, y *lithos:* piedra.

2.3.1. Usos y aplicaciones industriales
Las zeolitas son de gran interés industrial ya que poseen diversas propiedades lo que da como resultado diferentes aplicaciones. Estos minerales se utilizan para diversas actividades como la nutrición animal, control de malos olores, construcción, entre otros.

- *Nutrición animal*
Mediante la adición de la zeolita al alimento del ganado vacuno como balanceado, se logra mejorar la eficacia alimenticia de este alimento, mejorando así tanto la calidad de la carne como la producción de leche y huevos. Esta adición también logra mejorar el apetito de los animales y la resistencia a las enfermedades.

- *Agricultura*
En la agricultura se la utiliza para el tratamiento de suelos gracias a su capacidad de intercambio iónico y retención de agua. Al aumentar la capacidad de intercambio iónico hace que se logre mejorar la capacidad de retención de nitrógeno del suelo.

- *Control de malos olores*
Gracias a la capacidad de la zeolita para el intercambio iónico y la selectividad por lo amoniaco, se las puede utilizar para el control de los olores en diversas situaciones, desde las camas de los gatos hasta las plantillas para los zapatos.

- Construcción
La zeolita es utilizada en la producción de cementos puzolánicos. Es justamente el aprovechamiento de este mineral en la construcción lo que se estudia en esta tesis.

2.3.2. Clasificación y características
Las puzolanas se dividen y clasifican en tres tipos según la norma **ASTM** ***C 618-01*** *"Standard Spedification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Concrete"*.
Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tobas y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y varios materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas.
Clase F: Ceniza volante producida por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Estas cenizas poseen propiedades puzolánicas.
Clase C: Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub–bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementicias. Es importante mencionar que para esta tesis el tipo de puzolana a utilizar es la clase N, ya que se trata de la zeolita, que es una puzolana natural.

3.1. Definición
Los cementos adicionados son aglomerantes hidráulicos, producidos por la molienda de un material conocido como puzolana que se ha incorporado al cemento. Para este caso en particular, el porcentaje adicionado de puzolana fue del 20%. Estas pastas hidratadas bajo ciertas condiciones generan soluciones de hidróxido de calcio que alcanzan todavía niveles de saturación. Es este nivel de saturación el que nos da una de las características más importantes que marca la diferencia entre los dos cementos.

3.2. Características generales
El cemento puzolánico es la resultante de la incorporación de la puzolana (zeolita) al cemento portland en una proporción que debe ser del 15-40% de la mezcla de la masa según la norma ASTM C595. Es esta incorporación la que lo provee de diversas características y propiedades, las mismas de las cuales hablaremos a continuación.

3.3. Propiedades fundamentales de los elementos adicionados
La adición de la puzolana confiere propiedades ventajosas para los cementos, tales como mayor resistencia a mayor edad, menor calor de hidratación, durabilidad, entre otras. A continuación se explicará mas a fondo, cada una de estas propiedades.

- Fraguado
El fraguado de cementos que contienen puzolanas naturales no difiere de los valores típicos encontrados en los cementos Portland, por el contrario, cementos compuestos con ceniza volante o humo de sílice tienden a prolongar el fraguado.

- Fluencia
Esta propiedad se relaciona estrictamente con la resistencia, relación agua–cemento y el curado del hormigón. Ya que esta adición retarda la ganancia temprana de resistencias, la fluencia específica de cementos puzolánicos sea mayor que la de los Portland.

- Resistencia
El desarrollo de resistencia en hormigones con puzolanas tienen como regla general el incremento en las resistencias finales comparadas con los cementos Portland puros.

- Durabilidad
La capacidad del hormigón de mantener el desempeño estructural con el paso del tiempo no depende exclusivamente de las propiedades del cemento, mas bien influyen en esta toda una gama de propiedades del hormigón.

4.1. Preparación de la zeolita

El cumplimiento de especificaciones para el empleo de las zeolitas naturales como aditivo es regulado por normas internacionales. Para ésta tesis la clasificación de la zeolita se la determinó de acuerdo a la norma **ASTM C 618-01** "*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete"*. Dando como resultado una puzolana de clase N, ya que el material utilizado es la zeolita que es una puzolana natural.

4.1.1. Muestreo

Para el muestreo, la zeolita se la obtuvo del peñón de la Espol, que esta ubicado en la zona sur del Campus Prosperina.

4.1.2. Trituración

La primera etapa de la trituración y molienda de esta roca se la realizó en el laboratorio de la FICT, pasando la roca por la trituradora de quijadas, (Foto 4.3), y luego fue pasado por el molino de rodillos (Foto 4.4), con esto obtuvimos un material mucho mas pequeño, sin embargo todavia faltaba la segunda etapa.

4.1.3. Molienda

Una vez en el Centro Técnico se tomaron las medidas del tambor del molino para calcular el material que se podría triturar en una molienda. Una vez determinada la cantidad, se colocó la zeolita en el horno para secarlo a 100C durante 24 horas. Ya con el material seco, se lo puso en el molino de bolas para empezar el proceso de pulverización. La zeolita estuvo en el molino hasta que alcanzó la finura deseada.

4.2. Caracterización

Para la caracterización de este material se realizaron diversas pruebas segun la norma **ASTM C 311-98b "**Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland - Cement Concrete".

4.2.1. Retenido # 325

La norma ***C430 de la ASTM*** establece el ensayo del retenido en el tamiz #325 como uno de los métodos que determina la finura en base al material retenido en dicho tamiz. En este caso nos dio una lectura de 15%. Con este resultado nos dirigimos a la tabla donde están los requerimientos físicos de la especificación ***C618-01*** para revisar que los valores esten dentro de la norma.

4.2.2. Densidad

Para determinar la densidad del material es necesario realizar las pruebas según el método C128-01 *"Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absortion of Fine Aggregate"*. La densidad se la expresa en la masa de este material por unidad de volumen de partículas de agregado. Para obtener este dato se utilizó el método gravimétrico, dándonos como resultado una densidad de 2423 Kg/m^3

4.2.3. Análisis químico

Para el análisis químico se tomó una muestra del material ya molido y fue enviada al laboratorio de la Cemento Nacional Industrias Rocacem S.A. donde se utilizó la tecnica de espectrometría de rayos X. para analizar la muestra.

Una vez terminada la prueba, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.2.3.1. a continuación.

Industrias Rocacem S. A.			
REPORTE DE ANALISIS			
MUESTRA	**ZEOLITA**	**FECHA**	**11/03/03**
P. Fuego %	10,0		
SiO2 %	63,1		
Al2O3 %	14,3		
Fe2O3 %	5,70		
CaO %	2,40		
MgO %	1,77		
SO3 %	0,01		
K2O %	0,97		
Na2O %	1,31		
Total %	99,4		
Res. Insoluble %	52,0		

Tabla 4.2.3.1 "Análisis químico de la zeolita"

4.2.4. Superficie específica, Blaine ASTM C204-96a

La superficie especifica o Blaine como se la conoce, consiste en la utilización del instrumento blaine para definir la cantidad de aire que pasa por una cama preparada de cemento, donde el tamaño y la cantidad de los poros del material esta en función del tamaño de las partículas, lo que nos permite determinar la cantidad de aire que fluye por la misma según la norma **ASTM C204-96ª.** La superficie específica es el área superficial de todas las partículas de una masa unitaria de cemento determinada por permeametría. Para este ensayo debemos calcula el volumen de vacío de la cama de cemento. Una vez obtenido este valor, se procede a calcular el peso requerido de la muestra, con lo que finalmente se obtuvo una superficie específica de 4840 cm^2/g.

T (seg)	**W** (g)	**(e3*t)1/2**	**e**	**S** (Cm^2/g)
39,6	1,8	2,8551	0,5904	5923
41,4	1,8	2,9107	0,5893	5845
70	1,9	3,6144	0,5715	4859
86,6	1,9	3,9778	0,5674	4977
141	2	4,8551	0,5509	4724
136	2	4,7631	0,5505	4610
370,2	2,15	7,1952	0,5191	4906
629	2,25	8,7887	0,4970	4965
1068	2,351	10,7395	0,4762	5220
			TOTAL	**4840**

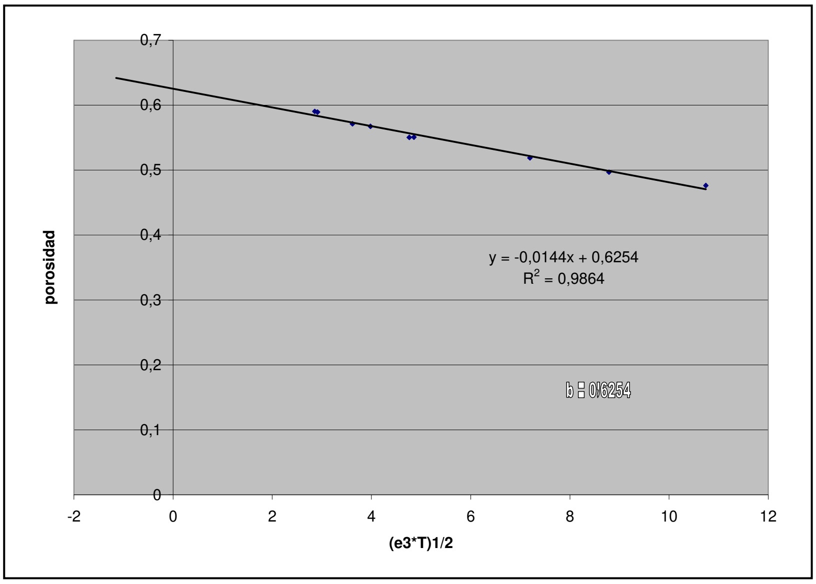
Tabla 4.2.4.2. "Datos para el cálculo de la superficie específica"

4.2.5. Determinación del factor b

Para la determinación de este factor se recomienda tomar no menos de 3 datos en cada muestra del material. Este factor es utilizado para los cálculos de finura en materiales que no sea el cemento portland, y se obtuvo un valor de b= 0,6254. A continuación se mostraran las gráficas y fórmulas para el cálculo de este factor.

W	T	e	(e3*T)1/2
1,8	39,6	0,5904	2,8551
1,8	41,4	0,5893	2,9107
1,9	70	0,5715	3,6144
1,9	86,6	0,5674	3,9778
2	141	0,5509	4,8551
2	136	0,5505	4,7631
2,15	370,2	0,5191	7,1952
2,25	629	0,4970	8,7887
2,351	1068	0,4762	10,7395

Tabla 4.2.5. "Datos para la gráfica del factor b "



4.2.5. "Gráfica para obtener factor b"

4.3. Resistencia a la compresión simple

Las muestras para esta prueba se prepararon de acuerdo a la norma ASTM C109/C109 M-99 *"Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars"*. Para este ensayo existen dos tipos de dosificaciones, para 6 y 9 cubos. En este caso se realizaron mezclas de 9 cubos. Una de las mezclas se la denominó *patrón*, ya que es la que contenía cemento portland, y la otra mezcla se la denominó *muestra* ya que a esta mezcla se le agregó un 20% de zeolita al valor de la masa del patrón.

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento Portland, g	740
Arena, g	2035
Agua, ml	359
Fluidez de 110 + 5	

Tabla 4.3.1 "Dosificación de las mezclas para 9 cubos"

Dosificaciones

Para las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron muestras de 9 cubos cada uno y con estas se obtuvieron los valores de sus resistencias a la compresión a las edades de 1 día, 3, 7, 14, 28, y 90 días respectivamente.

Preparación de la pasta

Ya que tenemos las tablas con las dosificaciones, se debe pesar la cantidad requerida de agua, zeolita, cemento y arena, para proceder a la preparación de la pasta.

Determinación del flujo (mesa)

La primera etapa debe realizarse en 60s, y esta consiste en llenar el cono hasta la mitad y compactarlo 20 veces, luego se llena el cono por completo y se compacta 20 veces más. Una vez que el cono esta lleno se enrasa la parte superior. Al momento de retirar el cono, deben haber pasado los 60s. Ahora se hace girar la palanca de la mesa de flujo 25 veces en 15s. Entonces podemos medir la fluidez, tal como se muestra en la foto, y esta debe medir 110 $\pm$ 5.

Confección de cubos

Tomamos el material de la mesa de flujo para mezclarlo con el resto del mortero durante 15s a una velocidad 285 RPM. Una vez que los moldes han sido engrasados, se los llena hasta la mitad para compactar cada cubo 32 veces. Luego se toman los cubos y se los llenan totalmente, volviendo a compactar cada cubo 32 veces. Una vez compactados se debe enrasar la capa superior y son llevados a la cámara húmeda durante 24 horas. Luego estos cubos son desmoldados y enumerados para guardarlos en las piscinas de agua hasta el tiempo de su rotura.

Curado

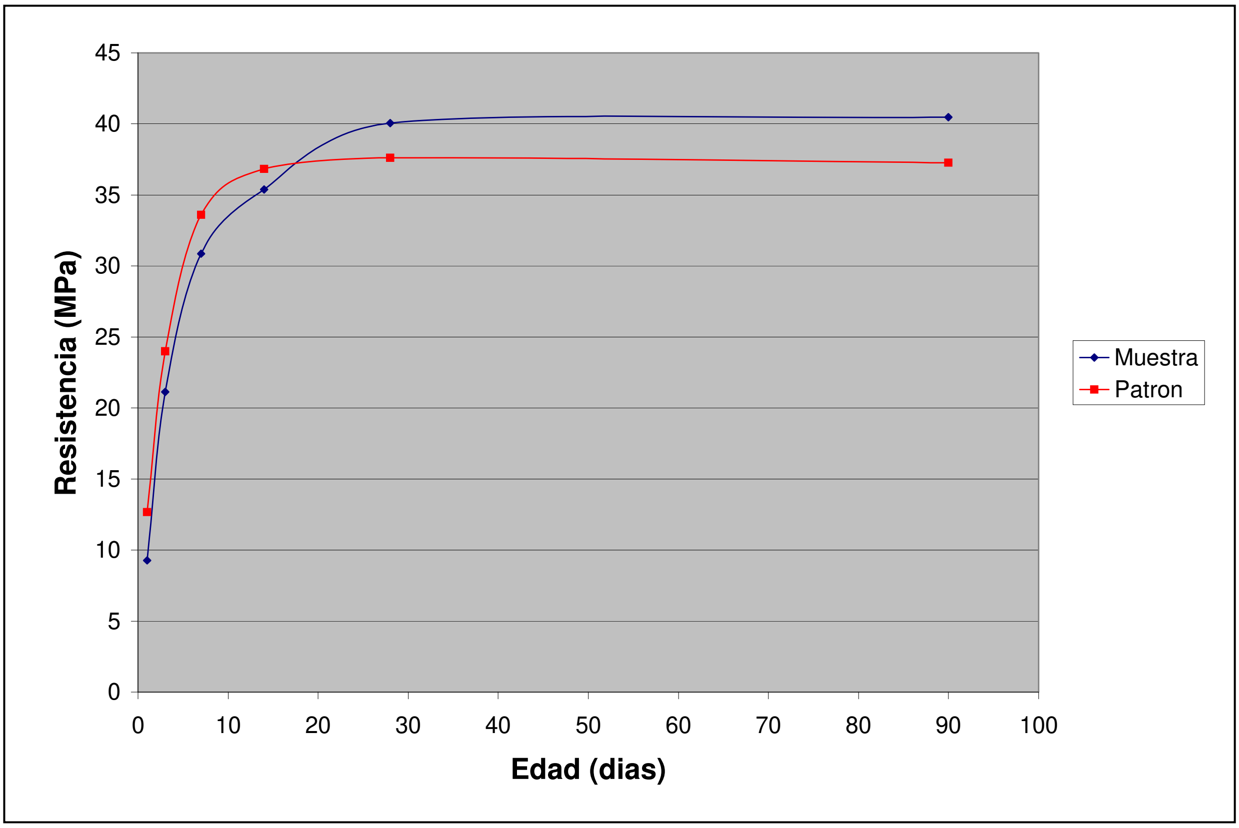
Es importante mencionar que los cubos deben ser desmoldados y colocados en recipientes de metal cubiertos por una toalla húmeda al momento de su rotura para que no pierdan humedad.

Tablas y resultados

Estos cubos fueron sometidos a esfuerzos a la compresión para obtener su resistencia a diferentes edades. Para esto se utilizó la prensa, y con esto se obtuvieron los valores que se muestran a continuación.

T	Resistencias (Mpa)	
(dias)	Muestra	Patron
1	9,26	12,66
3	21,14	23,99
7	30,87	33,6
14	35,38	36,84
28	40,06	37,61
90	40,48	37,27

Tabla 4.3.3. “Resistencias a la compresión simple”



4.3.3. *"Gráfica comparativa de resistencias muestra/patrón"*

4.4. Pruebas de Indice de puzolanidad

Esta prueba se realizó de acuerdo al método de la ***ASTM C109/C109 M-99*** *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.* Para la determinación de este índice se tomaron los resultados de la prueba de compresión simple a las diferentes edades y se obtuvieron los siguientes resultados:

Días Muestra/patrón		Resistencia Mpa	Indice de Puzolanidad %
M	1	9,26	73,15
P	1	12,66	
M	3	21,14	88,12
P	3	23,99	
M	7	30,87	91,86
P	7	33,60	
M	14	35,38	96,03
P	14	36,84	
M	28	40,06	106,50
P	28	37,61	
M	90	40,48	108,61
P	90	37,27	

Tabla 4.4.2 "Indices de puzolanidad"

Como muestra la tabla, podemos ver que esta puzolana tiene los indices de puzolanidad superiores al 72%.

4.5. Contenido de aire atrapado en mortero

- Incorporación de Aire

Utilizando cemento portland para el patrón y cemento portland puzolánico para la muestra, se siguen los requerimientos en la especificación ASTM C150, y se preparan las muestras de acuerdo al método ASTM C185.

La siguiente tabla muestra los resultados del contenido de aire atrapado en mortero

	W Ml	**P** %	**Wa** Kg/m3	**Wc** Kg/m3	**% aire**
Muestra	856,5	58,6	2141	2231,0	7,5
Patrón	854,5	58,6	2136	2245,0	7,7

Tabla 4.5.3. "Porcentajes de contenido de aire en el mortero"

El resultado de la muestra indica que la zeolita no tiene incidencia. Así como el resultado del patrón nos indica que cumple con la norma ASTM para cemento tipo I que debe ser < 12%.

CONCLUSIONES

Al finalizar ésta investigación se ha podido comprobar la eficiencia de la zeolita al ser utilizada como material puzolánico al reemplazar parcialmente al cemento portland empleado en este trabajo.

El principal logro fue la comprobación del índice de actividad puzolánica, que ya el reemplazo del 20% de este material por cemento portland cumple con el requerimiento que establece la especificación ASTM C618-03 a los 7 y 28 días de edad. Las muestras estudiadas superaron el índice de 75% que dicha especificación requiere para el uso de puzolanas naturales en hormigón. Los valores encontrados al usar nuestra puzolana fueron de 91,86% a los 7 días y 106,5% a los 28 días. De la misma manera los resultados obtenidos superan los requerimientos especificados para puzolanas en la elaboración de cementos compuestos según la especificación ASTM C595-03 (Tabla 3). Se pudo comprobar también que el índice de actividad puzolánica se incrementó en las muestras de reemplazo que permanecieron curadas permanentemente; y determinar un incremento del 8% a los 90 días de edad.

Tomando en cuenta las especificaciones de la norma de la ASTM C618-03 para el uso de puzolanas naturales como adición mineral, se pudo comprobar mediante el análisis químico de la zeolita, que este mineral cumple con dicha norma. Ésta norma especifica que el contenido mínimo de la suma de Oxido de Silicio (SiO_2), Oxido de Aluminio (Al_2O_3) y Oxido Férrico (Fe_2O_3) debe ser del 70%, y la zeolita utilizada en los ensayos obtuvo un 83,1%. Asi también, indica que el contenido máximo de Trioxido de Azufre (SO_3) debe ser de 4%, y nuestra zeolita cumple este requerimiento obteniendo un 0,01%. Finalmente otra característica a cumplir debía ser el porcentaje de la pérdida al fuego con un máximo del 10% según la norma, y la zeolita obtuvo un 10% en el análisis, que está dentro del porcentaje permitido.

La trabajabilidad es también una característica importante, y estos morteros con adición de zeolita la tienen. Es importante recordar que debido a que la adición de puzolana retarda la ganancia temprana de resistencia, la fluencia específica de cementos puzolánicos es mayor que la de los Portland. También es sensato pensar que el hecho de que la zeolita es silicea, esto le proporcione mejoras a las características del cemento portland en cuanto a su durabilidad.

Las zeolitas ya han demostrado su idoneidad y competitividad en el campo de la construcción. Por esto es importante ver a éste mineral como algo mas que una simple adición, debemos verlo como un recurso valioso para el desarrollo no solo de las construcciones, sino de otras ramas como en la agricultura, por mencionar una.

Hablar de los costos para aprovechar este recurso es también importante. Por mencionar uno de los rubros más importantes, tenemos el transporte, ya que la puzolana que se utiliza en estos momentos en la planta local, proviene desde Latacunga. Considerando que la fuente de extracción de zeolita estaría más cerca de la fábrica de cemento, ya que los yacimientos se encuentran en el campus La Prosperina de la ESPOL, al utilizar esta zeolita se acortaría la distancia y con esto los costos.

En nuestro país se ha considerado el uso de la zeolita en otras ramas, pero ahora es el momento de canalizar este recurso hacia la rama de la construcción. Actualmente en el Campus La Prosperina, se están realizando trabajos de construcción y excavación debido al proyecto del Parque Tecnológico ESPOL. Aprovechemos estos trabajos y estudios de suelos para la ubicación de yacimientos de zeolita en este campus, y la evaluación detallada de sus reservas. No pasemos por alto este mineral. Este es un valioso recurso, que si bien en nuestra ciudad no ha sido explotado aún, con el correcto aprovechamiento y el empleo racional del mismo, podríamos usar estas reservas y sacarle provecho a este mineral.

BIBLIOGRAFIA

1. Tesis, P. Robalino, "El uso de la zeolita como adición mineral para producir cemento puzolánico" (Tesis, Facultad Ingeniería en Ciencias de la Tierra, ESPOL)
2. Dr Aurelio Mosquera Cedeno, " EL CEMENTO " Historia, Fabricación y Usos
3. Peter C. Hewlett, " LEAS Chemistry of Cement and Concrete " 4th Edition
4. Códigos ASTM
5. Internet, paginas web:

http://www.ich.cl/biblioteca/biblioteca_preg_frec.htm

http://www.asocem.org.pe/mercado_de_cemento.htm

http://www.cbb.cl/man_cem.htm

http://www.ecosur.org/ecosurwebenglish/cp40.htm