EFECTOS DE LA ADICON DE LA ZEOLITA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL DE CEMENTO PÓRTLAND TIPO I

Carlos Oriol Saltos Arteaga [1],Hugo Egüez Alava[2]

[1]Ingeniero Civil,2005, FICT-ESPOL; email: osaltos@espol.edu.ec

[2]Director de Tesis, Ingeniero Geólogo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985, Postgrado EEUU, Universidad Estatal de Virginia del Oeste de EEUU, 1987, Profesor de ESPOL desde 1987, email: hugo.eguez@holcim.com

RESUMEN

La presente investigación nos muestra la posibilidad de la elaboración de un nuevo diseño de hormigón de cemento Pórtland con mejores propiedades que el hormigón tradicional. Este nuevo diseño se lo consigue incorporando a la masa de cemento un porcentaje de una puzolana natural llamada zeolita.

Los porcentajes de zeolita utilizados fueron el 5%, el 10%, el 20 % y el 30%, todos los resultados que se obtuvieron con estos diseños fueron comparados con un diseño denominado Patrón con 0% de zeolita.

Entre las pruebas que se realizaron tenemos las que se presentan en el hormigón fresco y en el hormigón endurecido. Para la del hormigón fresco mencionamos las siguientes:

La Prueba de Revenimiento, el Peso Volumétrico, El contenido de Aire.

En el caso del hormigón endurecido se realizaron las siguientes pruebas :

Velocidad de Ultrasonido, Resistencia a la Compresión Simple, Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral, Modulo Elástico Estático, Densidad, Absorción, Porosidad, y Examinación Petrográfica.

En todas las pruebas se comprobó la eficacia de la zeolita como puzolana lo que presenta una nueva alternativa para la elaboración de cemento puzolánico a menor costo y con excelentes propiedades.

Ing. Hugo Egüez A.

VTO. BUENO
Director de Tesis

SUMMARY

This investigation shows us the possibility of the elaboration of a new design of Portland concrete cement with better characteristics than the traditional one. This new design might be gotten incorporating to the concrete mass a percent of a natural Pozzolan called zeolite.

The percentage of zeolite used were of 5%, 10%, 20% and 30%, all the results obtained with these designs were compared whit a design called patron whit 0% of zeolite.

Among the test done we got those presented in the fresh concrete and in the hard one.

In the case of the fresh concrete we mention the following : The test of shrinking, volumetric weight, the content of air.

In the case of the hard concrete the following test were done : Ultrasound velocity, simple compression of resistance, resistance of the traction of the diametral compression, static elastic module, density, absorption, porosity, and Petrographic examination.

In all the testing it was proved the efficiency of the zeolite as Pozzolan because, it presents a new alternative for the elaboration of pozzolanic cements.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años se ha reconocido que para diversas ramas de la economía, salud y los servicios, las zeolitas naturales han tenido un gran desempeño y han sido de mucha utilidad. Gracias a estudios e investigaciones se ha logrado obtener mas aplicaciones para el uso de este mineral, y son tantos los campos que se pueden beneficiar de éste que es ensato pensar que la zeolita podría convertirse en un gran recurso.

Es un hecho indiscutible que para la rama de la construcción este es un valioso mineral que si bien en nuestro país no ha sido explotado aun con la correcta visión y empleo racional de estas reservas podríamos sacarle provecho a este mineral.

El empleo de minerales con contenido de zeolitas naturales en las mezclas con cal en las construcciones antiguas es conocido, así como el amplio uso que los Romanos hicieron de estos minerales en sus grandes obras construidas en la antigüedad.

Obras como coliseos, acueductos y la extraordinaria Cúpula del Panteón de 42 mts. de luz en la que solo se emplearon los cementos cal – puzolana, sino también la pómez puzolanica como árido ligero con el fin de disminuir las cargas originadas por el peso propio de la estructura. Muchas de éstas construcciones conservadas hoy en admirables condiciones testimonian una de las propiedades fundamentales de este material como lo es la durabilidad.

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 aplicación mineral.

El objetivo de nuestra investigación es precisamente optimizar y desarrollar la aplicación de las zeolitas naturales como un componente básico de las mezclas de hormigones y dar a conocer un recurso nuevo que no ha sido explotado, y se encuentra a la espera de ser reconocido.

II. CONTENIDO

El estudio de la zeolita es de gran interés a nivel industrial debido a que posee diversas propiedades que dan como resultado diferentes aplicaciones. Estas rocas o minerales se utilizan para diversa actividades como la agricultura, control de malos olores, nutrición animal, construcción, entre otros.

1.- Uso de la Zeolita en el Hormigón de Cemento Pórtland

Para esta investigación hemos usado el Cemento Pórtland tipo I, en una dosificación equivalente a 400 Kg/m^3, el mismo que tuvo adición de zeolita en 5%, 10%, 20%, y 30 % con respecto a la masa del cemento, a mas de los agregados finos y gruesos. Después de obtener la dosificación de acuerdo a lo que establece el código C 211, se construyeron los cilindros (testigos), para las pruebas escogidas en ésta investigación.

A los diseños que se les incorporó zeolita, se los comparo con una muestra con 0 % de ésta, denominado modelo Patrón.

2.- Hormigón de Cemento Pórtland.

El hormigón es un material durable y resistente pero dado a que trabaja en su forma fluida prácticamente puede adquirir cualquier forma.

Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores.
El concreto de uso común o convencional se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales se les incorpora un cuarto elemento que genéricamente se designa como aditivo. La mezcla de estos componentes del hormigón convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad, pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir, el comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que el hormigón de Cemento Pórtland endurecido.

2.1.- Materiales Utilizados en el Modelo Patrón.

Los materiales utilizados en el modelo Patrón son básicamente: Cemento Tipo I, Agregados gruesos, Agregados Finos, y Agua. La dosificación utilizada se calculó en el Centro Técnico del Hormigón y será detallada mas adelante.

2.1.1.- Cemento Tipo I

El Cemento Pórtland es un producto que al contacto con el agua pasa por un proceso de fraguado y endurecimiento hasta que alcanza la consistencia de piedra, si se le añade arena y agregados al cemento Pórtland funciona como ligante y se convierte en otro producto, indispensable para la construcción, el Hormigón.

2.1.2.- Agregados Gruesos y Finos

Al menos las ¾ del volumen del hormigón está formada por agregados que inciden en la resistencia, durabilidad, y el desempeño estructural del hormigón.

El agregado es mas barato que el cemento, pero la economía no es la única razón para utilizar agregados, sino su ventaja técnica de brindar estabilidad de volumen y mejor durabilidad al hormigón.

2.2.- Dosificación.

En la muestra patrón la dosificación de los elementos básicos, partiendo de una masa de 400 Kg/m^3 de cemento y un revenimiento de 10 ± 2.5 cm., fue tomada mediante las tablas y conceptos del código 211 y esta dosificación la detallamos en la siguiente tabla.

Tabla I "Dosificación de las mezclas para 1 m^3 de Hormigón"

MATERIALES	CANTIDAD
Piedra # 8	657 Kg. /m^3
Arena de Río	971 Kg. /m^3
Cemento Tipo I	400 Kg. /m^3
Agua	268 Kg. /m^3

2.3.- Adición (Zeolita)

El material que se utilizó como puzolana, en esta caso la zeolita que es una puzolana natural, se combino con el cemento tipo I en diferentes porcentajes adicionado con respecto a la masa del cemento del modelo patrón.

Estos porcentajes de zeolita fueron: 5%, 10%, 20%, y 30%. Las cantidades de cada uno de estos los detallamos a continuación.

Tabla II "Dosificación del Modelo Patrón para 41 litros de Hormigón"

Modelo 0% Zeolita (Patrón)	
MATERIALES	**CANTIDAD**
Piedra # 8	26.94 Kg.
Arena de Río	39.81Kg.
Cemento Tipo I	16.40 Kg.
Agua	9.39 Kg.
Zeolita	0.00 Kg.

Tabla III "Dosificación del Modelo 5 % zeolita para 41 litros de Hormigón"

Modelo 5% Zeolita	
MATERIALES	**CANTIDAD**
Piedra # 8	26.94 Kg.
Arena de Río	39.81Kg.
Cemento Tipo I	16.40 Kg.
Agua	10.90 Kg.
Zeolita	0.82 Kg.

Tabla IV "Dosificación del Modelo 10 % zeolita para 41 litros de Hormigón"

Modelo 10% Zeolita	
MATERIALES	**CANTIDAD**
Piedra # 8	26.94 Kg.
Arena de Río	39.81Kg.
Cemento Tipo I	16.40 Kg.
Agua	11.00 Kg.
Zeolita	1.64 Kg.

Tabla V "Dosificación del Modelo 20 % zeolita para 41 litros de Hormigón"

Modelo 20% Zeolita	
MATERIALES	**CANTIDAD**
Piedra # 8	26.94 Kg.
Arena de Río	39.81Kg.
Cemento Tipo I	16.40 Kg.
Agua	11.00 Kg.
Zeolita	3.28 Kg.

Tabla VI "Dosificación del Modelo 30 % zeolita para 41 litros de Hormigón"

Modelo 30% Zeolita	
MATERIALES	**CANTIDAD**
Piedra # 8	26.94 Kg.
Arena de Río	39.81Kg.
Cemento Tipo I	16.40 Kg.
Agua	13.00 Kg.
Zeolita	4.92 Kg.

3.- Propiedades en el Hormigón Fresco.

El hormigón presenta diferentes propiedades antes y después del fraguado, propiedades que son de gran importancia para su uso y diseño. De estas propiedades que el hormigón en estado fresco presenta anotamos algunas de estas de estas las cuales determinamos y las detallamos a continuación:

3.1.- Revenimiento.

La prueba de revenimiento puede ser muy útil como una indicadora de la consistencia y en ciertas mezclas también la trabajabilidad. Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma ASTM - C 143 – 00 y sus resultados fueron:

Modelo Patrón (0 % de zeolita) *Revenimiento 10 cm.*
Modelo 5 % de zeolita *Revenimiento 10 cm.*
Modelo 10 % de zeolita *Revenimiento 10 cm.*
Modelo 20 % de zeolita *Revenimiento 10 cm.*
Modelo 30 % de zeolita *Revenimiento 10 cm.*

3.2.- Peso Volumétrico.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma ASTM – C 138 – 01a. Este método nos ayuda a calcular la densidad del hormigón fresco y dar a conocer las fórmulas para el cálculo de el rendimiento del hormigón y su contenido de aire. El rendimiento es conocido como el volumen de hormigón producido de una mezcla de cantidades y materiales conocidos.

Los resultados para cada % de zeolita los detallamos en la siguiente tabla.

Tabla VII "Valores de Peso Volumétrico para cada % de zeolita"

PESO VOLUMÉTRICO	
% de Zeolita	**Peso Volumétrico Kg./m3**
0%	2284
5%	2270
10%	2258
20%	2253
30%	2249

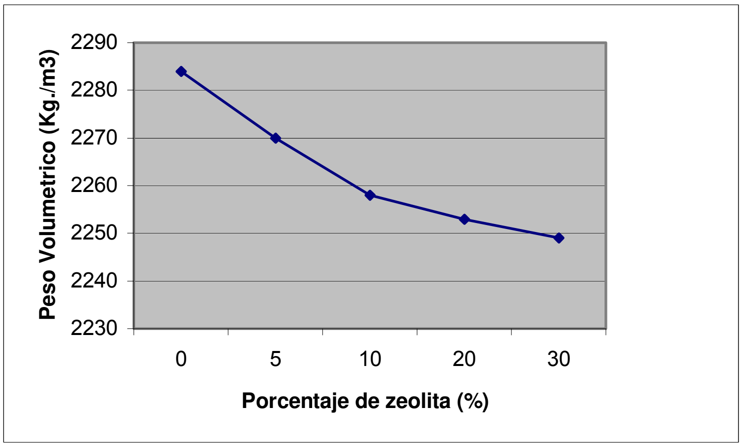

Figura 1 "Peso Volumétrico a Diferentes % de zeolita"

3.3.- Contenido de Aire.

Se determino el contenido de aire del hormigón fresco por el método de presión, según lo establece la norma ASTM – C 231 – 97, aquí se cuantifica la cantidad de aire a partir de la variación del volumen del hormigón por la aplicación de una presión conocida.

Los resultados para cada % de zeolita son:

Tabla VIII "Valores de Contenido de Aire para cada % de zeolita"

CONTENIDO DE AIRE	
% de Zeolita	**Contenido de Aire %**
0%	2.7
5%	2.5
10%	2.5
20%	1.5
30%	1.7

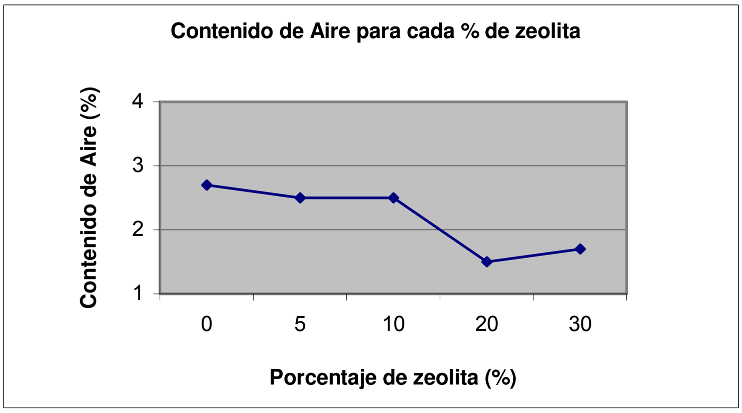

Figura 2 "Contenido de Aire a Diferentes % de zeolita"

4.- Propiedades en el Hormigón Endurecido.

Una vez que culmina el proceso de fraguado del hormigón fresco, aparece al hormigón endurecido el mismo que posee propiedades importantes, algunas de las cuales fueron estudiadas y nombramos a continuación.

4.1.- Velocidad de Ultrasonido

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma ASTM – C 597 – 97, para la cual se utilizó un cilindro pequeño y se determino la velocidad de ultrasonido a través del mismo.

Una de las aplicaciones del ultrasonido es que actúa como indicador del deterioro del hormigón, la disminución de la velocidad e vibración indica un modulo elástico bajo y por lo tanto un deterioro del concreto.

Acontinuación detallamos en las siguiente tabla los resultados de esta prueba.

Tabla IX "Valores de Velocidad de Ultrasonido para cada edad y cada % de zeolita"

% de Zeolita	VELOCIDAD DE ULTRASONIDO m/s			
	7 días	14 días	28 días	90 días
0%	4090	4130	4140	4175
5%	4025	4115	4103	4115
10%	4020	4090	4190	4240
20%	3870	3975	4000	4055
30%	3760	3925	3990	4035

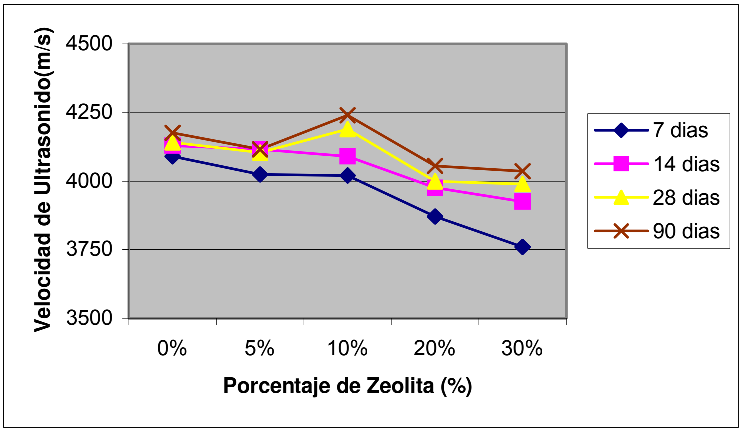

Figura 3 "Velocidad de Ultrasonido para cada edad y cada % de zeolita "

4.2.- Resistencia.

La resistencia es considerada una de las pruebas mas importantes debido a que todo tipo de ensayos y adiciones que se le realiza al hormigón, tiene como objetivo alcanzar mejores valores de resistencia en el mismo.

4.2.1.- Resistencia a la Compresión Simple

Las muestras en esta prueba y su desarrollo se preparan de acuerdo a la norma ASTM – C 39 – 01. Los resultados los detallamos a continuación.

Tabla X "Valores de Resistencia a la Compresión Simple"

EDAD (días)	RESISTENCIA (Mpa)				
	0%	5%	10%	20%	30%
7	29.2	29.5	34.7	30.3	26.8
14	33.6	35.1	37.4	33.3	30.2
28	36.3	36.5	39.3	38.1	37.7
90	39.7	39.8	43.8	42.3	38.8

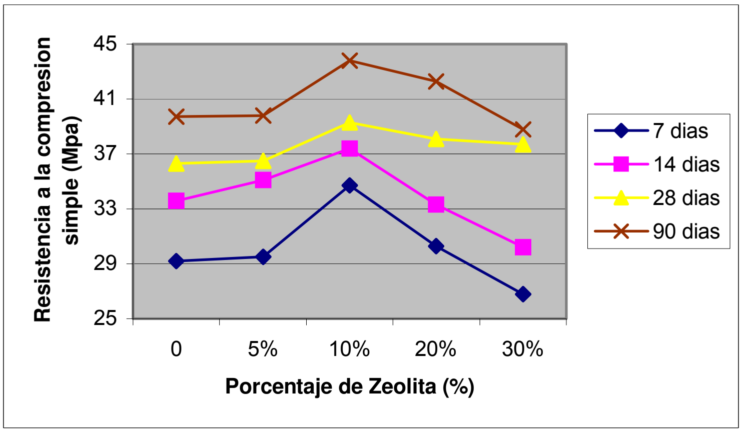

Figura 4 "Resistencia a la Compresión Simple para cada edad y cada % de zeolita"

4.2.2.- Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.

Para estas pruebas las muestran se preparan de acuerdo a la norma ASTM – C 496 – 96 y los resultados de estas se detallan a continuación.

Tabla XI "Valores de Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral"

EDAD (días)	RESISTENCIA (Mpa)				
	0%	**5%**	**10%**	**20%**	**30%**
7	3.20	3.37	3.66	3.38	2.94
14	3.69	3.71	4.21	3.19	3.05
28	3.16	3.22	4.10	3.23	3.15
90	3.13	3.60	4.25	3.28	3.19

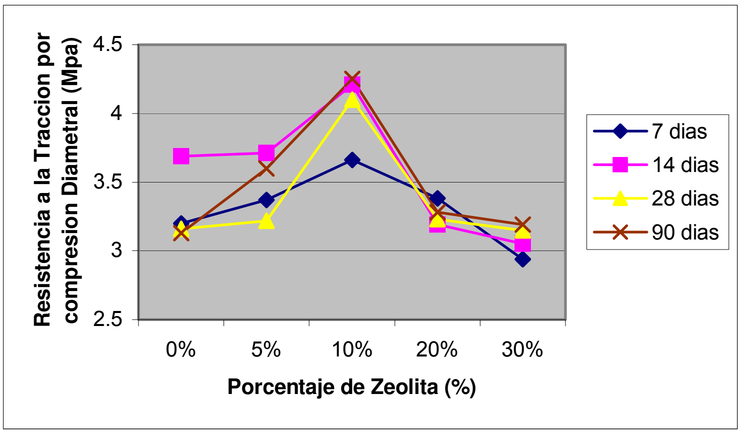

Figura 5 "Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral para cada edad y cada % de zeolita"

4.3.- Modulo de Elasticidad.

Esta prueba se trabaja de acuerdo a la norma ASTM – C 469 - $94^{\varepsilon 1}$, se lo define como la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del intervalo elástico de una curva esfuerzo deformación unitaria para el hormigón. Los valores de Módulo elástico estático para cada dosificación se detallan en la siguiente tabla.

Tabla XII "Valores de Módulo Elástico Estático "

% de Zeolita	Modulo Elástico Estático (GPa)
0%	22.60
5%	24.40
10%	25.40
20%	22.00
30%	21.10

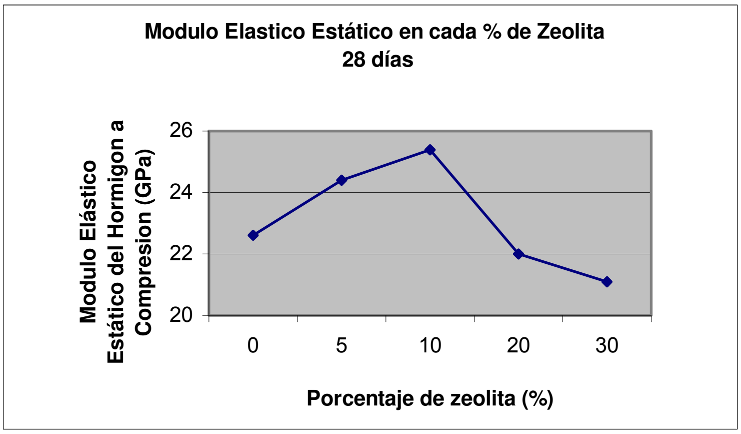

Figura 6 "Módulo Elástico Estático del Hormigón a Compresión a los 28 días en cada % de zeolita"

4.4.- Densidad, Absorción y Porosidad.

Las especificaciones para esta prueba se preparan de acuerdo a la norma ASTM – C 642 – 97, a los 28 días y los resultados los detallamos en las siguientes tablas.

Tabla XIII "% de Absorción después de la Inmersión en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	% de Absorción después de la Inmersión		
	cilindro 1	cilindro2	Promedio %
0%	8.20	8.18	8.19
5%	9.00	8.50	8.75
10%	7.02	7.23	7.13
20%	10.70	10.67	10.69
30%	11.63	11.37	11.50

Tabla XIV "% de Absorción después de la Inmersión y Hervido en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	% de Absorción después de la Inmersión y Hervido		
	cilindro 1	cilindro2	Promedio %
0%	7.98	7.95	7.97
5%	7.84	7.86	7.85
10%	6.86	7.04	6.95
20%	9.00	8.70	8.85
30%	9.09	8.72	8.91

Tabla XV "Densidad de Volumen seco en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	Densidad de Volumen Seco (Mg/m^3)		
	cilindro 1	cilindro2	Promedio
0%	2.10	2.10	2.10
5%	2.03	2.11	2.07
10%	2.14	2.14	2.14
20%	2.03	2.05	2.04
30%	2.06	2.08	2.07

Tabla XVI "Densidad de Volumen después de la Inmersión en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	Densidad de Volumen después de la Inmersión (Mg/m^3)		
	cilindro 1	cilindro2	Promedio
0%	2.27	2.27	2.27
5%	2.26	2.30	2.28
10%	2.27	2.31	2.29
20%	2.26	2.26	2.26
30%	2.25	2.25	2.25

Tabla XVII "Densidad de Volumen después de la Inmersión y hervido en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	Densidad de Volumen después de la Inmersión y hervido (Mg/m^3)		
	cilindro 1	**cilindro2**	**Promedio**
0%	2.27	2.27	2.27
5%	2.26	2.28	2.27
10%	2.27	2.31	2.29
20%	2.26	2.26	2.26
30%	2.25	2.25	2.25

Tabla XVIII "Densidad Aparente en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	Densidad Aparente (Mg/m^3)		
	cilindro 1	**cilindro2**	**Promedio**
0%	2.53	2.52	2.53
5%	2.59	2.59	2.59
10%	2.51	2.52	2.52
20%	2.61	2.60	2.61
30%	2.54	2.54	2.54

Tabla XIX "Volumen de Espacios de poros Permeables en cada % de zeolita "

Porcentaje Zeolita	Volumen de Espacios de poros Permeables (%)		
	cilindro 1	**cilindro2**	**Promedio %**
0%	16.78	16.71	16.75
5%	16.35	16.57	16.46
10%	14.69	15.08	14.89
20%	17.50	17.10	17.30
30%	18.77	18.12	18.45

4.5.- Examinación Petrográfica.

Para esta prueba las especificaciones se preparan de acuerdo a la norma ASTM – C 856 – 95. en este ensayo se escogieron dos porcentajes de zeolita, el modelo patrón (0%) y el modelo de 30% se llevaron al laboratorio donde se obtuvieron láminas petrográficas. Al observar las láminas al microscopio se determino que la muestra patrón presenta vacíos entre los agregados y contacto entre estos, por lo contrario en la muestra con 30% de zeolita los espacios vacíos se reducen notablemente y desaparece casi por completo el contacto entre los agregados. Acontinuación mostramos dos fotos de las láminas.

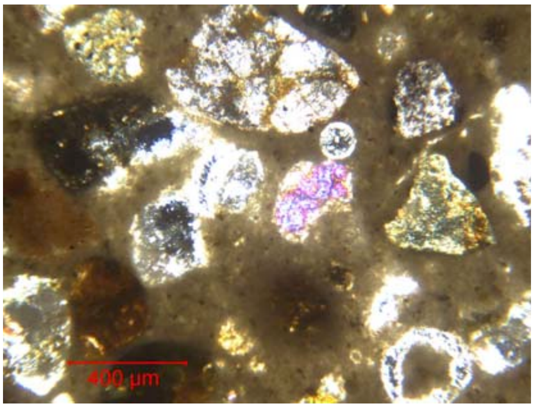

Figura 7 “Corte de la Muestra Patrón existe presencia de vacíos y contacto entre agregados”

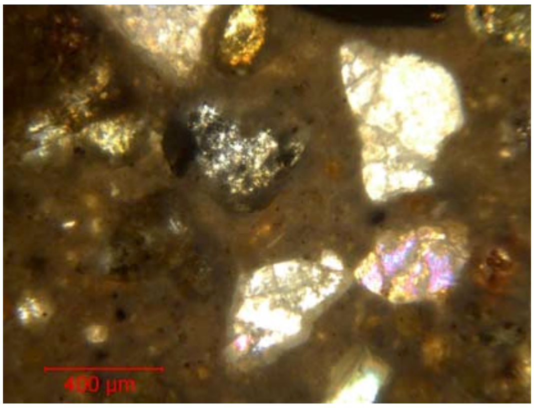

Figura 8 “Corte de la Muestra 30% de zeolita, disminuye la presencia de vacíos y el contacto de los agregados”

III. CONCLUSIONES

Al finalizar esta investigación se ha podido comprobar la eficiencia de la zeolita al ser utilizada como material puzolánico cuando se le adiciona porcentualmente al cemento Pórtland empleado en este trabajo.

Entre los logros y objetivos esta el aumento de la resistencia donde se observo que en las muestras con 10% de zeolita hubo un aumento de la misma, tanto el la Compresión Simple como el Tracción por Compresión Diametral, mejorando después delos 28 días.

En la prueba de contenido de aire se presento una reducción del aire en el hormigón a medida que aumentaba el porcentaje de zeolita. La velocidad de ultrasonido alcanzo su máximo valor cuando se adiciono al hormigón un 10% de zeolita.

De igual forma el módulo elástico del hormigón a compresión, experimento un aumento, el cual fue mayor en el diseño de 10% de zeolita. Las pruebas de densidad, absorción y porosidad, presentaron sus mejores valores en el diseño del 10% de zeolita .

La prueba de Examinación petrográfica nos muestra como el diseño de 30% de zeolita presenta menos vacíos en su composición, así como ningún contacto entre los agregados que componen al hormigón, comparado con el diseño patrón.

Como podemos notar la zeolita ayuda a mejorar las características del hormigón en muchos aspectos según todos los ensayos realizados, notamos que el diseño con 10% de zeolita fue el que supero los otros diseños, incluyendo el modelo patrón. Con esto podemos mencionar que el cemento Pórtland con 10% de zeolita respecto a su masa, constituye un buen Cemento Puzolánico.

REFERENCIAS

1. Saltos A. Carlos "Efectos de la Zeolita en las Propiedades Mecánicas de un Hormigón convencional de Cemento Pórtland Tipo I" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral,2005)

2. Peter C. Hewlett, "LEAS Chemistry of Cement and Concrete" 4th Edition

3. Código ASTM C 231 – 97 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete, both in the laboratory and in the field.

4. Código ASTM C 39 – 01 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

5. Código ASTM C 138M – 01a Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (gravimetric) of Concrete.

6. Código ASTM C 642 – 97 Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete.

.

7. Código ASTM C 597 – 97 Standard Test Method for Pulse Velocity Trough Concrete.

8. Código ASTM C 469 – 94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

9. Código ASTM C 143M – 00 Standard Test Method for Slump of hydraulic – cement Concrete.

10. Código ASTM C 496 – 96 Standard Test Method for Splitting Tensile of Cylindrical Concrete Specimens.

11 Código ASTM C 856 – 95 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete.

12. Egüez A. Hugo Centro Técnico del Hormigón "Monografías de Agregado para Hormigón" n.008 Año 1995.