

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Efectos de la Adición de Zeolita en las Propiedades Mecánicas de  
un Hormigón Convencional de Cemento Pórtland Tipo I

TESIS DE GRADO  
Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Carlos Oriol Saltos Arteaga

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año : 2005**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de ésta Tesis de Grado , le corresponde exclusivamente al autor; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



---

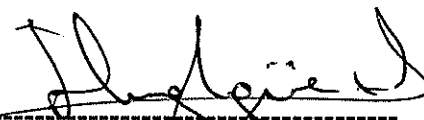
Carlos Oriol Saltos Arteaga

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



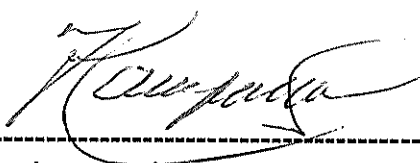
---

Ing. Julio Rodríguez Ríos  
Presidente



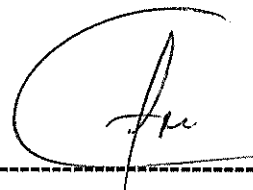
---

Ing. Hugo Egúez Alava  
Director de Tesis



---

Ing. José Camposano L.  
Miembro del Tribunal



---

Ing. Fernando Morante  
Miembro del Tribunal

## AGRADECIMIENTO

**Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de estos años , por su esfuerzo, sus consejos y entrega. A mi esposa por su amor, por impulsar en mi deseo de ser mejor cada día, y estar en los momentos difíciles ayudándome a salir adelante.**

**A mis hermanos por su ayuda en todo momento que lo requerí. A mi tía Amparo por haberme acogido y apoyado en conseguir mi meta. A mis maestros por compartir su conocimiento. A mi director de Tesis, Ingeniero Hugo Egüez, por su apoyo y paciencia. Y a Dios por darme fuerza y permitir que estas personas que aparecieron en mi camino me ayudaran y yo haya aprendido un poco de ellas, mucha gracias.**

## **DEDICATORIA**

**A mi esposa por su amor incondicional, cariño y comprensión, a mi hijo por ser la razón que me da la fuerza para alcanzar mis propósitos, a mis padres por su apoyo en todo momento y los esfuerzos realizados para que pueda alcanzar este objetivo. A todos ellos por ser parte de mi vida y dejarme ser parte de la suya.**





## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESÚMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	V
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	VI
<b>CAPITULO 1</b>	
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos.....	2
<b>CAPITULO 2</b>	
2.- ADICIONES PUZOLANICAS NATURALES.....	4
2.1 Concepto de Puzolanas.....	4
2.2 Efectos de la Puzolana en el Hormigón.....	4
2.3 La Zeolita como Puzolana Natural.....	12
2.3.1 Puzolanas Artificiales.....	12
2.3.2 Puzolanas Naturales.....	13
2.3.3 Diferentes usos de la Zeolita.....	14



## 2.3.4 Uso de Zeolita en el Hormigón de Cemento Pórtland Tipo I.....17

## CAPITULO 3

## 3.- CARACTERIZACIÓN DE LA ZEOLITA.....19

3.1 Finura Retenido tamiz # 325 ASTM.....19

3.2 Finura Blaine (Superficies Específicas).....20

3.3 Densidad.....27

3.4 Composición Química.....29

## CAPITULO 4

## 4.- HORMIGÓN DE CEMENTO PÓRTLAND.....31

4.1 Definición.....31

4.2 Generalidades.....32

4.3 Hidratación del Cemento Pórtland.....34

4.4 Cinética y Mecánica del Proceso de Hidratación.....35

4.5 Materiales Utilizados en el Modelo Patrón.....37

4.5.1 Cemento Tipo I.....37

4.5.2 Agregados Finos y Gruesos.....38

4.6 Dosificación.....41

4.7 Adición (Zeolita).....42

## CAPITULO 5

## 5.- PROPIEDADES EN EL HORMIGÓN FRESCO.....45

5.1 Revenimiento (ASTM C 134M – 00).....45

5.2 Peso Volumétrico(ASTM C 138M – 01a).....47

5.3 Contenido de Aire (ASTM C 231 - 97).....	51
--	----

## CAPITULO 6

6.- PROPIEDADES EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	55
6.1 Velocidad Ultrasónica (ASTM C 597-97).....	55
6.2 Resistencia.....	64
6.2.1 Compresión Simple (ASTM C39 - 01).....	65
6.2.2 Tracción por Compresión Diametral (ASTM C 496 - 96).....	72
6.3 Modulo de Elasticidad (ASTM C 469 - 94 <sup>ε1</sup> ).....	77
6.4 Densidad, Absorción y Porosidad (ASTM C 642 - 97).....	81
6.5 Examinación Petrográfica (ASTM C 856 - 95).....	91
6.6 Análisis de Resultados.....	93

## CAPITULO 7

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
7.1 Conclusiones.....	96
7.2 Recomendaciones.....	98

## ANEXOS.

## BIBLIOGRAFÍA.

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.2.1	Proporción de mezclas de Concreto.....8
Tabla 2.2.2	Esfuerzo a la Compresión del Concreto.....8
Tabla 2.2.3	Retracción del Concreto de Cenizas Volantes.....9
Tabla 3.2.1	Resultados de Prueba Blaine.....24
Tabla 3.2.2	Datos para el cálculo de Superficie Específica.....27
Tabla 3.4.1	Análisis Químico de la Zeolita.....30
Tabla 4.5.2.1	Gravedad Específica Aparente para diferentes rocas.....40
Tabla 4.6.1	Dosificación de Mezcla para 1 m <sup>3</sup> de Hormigón.....41
Tabla 4.7.1	Dosificación de Modelo Patrón para 41 Litros de Hormigón....42
Tabla 4.7.2	Dosificación de Modelo de 5% de Zeolita.....43
Tabla 4.7.3	Dosificación de Modelo de 10% de Zeolita.....43
Tabla 4.7.4	Dosificación de Modelo de 20% de Zeolita.....44
Tabla 4.7.5	Dosificación de Modelo de 30% de Zeolita.....44
Tabla 5.2.1	Peso Volumétrico del Hormigón Modelo Patrón.....49
Tabla 5.2.2	Peso Volumétrico del Hormigón Modelo 5 % Zeolita.....49
Tabla 5.2.3	Peso Volumétrico del Hormigón Modelo 10 % Zeolita.....50
Tabla 5.2.4	Peso Volumétrico del Hormigón Modelo 20 % Zeolita.....50
Tabla 5.2.5	Peso Volumétrico del Hormigón Modelo 30 % Zeolita.....50
Tabla 5.2.6	Peso Volumétrico del Hormigón en todos los % Zeolita.....50
Tabla 5.3.1	Contenido de Aire en cada % de Zeolita.....53
Tabla 6.1.1	Velocidad de Ultrasonido y Tiempo en Modelo Patrón.....58
Tabla 6.1.2	Velocidad de Ultrasonido y Tiempo en Modelo 5% zeolita.....58
Tabla 6.1.3	Velocidad de Ultrasonido y Tiempo en Modelo 10% zeolita....59
Tabla 6.1.4	Velocidad de Ultrasonido y Tiempo en Modelo 20% zeolita....59
Tabla 6.1.5	Velocidad de Ultrasonido y Tiempo en Modelo 30% zeolita....60
Tabla 6.1.6	Velocidad de Ultrasonido a los 7 días en cada % de zeolita....60
Tabla 6.1.7	Velocidad de Ultrasonido a los 14 días en cada % de zeolita..61
Tabla 6.1.8	Velocidad de Ultrasonido a los 28 días en cada % de zeolita..62
Tabla 6.1.9	Velocidad de Ultrasonido a los 90 días en cada % de zeolita..63
Tabla 6.2.1.1	Resistencia a la Compresión Simple.....69
Tabla 6.2.2.1	Resistencia a la ración por Compresión Diametral.....74
Tabla 6.3.1	Módulo Elástico del Hormigón para cada % de zeolita.....80

	Pág.
Tabla 6.4.1 Absorción después de la Inmersión.....	85
Tabla 6.4.2 Absorción después de la Inmersión y Hervido.....	85
Tabla 6.4.3 Densidad de Volumen Seco.....	86
Tabla 6.4.4 Densidad de Volumen Seco después de Inmersión.....	86
Tabla 6.4.5 Densidad Volumen Seco después de Inmersión y Hervido....	86
Tabla 6.4.6 Densidad Aparente.....	87
Tabla 6.4.7 Volumen de Espacios de Poros Permeables.....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 2.2.1 Calor de hidratación de algunos cementos puzolánicos.....	6
Grafica 2.2.2 Calor Total de las mezclas de cemento durante la Hidratación.....	6
Grafica 2.2.3 Influencia del Esfuerzo a la compresión del concreto a la profundidad carbonatada final esperada.....	11
Gráfica 5.2.1 Peso Volumétrico en cada % de zeolita.....	51
Gráfica 5.3.1 Contenido de Aire en cada % de zeolita.....	54
Gráfica 6.1.1 Velocidad de Ultrasonido a los 7 días.....	61
Gráfica 6.1.2 Velocidad de Ultrasonido a los 14 días.....	62
Gráfica 6.1.3 Velocidad de Ultrasonido a los 28 días.....	63
Gráfica 6.1.4 Velocidad de Ultrasonido a los 90 días.....	64
Gráfica 6.2.1.1 Resistencia a la Compresión Simple 7 días.....	70
Gráfica 6.2.1.2 Resistencia a la Compresión Simple 14 días.....	70
Gráfica 6.2.1.3 Resistencia a la Compresión Simple 28 días.....	71
Gráfica 6.2.1.4 Resistencia a la Compresión Simple 90 días.....	71
Gráfica 6.2.2.1 Resistencia a Tracción por Compresión Diametral 7 días....	75
Gráfica 6.2.2.2 Resistencia a Tracción por Compresión Diametral 14 días..	75
Gráfica 6.2.2.3 Resistencia a Tracción por Compresión Diametral 28 días..	76
Gráfica 6.2.2.4 Resistencia a Tracción por Compresión Diametral 90 días..	76
Gráfica 6.3.1 Modulo Elástico para cada % de zeolita.....	81
Gráfica 6.4.1 Porcentaje de Absorción después de Inmersión.....	88
Gráfica 6.4.2 Densidad de Volumen Seco.....	88
Gráfica 6.4.3 Porcentaje de Absorción después de Inmersión y Hervido. .	89
Gráfica 6.4.4 Densidad de Volumen Seco después de Inmersión.....	89
Gráfica 6.4.5 Densidad de V. Seco después de Inmersión y Hervido.....	90
Gráfica 6.4.6 Densidad Aparente.....	90
Gráfica 6.4.7 Volumen de espacios de Poros Permeables.....	91

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Foto 2.3.4.1 Zeolita en polvo procesada.....	18
Foto 5.1.1 Prueba de Revenimiento del Hormigón.....	46
Foto 5.2.1 Olla de Washington para prueba de Peso Volumétrico.....	48
Foto 5.3.1 Olla de Washington para prueba de Contenido de Aire.....	52
Foto 6.1.1 Prueba de Velocidad de Ultrasonido en cilindros.....	57
Foto 6.2.1.1 Materiales utilizados en el diseño de Hormigón.....	66
Foto 6.2.1.2 Preparación del hormigón con sus agregados.....	67
Foto 6.2.1.3 Construcción de Cilindros según la Norma respectiva.....	67
Foto 6.2.1.4 Cámara Húmeda.....	68
Foto 6.2.1.5 Rotura de Cilindro a Compresión Simple.....	68
Foto 6.2.1.6 Estado de Cilindros después de prueba de compresión.....	69
Foto 6.2.2.1 Grupo de Cilindros 1 día después de su elaboración.....	72
Foto 6.2.2.2 Cilindro listo para prueba de Tracción por compresión Diametral.....	73
Foto 6.2.2.3 Estado de cilindro después de prueba de Tracción por Compresión Diametral.....	74
Foto 6.3.1 Cilindro de 15 x 30 colocado en el deformímetro.....	78
Foto 6.4.1 Cilindro colocado en balanza de precisión para ser pesado....	82
Foto 6.4.2 Cilindro colocado en balanza de Humboldt para ser pesado....	83
Foto 6.4.3 Cilindro colocado en balanza de Humboldt para ser pesado....	83
Foto 6.4.4 Proceso de Hervido de Cilindros.....	83
Foto 6.4.5 Horno Industrial para secado de cilindros.....	84
Foto 6.5.1 Petrografía muestra Patrón.....	92
Foto 6.5.2 Petrografía muestra con 30 % de zeolita.....	93

## RESÚMEN

El presente trabajo analiza el desempeño de la adición de zeolita en un hormigón de Cemento Pórtland tipo I con una dosificación de cemento equivalente a 400 Kg/m<sup>3</sup>.

En su primera parte se revisan todos los conceptos básicos acerca de la Zeolita, y se dan a conocer las características principales de los materiales utilizados en las pruebas realizadas dentro de esta investigación.

Se realizaron adiciones de Zeolita en diferentes porcentajes con respecto al peso del cemento ( 5%, 10%, 20%, 30% )en el diseño patrón de hormigón elaborado en cemento INEM I que fue elegido con una dosificación equivalente a 400 Kg/m<sup>3</sup>.

Para observar el comportamiento mecánico del hormigón con adiciones de zeolita se evaluaron algunas de sus propiedades como son:

Contenido de aire en Hormigón fresco, Densidad, Rendimiento y Contenido de Aire, Densidad, Absorción y Vacíos, Velocidad Ultrasónica, Resistencia a la Compresión Simple, Tracción por Compresión Diametral, Modulo Elástico Estático del Hormigón a Compresión, y Examinación Petrográfica. Considerando en cada caso los porcentajes de adición antes mencionados.

Como resultado se determino que la mezcla con el 10 % de Zeolita utilizada como adición, presento los mejores resultados de trabajabilidad y resistencia mecánica.





## **CAPITULO 1.**

### **1.- INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

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

Es un hecho también indiscutible que para la rama de la construcción este es un valioso recurso, que si bien en nuestro país no ha sido explotado aún, 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 empleo 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 m. de luz, en el que no solo se emplearon los cementos cal-puzolana, sino también la pómez puzolánica como árido ligero con el fin de disminuir las cargas originadas por el peso propio de la estructura. Muchas de estas construcciones conservadas hoy en admirables condiciones testimonian una de las propiedades fundamentales de este material como lo es la durabilidad.

## **1.2 Objetivos**

En la actualidad gracias a la moderna tecnología del hormigón se ha podido estudiar más a fondo las aplicaciones de las zeolitas naturales como una aplicación 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.

Utilizar un material inorgánico como lo es la zeolita, e incorporarla al hormigón permitirá evaluar los beneficios que importe a este material y se podrá probar su potencial uso en la elaboración de cemento puzolánico.

Estas adiciones incorporadas al cemento se las realiza con el fin de mejorar sus propiedades, obteniendo un producto resistente, durable y económico.

El objetivo, entonces no es solo mostrar un nuevo mineral para producir este material de la construcción y las ventajas que ofrece tanto técnicamente como económicamente, sino mostrar un recurso nuevo que no ha sido explotado, y se encuentra a la espera de ser reconocido.

## **CAPITULO 2.**

### **2.- ADICIONES PUZOLANICAS NATURALES**

#### **2.1. Concepto de Puzolanas**

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

#### **2.2 Efectos de la Puzolana en el Hormigón**

El termino puzolana tiene dos significados; el primero indica la roca piroclástica de estructura vítrea y algunas veces zeolítica.

El segundo significado incluye todos los materiales inorgánicos, naturales o artificiales, los cuales se endurecen en agua cuando se mezclan con hidróxido de calcio (Cal) o con materiales que pueden liberar hidróxido de calcio.

En países como Ecuador el interés en estos materiales tiene relativamente poco tiempo y surge la necesidad de utilizar materiales existentes, pocos conocidos, como la zeolita.

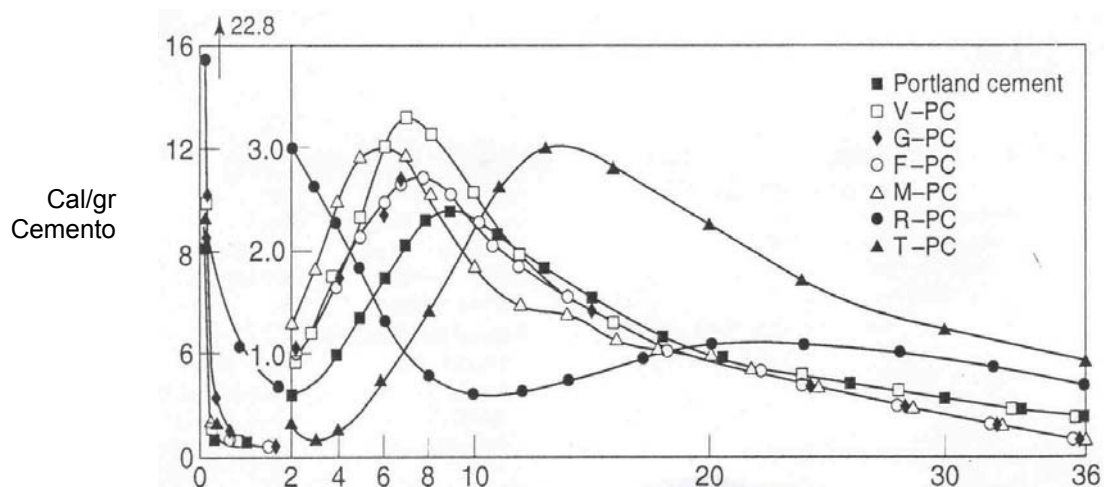
La historia cuenta del uso milenario de morteros cal-puzolana y de casi 100 años de experiencia de cementos puzolánicos que confirman que se puede producir concretos de alta resistencia y durabilidad ante el ataque de agentes agresivos.

Establecer una clasificación precisa de puzolana resulta difícil y es por esto que son descritas solamente por la propiedad general de reaccionar y endurecer cuando se mezcla con cal y agua. La clasificación mas comúnmente aceptada es la de material natural o artificial.

La puzolana es un material que trabaja en adición al cemento, proporcionando propiedades físicas y químicas ventajosas para los cementos tales como mayor resistencia a mayor edad, menor calor de hidratación, durabilidad, entre otras. A continuación se explicara mas a fondo, cada una de estas propiedades.

#### - **Calor de Hidratación**

La cinética de hidratación de un clinker Pórtland mas yeso, es modificada por la presencia de puzolana, mientras se conoce que el calor de hidratación de un cemento puzolánico a los 28 o 7 días es inferior a la de un Pórtland puro (clinker mas yeso), la generación del calor durante las primeras horas es acelerada y superior a la de este en la presencia de puzolana, las gráficas se muestran a continuación.



Tiempo (h)

Gráfico 2.2.1 "curvas de calor de la Hidratación de algunos cementos puzolánicos w/s =0.4 temperatura =20C (R-1)

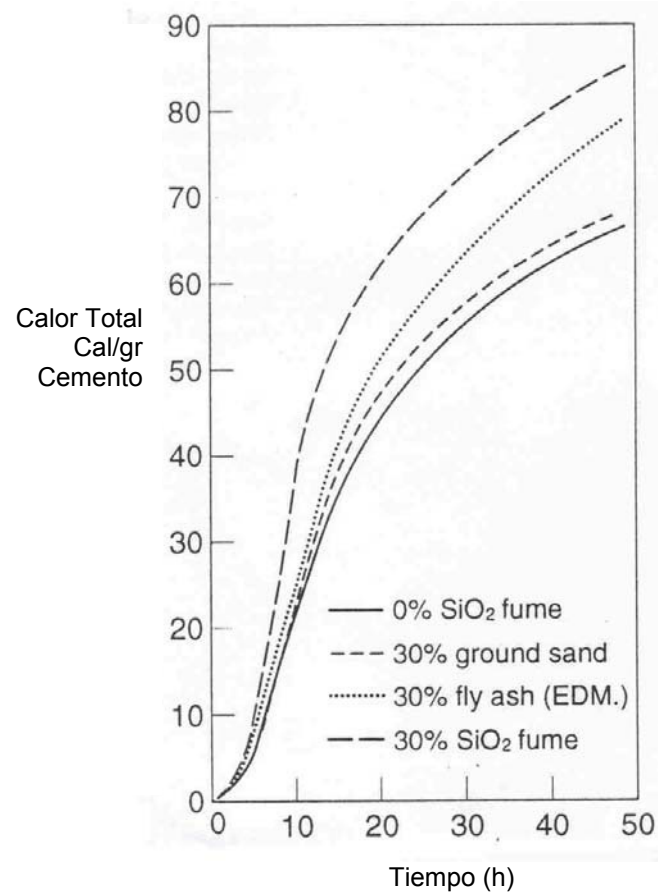


Gráfico 2.2.2 "Calor total de varias mezclas de cementos durante la hidratación. Calor referido de la fracción de cemento Pórtland (R-1)

- Fraguado



El fraguado de cementos que contiene puzolanas no difiere de los valores típicos encontrados en los cementos Pórtland, 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 la adición de puzolanas retarda la ganancia temprana de resistencias es de esperar que la fluencia específica de cementos puzolánicos sea mayor que la de los Pórtland si el hormigón ha sido cargado tempranamente; esta condición puede tener un efecto positivo ya que permitirá el asentamiento de estructuras masivas antes que el hormigón se vuelva rígido.

- **Resistencia**

El desarrollo de la resistencia en hormigones que contienen puzolanas tiene como regla general el incremento de las resistencia finales comparadas con las de los cementos Pórtland puros.

A continuación se presentan características de varias mezclas de hormigón en las tablas 2.2.1 y 2.2.2

Serie No	Agua	Cemento	Ceniza Volante	Arena < 4mm	Grava > 4mm
0	163	181	0	736	1280
1	154	167	146	570	1322
2	154	125	146	604	1331
3	154	107	146	619	1334
4	154	94	146	633	1333
5	154	83	146	644	1333

*Tabla 2.2.1 "Proporciones de mezcla de concreto (Kg./m<sup>3</sup>)"(R-2)*

Serie No	Esfuerzo a la compresión (Mpa) después de:					
	Tiempo en semanas					
	2	4	16	181	362	R 362/R4
0	13.4	14.8	20.8	23.8	26.3	1.8
1	19.0	25.4	39.4	55.1	56.1	2.2
2	12.0	17.1	29.2	46.4	45.9	2.7
3	8.8	13.4	25.2	39.8	42.2	3.1
4	6.9	10.5	22.1	36.0	37.9	3.6
5	5.8	8.4	20.6	34.2	33.9	4.0

*Tabla 2.2.2 "Esfuerzo a la compresión del concreto como función del tiempo de curado en el agua a 20 C" (R-2)*

- **Retracción.**

La retracción es sensible cuando se reemplaza puzolana por cemento Pórtland, solamente cuando el curado inicial del hormigón se limita a

menos de 3 días, en este caso la retracción aumenta con el incremento de la adición, por el contrario la retracción no se afecta hasta por reemplazos del 40 % si el hormigón ha sido curado por lo menos 28 días antes del secado esto lo podemos observar en la tabla 2.3 a continuación.

MEDIDAS DE RETRACCION					
Mezcla No	Curado inicial por 7 días en agua			Curado inicial por 91 días en agua	
	Duración del secado (días)	Perdida de humedad (%)	Retracción (x10)	Perdida de humedad (%)	Retracción (x10)
Control 2	224	55.0	422	53.7	453
F1	224	57.5	447	47.9	365
F2	224	55.3	354	45.4	280
F3	224	56.9	411	56.2	405
F4	224	54.7	379	49.2	387
F5	224	58.8	404	51.1	403
F6	224	60.6	475	56.4	454
F7	224	64.3	397	54.1	433
F8	224	56.3	400	-	327
F9	224	58.2	390	49.3	631
F10	224	58.4	642	55.2	500
F11	224	49.5	454	48.9	362

*Tabla 2.2.3 "Retracción del concreto de cenizas volantes"*

- **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 toda una gama de propiedades del hormigón.

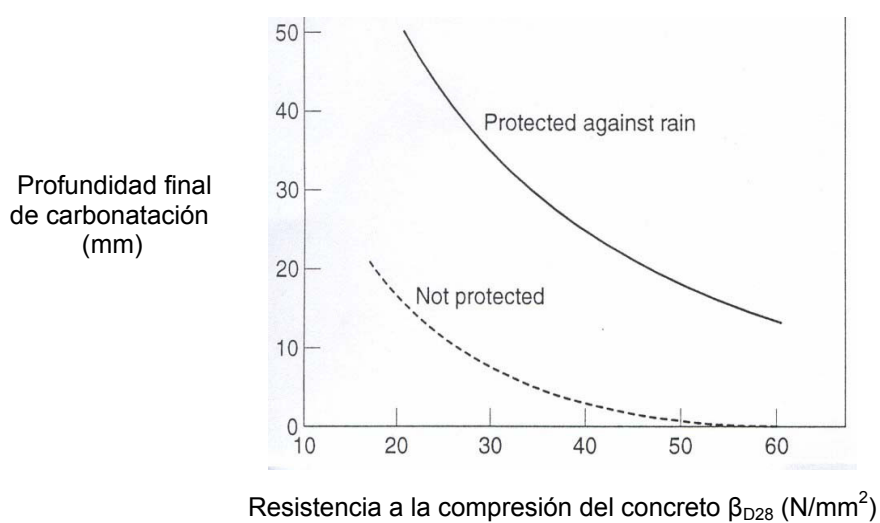
Existen varios parámetros que influyen en mayor o menor grado para lograr un hormigón durable, estos son (R-1):

1. Duración del periodo de curado
2. Relación agua – cemento
3. Contenido de humedad
4. Humedad ambiente
5. Temperatura
6. Otros

Asumiendo que se han tomado en consideración para el diseño todos los parámetros para lograr un hormigón durable, de todos los parámetros, el que le afecta en mayor proporción del cemento puzolanico es el primero de ellos, por una razón sencilla, la reacción de puzolanas naturales, como en el caso del cemento IP, con el hidróxido de calcio producido por el clinker, es una reacción que no se genera de

manera inmediata luego de la hidratación del cemento y necesita de agua para su evolución.

La bibliografía internacional cita varios ejemplos del efecto del tiempo de curado en la durabilidad del hormigón cuando se utilizan cemento con adiciones puzolánicas, como se muestra en grafica 2.2.1 y hace énfasis en este parámetro, comparándolo con la influencia que se presenta en cementos Pórtland puros a los cuales no les afecta mayormente el tiempo de curado.



**Gráfica 2.2.3 “Influencia de la resistencia a la compresión del concreto puzolánico en la profundidad final de carbonatación” (R-1)**

## 2.3 La Zeolita como Puzolana Natural

Las puzolanas se la dividen en dos tipos, las puzolanas artificiales y las puzolanas naturales.

### 2.3.1 Puzolanas Artificiales

Las puzolanas artificiales son sub-productos industriales y materiales tratados térmicamente, y existen varios tipos que se mencionan a continuación:

- **Cenizas Volantes (fly ash):** subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible. Polvo fino constituido esencialmente de partículas esféricas.
- **Arcillas activadas térmicamente:** las arcillas naturales no presentan actividad puzolanica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a una temperatura de orden de 600 a 900 °C.

- **Microsílice:** subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilíceo.

Una que este material este extremadamente fino, es colectado por filtración de los gases de escape del horno, en filtros de mangas.

- **Cenizas de Cascarilla de Arroz:** producida por la calcinación controlada de la cáscara de arroz. Esta consiste básicamente en sílice amorfa > 90 %, y posee gran actividad puzolanica.

### 2.3.2 Puzolanas Naturales

Para fines de la construcción, las puzolanas naturales son consideradas en general como materiales de naturaleza silícea. Acontinuación se mencionan algunos tipos de esta puzolana.

- **Cenizas Volcánicas:** estas se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas templada a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.
- **Tobas Volcánicas o Zeolita:** producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación.
- **Diatomitas:** puzolana de origen orgánico. Deposito de caparazones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas).

### 2.3.3 Diferentes Usos de la Zeolita

Las zeolitas son de gran interés industrial debido a que posee diversas propiedades que dan como resultado diferentes aplicaciones.

Estas rocas o minerales se utilizan para diversas actividades como la agricultura, control de malos olores, nutrición animal, construcción, entre otros.



Las zeolitas naturales poseen diversas propiedades, las mismas que se agrupan en tres categorías fundamentales:

- Capacidad de Cambio Iónico
- Adsorción /Desorción de agua
- Adsorción de Gases

Mencionamos a continuación el aprovechamiento de estas propiedades en las diferentes actividades mencionadas.

#### **- Agricultura**

En la agricultura es utilizada en el tratamiento de los suelos debido 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 en el suelo.

#### **- Control de Malos Olores**

Aquí es donde la zeolita demuestra su intercambio iónico y la selectividad por el amoníaco. Es por esto que las zeolitas se las puede utilizar para el control de los olores en las diversas situaciones, desde las camas de los gatos hasta las plantillas para los zapatos.

### **- Nutrición Animal**

Mediante la adición de la zeolita al alimento del ganado vacuno como el balanceado, se logra mejorar la eficiencia alimenticia de este alimento, mejorando de esta manera 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.

### **- Adsorción /desorción de gases**

Una de las propiedades de este mineral es su capacidad de adsorción, tanto con el agua como con el gas. Gracias a su elevada afinidad por el agua, las zeolitas son de gran utilidad en el control de los niveles de humedad. En el caso de los gases, las zeolitas son utilizadas para tratamientos en la purificación de gases naturales.

### **- Construcción**

La zeolita es utilizada en la producción de cementos puzolánicos. Es justamente el aprovechamiento de este mineral en la construcción lo que requiere demostrar en esta tesis.

#### **2.3.4 Uso de Zeolita en el Hormigón de Cemento Pórtland tipo I**

Para esta investigación hemos utilizado el Cemento Pórtland tipo I en una dosificación equivalente a 400 Kg./m<sup>3</sup>, el mismo que tendrá en adición porcentajes de 5%, 10%, 20%, y 30% de zeolita con respecto al peso del Cemento a más de los agregados finos y gruesos.

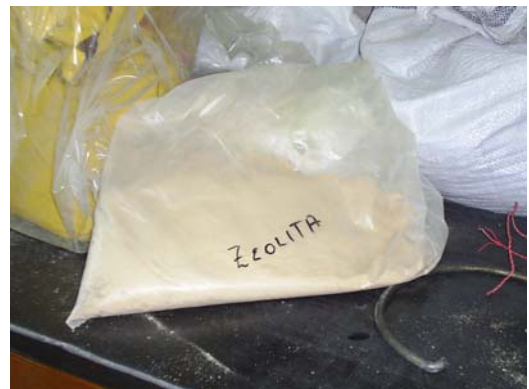
Después de obtener la dosificación según indica el código 211 se construyeron los cilindros testigos o muestras, para las pruebas seleccionadas en esta investigación y en los días que estas establecen.

La zeolita se adicionó para que actúe como puzolana natural y así estudiar las propiedades que adquiere el Hormigón en estudio.

Estos testigos, contruidos a diferentes proporciones de Porcentaje de Zeolita fueron comparados teniendo la referencia de una muestra considerada modelo Patrón con 0 % de Zeolita y se pudo observar cual es el porcentaje mas optimo de los utilizados en las diferentes pruebas.

El material zeolita utilizado se lo extrajo del peñón de la ESPOL que se encuentra ubicado en el Campus Politécnico de las Prosperina.

*Foto 2.3.4.1 “Zeolita  
Procesada lista para  
combinar con el cemento”*



## **CAPITULO 3**

### **3.- CARACTERIZACION DE LA ZEOLITA**

#### **3.1. Finura Retenido Tamiz # 325 ASTM (R-1).**

La norma C 430 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.

El primer paso es pesar una muestra de 1 gr. de zeolita en la balanza de precisión, y lo colocamos en el tamiz numero # 325 que debe estar limpio y seco. Luego este debe ser lavado con agua a una presión de  $10 \pm 0.5$  psi., durante 1 minuto lavado el material con un movimiento circular.

Después que se completo el lavado el material es llevado al horno a secar, con la precaución de no calentar el tamiz demasiado para no debilitar la soldadura y evitar así que se pierda algo de material.

Ahora el material ya esta seco y con una brocha se obtiene el material retenido en el tamiz y lo pesamos en la balanza de precisión donde se determinara la masa retenida por el tamiz.

En este caso la lectura dio un equivalente al 15 %. Con este resultado nos dirigimos a la tabla donde están los requerimientos físicos de la especificación **C618-01** para poder revisar que los valores están dentro de la norma.

### **3.2. Finura Blaine (Superficie Especifica) (R-1).**

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. La Norma **ASTM C204-96<sup>a</sup>** "*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus*" establece el método de ensayo para determinar la finura del material en términos de la superficie especificada dada en  $\text{cm}^2/\text{g}$  o  $\text{m}^2/\text{Kg}$ . mediante el permeabilímetro de Blaine.

La superficie específica es el área superficial de todas las partículas de una masa unitaria de cemento determinada por permeametría. La finura, por otro lado, es el valor numérico que expresa el tamaño de las partículas del material y se puede obtener por la medición de la superficie específica, por los valores límites obtenidos por tamizado húmedo, entre otros. Estos dos casos se relacionan entre sí, a mayor finura, mayor será la superficie específica ya que la porosidad esta dada por volumen de vacíos para volumen total. A continuación se detallara el método a seguir.

Para este ensayo primero se debe calcular el volumen de vacíos de la cama de cemento o volumen optimo. Para esto tomamos dos discos de

papel filtro y lo colocamos en la celda asegurándonos de que este bien asentada. Luego llenamos esta celda con mercurio, y con varios movimientos sacamos cualquier burbuja de aire que exista, luego enrasamos. Hecho esto se pesa la cantidad de mercurio.

Ahora es necesario tomar una muestra de 2.8 gramos de cemento para colocarlos en la celda. En este caso debido a que la muestra de cemento puzolanico es menos densa que el cemento Pórtland, este material ocupa mayor volumen, por lo que se utilizaron menos gramos. Para esto se debe colocar menos discos de papel filtro en la celda, pero esta vez un disco en la parte inferior de la celda y otro en la parte superior de la misma.

Una vez colocado el primer disco de papel filtro se coloca la muestra de cemento, se compacta para formar la cama de cemento y se sella presionando y rotando. Luego se llena la celda con mercurio y se enrasa nuevamente.



Finalmente se toma ese mercurio y se lo pesa. Con estos valores anotados y las formulas correspondientes podemos obtener el volumen de vacío de la cama de cemento como se muestra a continuación.

Para calcular el volumen de vacío de la cama de cemento para el ensayo de Blaine utilizamos la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(W_a - W_b)}{D}$$

donde:

V = volumen de vacío de la cama de cemento, cm<sup>3</sup>

W<sub>a</sub> = gramos de mercurio necesario para llenar la celda

W<sub>b</sub> = gramos de mercurio necesario para completar la porción de la celda que no ocupa la cama de cemento.

D = densidad del mercurio a la temperatura del momento del ensayo  
Mg/m<sup>3</sup>

Esta prueba se la debe realizar dos veces con diferentes camas compactadas y promediar los dos valores.

$$W = d * V(1 - e)$$

$$V = \frac{(W_a - W_b)}{D}$$

$$W_a = 111,077 \text{ gr.}$$

$$T = 24.5^{\circ}C$$

$$D = 13.54Mg / m^3$$

$$d = 2423.00Kg. / m^3$$

<b>W</b>	<b>Wb</b>	<b>Wb promedio</b>	<b>Tiempo</b>	<b>T promedio</b>	<b>V</b>	<b>e</b>	<b>e3*T</b>
1.7	87.012	87.012	36.6	36.6	1.777	0.9996	6.046
1.8	86.517	86.529	39.6	44.4	1.813	0.9996	6.659
1.8	86.586		41.4				
1.8	86.483		52.2				
1.9	86.301	86.416	70.0	78.3	1.821	0.9996	8.843
1.9	86.531		86.6				
2.0	86.192	86.203	141.0	138.5	1.837	0.9996	11.761
2.0	86.214		136.0				

*Tabla 3.2 1 "Resultados de la Prueba Blaine"(R-1)*

Una vez obtenido este valor se procede a calcular el peso requerido de la muestra

Donde:

W = gramos de la muestra requerida

$\rho$  = densidad del material

V = volumen vacío de la cama de cemento

$\varepsilon$  = porosidad deseada de la cama de cemento ( $0.5 \pm 0.005$ ).

Para realizar la prueba, lo primero que se hace es colocar la celda en la parte superior del manómetro asegurándonos de que este bien fija. Lentamente se succiona para subir el nivel del liquido en el manómetro hasta que llegue a la segunda marca. El tiempo se mide desde el enrase hasta que el menisco de la burbuja llegue hasta abajo. Este intervalo de tiempo debe ser tomado en segundos y la temperatura en grados centígrados.

Con estos datos se procede al calculo de las superficie especifica, para esto es necesario el uso de las formulas y de algunas tablas que podemos encontrar en la misma norma y que se mostrara a continuación:

Calculo de la superficie especifica se la muestra en,  $m^2/Kg.$ ,

$$S = \frac{(S_s * \rho_s * (b_s - \varepsilon_s) * \sqrt{\varepsilon^3} * \sqrt{T})}{\rho * (b - \varepsilon) * \sqrt{\varepsilon^3} * \sqrt{T_s}}$$

$$S = \frac{S_s * \rho_s * (b_s - \varepsilon_s) * \sqrt{n_s} * \sqrt{\varepsilon^3} * \sqrt{T}}{\rho * (b - \varepsilon) * \sqrt{\varepsilon^3} * \sqrt{T_s} * \sqrt{n}}$$

Donde:

$S$  = superficie especifica del material

$T$  = intervalo de tiempo en segundos

$T_s$  = intervalo de tiempo de la muestra standard

$n$  = viscosidad del aire, micropascal por segundo

$n_s$  = viscosidad del aire de la muestra standard, micropascal por segundo

$\epsilon$  = porosidad de la cama de la muestra

$\epsilon_s$  = porosidad de la cama de la muestra standard

$\rho$  = densidad del material

$\rho_s$  = densidad del material standard

$b$  = constante especifica para la prueba

$b_s$  = 0.9 de la constante standard.

$$Ss/(Ts)^{1/2} = 49.3$$

$$E_s = 0.5$$

$$D_s = 3.15$$

$$B_s = 0.9$$

$$B = 0.6254$$

$$D = 2.423 \text{ G/cm}^3$$

<b>T</b> S	<b>W</b> g	<b>(e<sup>3</sup>*T)<sup>1/2</sup></b>	<b>e</b> Porosidad	<b>S</b> cm <sup>2</sup> /g
39.6	1.80	2.8551	0.5904	5923
41.4	1.80	2.9107	0.5893	5845
70.0	1.90	3.6144	0.5715	4859
86.6	1.90	3.9778	0.5674	4977
141.0	2.00	4.8551	0.5509	4724
136.0	2.00	4.7631	0.5505	4610
370.0	2.15	7.1952	0.5191	4906
629.0	2.25	8.7887	0.4970	4965
1068.0	2.35	10.7395	0.4672	5220
<b>TOTAL</b>				<b>4840</b>

*Tabla 3.2 2 "Datos para el cálculo de la superficie específica"(R-1)*

Finalmente se obtuvo una superficie específica de 4840 cm<sup>2</sup>/g .

Es importante mencionar que para realizar el promedio y obtener la superficie específica los valores extremos fueron descartados.

### **3.3. Densidad (R- 1).**

Para determinar la densidad es necesario realizar las pruebas de acuerdo a método **C128-01** "*Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*" la densidad de este material se la expresa en masa de este material por unidad de

volumen de partículas de agregado. Para obtener este dato se utilizó el método gravimétrico.

Para esto se utilizó 1 Kg. del material. A continuación fue sumergido en agua durante  $24 \pm 4$  h para que se llenen los poros. Una vez que el material estuvo listo, fue colocado en un recipiente no absorbente para desechar el agua que no fue absorbida por el material. Se toma un picnómetro y se lo llena parcialmente con agua. En el mismo se introducen  $510 \pm 10$  gr. del material ya saturado, y se termina de llenar el recipiente aproximadamente al 90 % de su capacidad. Luego el picnómetro es agitado de 15 a 20 minutos para eliminar todas las burbujas de aire dentro del recipiente. Una vez que las burbujas de aire han sido removidas, se ajusta la temperatura del picnómetro a  $23 \pm 2$  °C y se toma el valor total de la masa del picnómetro, la muestra y el agua.

El material es removido del picnómetro para secar al horno a  $100 \pm 5$  °C y se deja enfriar al medio ambiente durante  $1 \pm \frac{1}{2}$  h para luego determinar su masa. Finalmente con todos los datos, utilizamos la fórmula para calcular la densidad de este material.

Donde:

A = masa de la muestra seca, gr.

B = masa del picnómetro lleno de agua hasta su calibración, gr.

C = masa del picnómetro lleno de la muestra y agua hasta su calibración, gr.

S = masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr.

$$D = 997.5 * \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$D = 2423 \text{Kg} / \text{m}^3$$

### **3.4. Composición Química (R-1).**

Para realizar el análisis químico se tomo una muestra del material ya molido. Esta muestra de zeolita fue enviada al laboratorio de la Cemento Nacional Industrias Rocacem S.A. donde se utilizo la técnica de espectrometría de rayos X para analizar la muestra.

Una vez terminada la prueba, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.4.1 a continuación.

Industrias Rocacen S.A.	
REPORTE DE ANALISIS	
MUESTRA	ZEOLITA
FECHA	11/03/03
P. Fuego	% 10.00
SiO <sub>2</sub>	% 63.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 14.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 5.70
CaO	% 2.40
MgO	% 1.77
SO <sub>3</sub>	% 0.01
K <sub>2</sub> O	% 0.97
Na <sub>2</sub> O	% 1.31
Total	% 99.40
Res. Insoluble	% 52.00

*Tabla 3.4.1 "Análisis Químico de Zeolita"(R-1)*



## **CAPITULO 4**

### **4.- HORMIGÓN DE CEMENTO PÓRTLAND**

#### **4.1 Definición.**

El hormigón es un material durable y resistente pero dado a que se 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 agregado, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

La mezcla de estos componentes del concreto 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 aspecto,

comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es hormigón de cemento Pórtland endurecido.

La representación común del hormigón convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de rocas globalmente definidas como agregados dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiene que permanecer en el hormigón ya endurecido.

#### **4.2 Generalidades.**

El cemento Pórtland es un sistema multicomponente que tiene un sistema de hidratación muy complejo, la hidratación es una reacción de uno de sus constituyentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta. La relación agua / cemento cuyo valor se encuentra entre

0.3 y 0.6, afecta la plasticidad de la pasta, su hidratación y las propiedades del material hidratado.

La pasta de cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente.

El termino fraguado significa un estado de perdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a un material sólido con una escasa resistencia. Posterior a esto viene el endurecimiento que significa el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta.

A los procesos obtenidos con la hidratación se les asocia con liberación de calor o calor de hidratación que en este cemento tiene un valor de hasta 5000 Joules por gramo (120 cal/g.)(R-3), este valor se obtiene por la diferencia del valor del calor de hidratación de la solución del cemento no hidratado con ácido nítrico con el valor del calor de hidratación obtenido de la solución de cemento hidratado con ácido fluorhídrico.

El proceso de hidratación esta influenciado por varios factores(R-3):

- Composición de cemento y clinker
- Finura de cemento

- Relación agua / cemento
- Temperatura de curado
- Aditivos

#### **4.3 Hidratación del Cemento Pórtland.**

Químicamente la hidratación del cemento Pórtland consiste en una serie de reacciones entre los minerales del clinker, el sulfato de calcio y el agua. Los participantes del proceso de hidratación del cemento Pórtland son:

- Alita, formada a partir del Silicato Tricalcico
- Belita, formada a partir del Silicato Dicalcico
- Aluminato Tricalcico
- Ferrito Aluminato Tricalcico
- Oxido de Calcio
- Sulfatos de Sodio o Potasio (Sulfatos de álcali)
- Sulfatos de Calcio en la forma de anhídrido, molido con clinker
- Agua de mezcla

El proceso de hidratación del cemento Pórtland es controlado mediante tres niveles:

- Nivel de Disolución de las fases del clinker del Sulfato de Calcio
- Nivel de Nucleación y Cristalización de los hidratos en formación mas las reacciones
- Nivel de Difusión del agua y de los iones disueltos del material hidratado

#### **4.4 Cinética y Mecánica del Proceso de Hidratación.**

Los siguientes factores determinan la cinética de los procesos de hidratación(R-3):

- La fase de composición del clinker.
- El procesamiento del clinker, incluyendo el nivel del calor, la temperatura máxima de quemado y el nivel de enfriamiento
- La finura del cemento
- La tecnología empleada para la pulverización del cemento
- La relación agua/cemento de la mezcla
- Las condiciones de curado (curado con aire ó agua)
- La temperatura de hidratación

- La presencia de aditivos químicos en la mezcla

La mecánica de formación y desaparición de las fases hidratadas se pueden asumir así:

- Lo primero es la formación de la Alita y Belita durante los primeros minutos de hidratación con la posterior formación de la fase C-S-H. A esta fase de hidratación se la conoce como "Periodo de Preinducción".
- Como segunda fase de hidratación esta el "Periodo de Inducción o Dormiente" que lo constituyen las primeras horas de hidratación en donde la formación de  $\text{Ca(OH)}_2$  es producto de la hidratación de las fases de  $\text{C}_3\text{S}$  y  $\text{C}_2\text{S}$ , la Etringita es producto de hidratación del  $\text{C}_3\text{A}$  y finalmente se asocian estos dos productos de la hidratación.
- La tercera fase de hidratación es el "Estado Acelerado" como se conoce al periodo de 3 a 12 horas después de la mezcla, la hidratación se acelera nuevamente y todo el sulfato de calcio útil es consumido,

finalizando también la formación de Etringita dentro de las primeras 24 horas.

- La cuarta y última fase de hidratación es el "Periodo post-acelerado" que es donde la hidratación disminuye gradual y lentamente, convirtiéndose en una difusión controlada y el proceso de hidratación se completa.

#### **4.5 Materiales Utilizados en el Modelo Patrón.**

Los materiales utilizados en nuestro modelo Patrón (0% de zeolita) son básicamente: Cemento Tipo I, Agregados Gruesos, Agregados Finos y Agua. La dosificación utilizada se la calculó en el Centro Técnico del Hormigón y será descrita mas adelante.

##### **4.5.1 Cemento Tipo I**

El cemento Pórtland es un producto que en 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 funcionan como ligante y se

convierte en otro producto indispensable para la construcción; el hormigón.

El Cemento Tipo I, es para uso general en estructuras, se produce bajo la norma Ecuatoriana INEN 152.

#### **4.5.2 Agregados Gruesos y Finos.**

Al menos las  $\frac{3}{4}$  del volumen del concreto esta formado por agregados que inciden en la resistencia, la durabilidad y el desempeño estructural del concreto.

Antiguamente los agregados se consideraban como un material inerte disperso en la pasta del cemento y utilizados únicamente por razones económicas. Sin embargo, el agregado no es totalmente inerte y sus propiedades físicas, térmicas y algunas también químicas influyen en la eficiencia del concreto. 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 concreto.



Las condiciones de los agregados dependen de la gravedad específica. Existen dos clases de gravedades específicas:

- Gravedad Específica Absoluta
- Gravedad Específica Aparente

El agregado presenta una de condición saturada y superficialmente seca cuando su masa tiene gravedad específica aparente debido a que el agua contenida en todos los poros del agregado no tiene parte en la relación química del cemento y puede, de esta manera, ser considerada como parte del agregado. Los cálculos para diseñar el concreto se basan en esta condición de gravedad específica aparente. La mayoría de los agregados naturales tiene una gravedad específica entre 2.6 y 2.7. la tabla 4.5.2.1, enseña gravedades específicas aparentes de diferentes agregados en el Ecuador.

La Gravedad Específica Absoluta se refiere al peso del volumen del material sólido excluyendo todos los poros, y pueden, por esta razón, ser definidos como la relación del peso del sólido, respecto

al vacío, para el peso de un volumen igual de agua destilada libre de gas, ambos obtenidos a temperatura estable.

*Tabla 4.5.2.1. "Gravedad Específica Aparente para diferentes rocas en el Ecuador".(R-4)*

MATERIAL	PROCEDENCIA	Gravedad Especifica
Basalto 5-12	Chivería	2.90
Chert (Lutita Silícea)	Cantera San Luis	2.46
Grava Aluvial	Río Chimbo	2.70
Ripio Triturado	Río Toachi, Sto. Domingo	2.67
Ripio 12-25	Río Pagua	2.70
Piedra Triturada (caliza) ASTM # 8	C. Huayco	2.60
Arena Homogenizada (caliza)	C. Huayco	2.55
Basalto (Ripio 1/2")	Picoazá, Manabí	2.62

#### 4.6 Dosificación.

Para las pruebas realizadas en esta investigación se construyeron testigos en formas cilíndricas de tamaño variados (grandes y pequeños). Se dosificó en cinco diferentes formas, la primera denominada **muestra patrón** con 0 % de zeolita, la segunda con 5 % de zeolita, la tercera con 10 % de zeolita, la cuarta con 20 % de zeolita y la quinta con 30 % de zeolita. El porcentaje de zeolita es respecto a la masa del cemento del modelo patrón.

En la muestra patrón la dosificación de los elementos básicos, partiendo de una masa de cemento de 400 Kg. /m<sup>3</sup> y un revenimiento de 10 ± 2.5 cm., fue tomada mediante las tablas y conceptos del código C 211 y dicha dosificación la detallamos a continuación.

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

Tabla 4.6.1 "Dosificación de las mezclas para 1 m<sup>3</sup> de hormigón"

Debemos mencionar que se hicieron pruebas a diferentes edades del fraguado como son a 7, 14, 28, y 90 días.

#### 4.7 Adición (Zeolita).

El material que se utilizó como puzolana en este caso la zeolita, que es una puzolana natural, se combinó con el Cemento Tipo I en diferentes porcentajes adicionados con respecto a la masa de Cemento del modelo Patrón. Estos porcentajes fueron, el 5%, 10%, 20%, y 30%. Estos valores y los otros agregados los detallamos en las siguientes Tablas.

<b>Modelo 0% Zeolita (Patrón)</b>	
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
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 4.7.1 "Dosificación de modelo Patrón para 41 litros de hormigón "*

<b>Modelo 5% Zeolita</b>	
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
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 4.7.2 "Dosificación del modelo 5 % para 41 litros de hormigón"*

<b>Modelo 10 % Zeolita</b>	
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
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 4.7.3 "Dosificación del modelo 10 % para 41 litros de hormigón"*

<b>Modelo 20 % Zeolita</b>	
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
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 4.7.4 "Dosificación del modelo 20 % para 41 litros de hormigón"*

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

*Tabla 4.7.5 "Dosificación del modelo 30 % para 41 litros de hormigón"*

## **CAPITULO 5**

### **5.- 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.

Entre las propiedades que se presentan antes del fraguado se analizaron y cuantificaron algunas de las cuales las detallaremos a continuación.

#### **5.1 Revenimiento. (ASTM – C 143M – 00)**

La prueba de revenimiento puede ser muy útil como una indicadora de la consistencia y en ciertas mezclas, también la trabajabilidad.

El proceso de esta prueba lo detallamos a continuación: un molde de forma cónica de 30 cms. de altura, 20 cms. de diámetro de la base y 10 cms. de diámetro de la parte superior, se llena mediante tres capas del concreto fresco picándolo durante 25 veces cada una de las capas, con una varilla de 16 mm de diámetro con punta terminada en forma de bala. Una vez lleno el molde se enrasa en el borde superior y se levanta. Se llama revenimiento a la medida del asentamiento que experimenta la masa al retirarse del molde. Un revenimiento pequeño indica una

contextura dura, mientras que un revenimiento grande revela una contextura muy húmeda.



*Foto 5.1.1 "Prueba de Revenimiento, en el Cono de Abrams"*

En la elaboración del hormigón se tomaron pruebas de revenimiento para cada modelo de dosificación obteniendo los siguientes resultados.

**Modelo Patrón 0 % de Zeolita:**

Revenimiento 10 cm.



**Modelo 5 % de Zeolita:**

Revenimiento 10 cm.

**Modelo 10 % de Zeolita:**

Revenimiento 10cm.

**Modelo 20 % de Zeolita:**

Revenimiento 10 cm.

**Modelo 30 % de Zeolita:**

Revenimiento 10cm.

**5.2 Peso Volumétrico. (ASTM – C 138M –01a)**

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma “Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of concrete.

Este método nos ayuda a calcular la densidad del hormigón fresco, y dar a conocer las fórmulas para calcular el rendimiento del hormigón, y su contenido de aire. El rendimiento es conocido como el volumen del hormigón producido de una mezcla de cantidades y materiales conocidos.

El peso volumétrico del hormigón se expresa en  $\text{Kg./m}^3$ .

Se realizo esta prueba usando la Olla de Washington en donde se coloca el hormigón después de haber realizado la prueba de revenimiento y antes de colocarlo en los moldes.

El procedimiento para calcular el peso volumétrico es: Primero pesamos la Olla de Washington seca y vacía anotamos ese valor.  $P_o = 2.475$  Kg.

Luego, colocamos dentro de la olla el hormigón en tres partes o capas, dando en cada capa 25 punzadas con una varilla lisa de hierro para eliminar cualquier contenido de aire existente. Una vez colocada la ultima capa hasta la parte superior de la olla, esta es pesada y anotamos ese otro valor **P1**.



*Foto 5.2.1 “Olla de Washington lista para realizar el calculo del Peso Volumétrico del Hormigón Fresco”*

A este nuevo valor P1, lo restamos del valor del primer valor Po y lo dividimos para 0.007 que un valor conocido y equivale al volumen de la olla de Washington dado en m<sup>3</sup>. Este nuevo valor obtenido es el Peso volumétrico del Hormigón PV.

$$PV = \frac{P1 - Po}{0.0071}$$

Para cada dosificación se calculo el Peso Volumétrico del Hormigón y los Resultados los detallamos en las siguientes tablas.

<b>PÉSO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN FRESCO (Patrón 0%)</b>			
Po (Kg.)	P1 (Kg.)	V. (m3 )	PV = (P1-Po)/ V (Kg./m3 )
2.475	18.465	0.007	<b>2284</b>

*Tabla 5.2.1 Peso Volumétrico del Hormigón Fresco Muestra Patrón*

<b>PÉSO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN FRESCO (Muestra 5%)</b>			
Po (Kg.)	P1 (Kg.)	V. (m3 )	PV = (P1-Po)/ V (Kg./m3 )
2.475	18.372	0.007	<b>2270</b>

*Tabla 5.2.2 Peso Volumétrico del Hormigón Fresco Muestra 5 %*

<b>PESO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN FRESCO (Muestra 10%)</b>			
Po (Kg.)	P1 (Kg.)	V. (m3 )	$PV = (P1-Po)/ V$ (Kg./m3 )
2.475	18.285	0.007	<b>2258</b>

*Tabla 5.2.3 Peso Volumétrico del Hormigón Fresco Muestra 10 %*

<b>PESO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN FRESCO (Muestra 20%)</b>			
Po (Kg.)	P1 (Kg.)	V. (m3 )	$PV = (P1-Po)/ V$ (Kg./m3 )
2.475	18.252	0.007	<b>2253</b>

*Tabla 5.2.4 Peso Volumétrico del Hormigón Fresco Muestra 20 %*

<b>PESO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN FRESCO (Muestra 30%)</b>			
Po (Kg.)	P1 (Kg.)	V. (m3 )	$PV = (P1-Po)/ V$ (Kg./m3 )
2.475	18.220	0.007	<b>2249</b>

*Tabla 5.2.5 Peso Volumétrico del Hormigón Fresco Muestra 30 %*

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

*Tabla 5.2.6 “ Valores de peso Volumétrico para cada % de zeolita”*

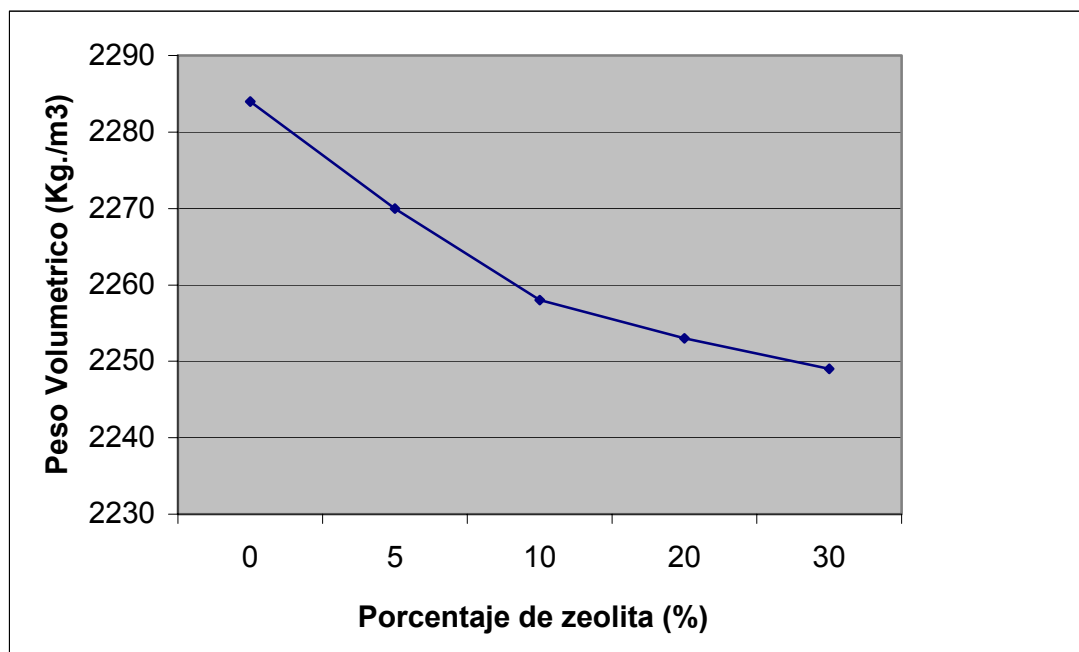


Gráfico 5.2.1 “Valores de Peso Volumétrico a diferentes porcentajes de zeolita”

### 5.3 Contenido de Aire. (ASTM –C 231–97)

En la prueba de contenido de aire del hormigón fresco se utilizó el Método de Presión aquí se determina la cantidad de aire a partir de la variación del volumen del concreto por una aplicación de una presión conocida.

Para determinar los valores del Contenido de aire se utilizó la misma Olla de Washington, la cual su tapa esta formada por un medidor en

forma de manómetro (dial) que indica la cantidad de aire que existe dentro de la olla, y dos llaves pequeñas para aire y agua .



*Foto 5.3.1 “Olla de Washington con el medidor para calcular el Contenido de Aire en el Hormigón Fresco”*

Se procede de la siguiente forma. Una vez que hemos depositado el hormigón fresco en la olla, colocamos la tapa compuesta de el equipo antes mencionado. Después se realizó un sangrado del aire que había entre el hormigón y la tapa, sustituyéndolo por agua. Luego de haber extraído la mayor cantidad de aire posible se cierra la llave, y se comienza a ejercer presión de aire sobre el agua existente, hasta que el

indicador de aire llegue al máximo. Aquí se abre la otra llave para que escape el aire y la lectura del indicador nos dará la cantidad de aire que contiene el hormigón en porcentaje.

A continuación detallamos los valores del contenido de aire para cada diferente porcentaje de dosificación del hormigón con zeolita.

<b>CONTENIDO DE AIRE (%)</b>	
<b>Dosificación</b>	<b>% de Contenido de Aire</b>
0%	2.7
5%	2.5
10%	2.5
20%	1.5
30%	1.7

*Tabla 5.3.1 “Valores de Contenido de Aire para cada valor de % de Zeolita en el hormigón fresco*

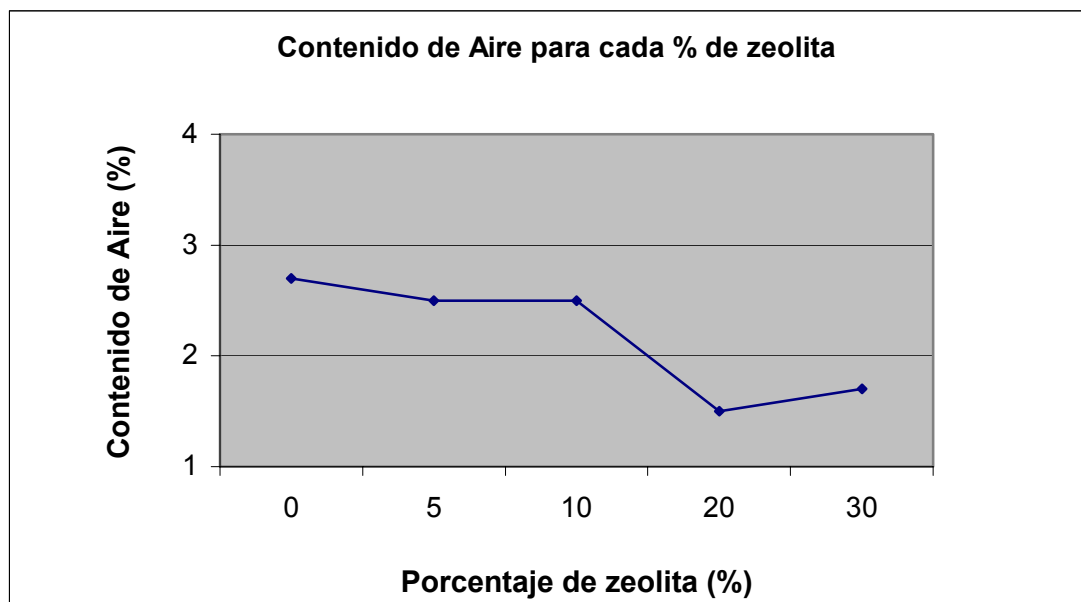


Gráfico 5.3.1 “Valores de Contenido de Aire a diferentes porcentajes de zeolita”



## **CAPITULO 6**

### **6.- PROPIEDADES EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO**

Después del fraguado el hormigón posee diferentes propiedades de gran importancia para su uso. Nosotros realizaremos algunas de estas pruebas para determinar algunas de estas propiedades que están detalladas a continuación.

#### **6.1 Velocidad Ultrasónica. (ASTM –C 597–97)**

El ultrasonido es un aparato para medir el tiempo de paso de una vibración mecánica a través del concreto o de otro material. La vibración es generada y recibida por medio de un registrador electromecánico. El intervalo de tiempo que transcurre entre la introducción de la vibración y su recepción es medida en micro segundos  $\mu\text{s}$ , a partir de ese tiempo y la medición de la longitud se calcula la velocidad de la vibración.

La velocidad de vibración esta ligada con el modulo elástico ya que incrementa con este (por lo tanto también con la resistencia a la compresión).

Una de las aplicaciones del ultrasonido es que actúa como indicador del deterioro del concreto, la disminución de la velocidad de vibración indica un módulo elástico bajo y por lo tanto un deterioro del concreto. También actúa como indicador del agrietamiento, cuando emite señales débiles de vibración indica una trayectoria interrumpida en los transductores.

Esta prueba se realizó de acuerdo al método ***ASTM C 597-97 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete***, el cual se detalla más adelante.

Para este ensayo, se utilizó un testigo (cilindro) pequeño para determinar la velocidad de ultrasonido y el tiempo a través del mismo. Este, se hicieron pruebas para cada edad y dosificación, de la siguiente manera.

Se toma el cilindro seco y se coloca en posición horizontal, luego se toma el ultrasonido, el mismo que tiene dos transductores que se colocan uno en cada una de las superficies laterales de los cilindros separadas de los contactos con unas pequeñas porciones de plastilina. Se ingresa

en el equipo los datos de las dimensiones del cilindro y se acciona el equipo durante unos segundos, hasta que la lectura sea estable, aquí obtendremos la velocidad en **m/s** y el tiempo en **µs**, que son los datos que necesitamos.



*Foto 6.1.1 “Aplicación del ultrasonido para el cálculo de la Velocidad de Ultrasonido de los cilindros”*

A continuación detallamos en las siguientes tablas los valores de velocidad y tiempo para cada dosificación y edad.

<b>VELOCIDAD ULTRASONICA (m/s)</b>			
<b>Muestra patrón 0% zeolita</b>			
Edad			
7 días	14 días	28 días	90 días
4090	4130	4140	4175
Tiempo			
49.75 us	49.15 us	48.90 us	48.85 us

*Tabla 6.1.1 “Velocidad de Ultrasonido y Tiempo para las diferentes edades del hormigón en la muestra patrón.”*

<b>VELOCIDAD ULTRASONICA (m/s)</b>			
<b>Muestra 5 % zeolita</b>			
Edad			
7 días	14 días	28 días	90 días
4025	4115	4102.5	4115
Tiempo			
51.35 us	51.35 us	49.90 us	49.00 us

*Tabla 6.1.2 “Velocidad de Ultrasonido y Tiempo para las diferentes edades del hormigón en la muestra 5 % zeolita.”*

<b>VELOCIDAD ULTRASONICA (m/s)</b>			
<b>Muestra 10 % zeolita</b>			
Edad			
7 días	14 días	28 días	90 días
4020	4090	4190	4240
Tiempo			
50.50 us	49.45 us	49.20 us	48.00 us

*Tabla 6.1.3 “Velocidad de Ultrasonido y Tiempo para las diferentes edades del hormigón en la muestra 10 % zeolita.”*

<b>VELOCIDAD ULTRASONICA (m/s)</b>			
<b>Muestra 20 % zeolita</b>			
Edad			
7 días	14 días	28 días	90 días
3870	3945	4000	4055
Tiempo			
52.35 us	51.65 us	51.20 us	50.15 us

*Tabla 6.1.4 “Velocidad de Ultrasonido y Tiempo para las diferentes edades del hormigón en la muestra 20 % zeolita.”*

<b>VELOCIDAD ULTRASONICA (m/s)</b>			
<b>Muestra 30 % zeolita</b>			
Edad			
7 días	14 días	28 días	90 días
3760	3925	3990	4035
Tiempo			
53.20 us	52.05 us	51.10 us	50.20 us

*Tabla 6.1.5 “Velocidad de Ultrasonido y Tiempo para las diferentes edades del hormigón en la muestra 30 % zeolita.”*

<b>EDAD 7 DÍAS</b>	
<b>% de Zeolita</b>	<b>Velocidad de Ultrasonido (m/s)</b>
0%	4090
5%	4025
10%	4020
20%	3870
30%	3760

*Tabla 6.1.6 “Velocidad de Ultrasonido a los 7 días en todos los % de zeolita”*

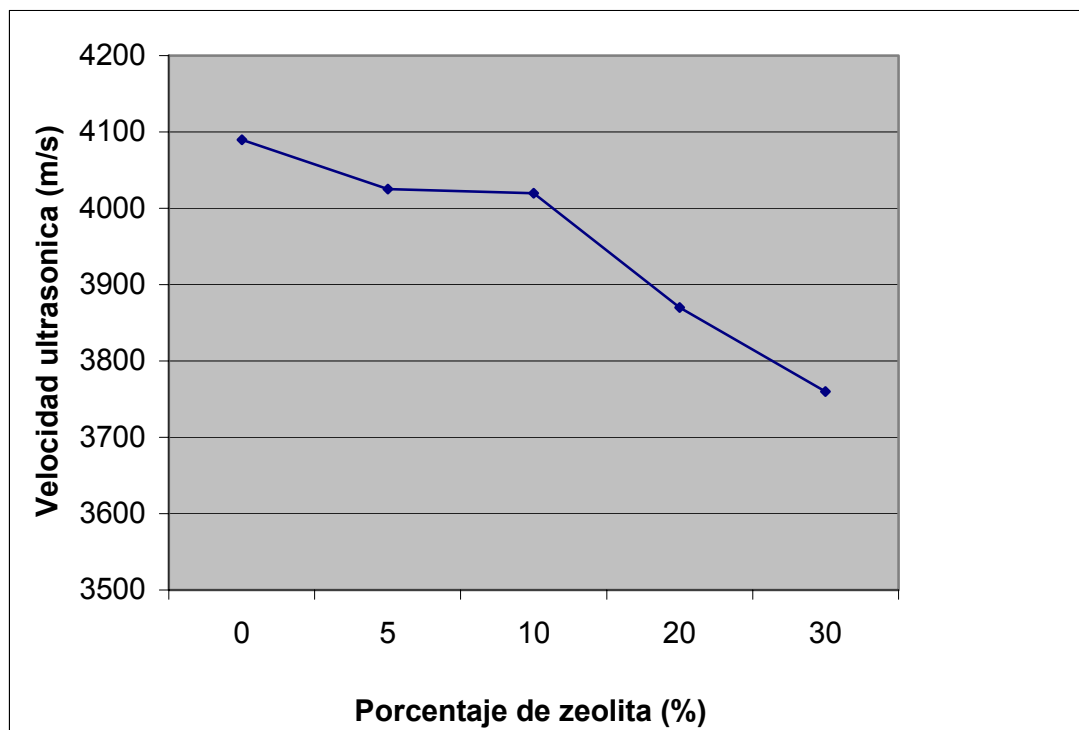


Gráfico 6.1.1 “Valores de Velocidad Ultrasónica en cada dosificación a los 7 días”

EDAD 14 DÍAS	
% de Zeolita	Velocidad de Ultrasonido (m/s)
0%	4130
5%	4115
10%	4090
20%	3975
30%	3925

Tabla 6.1.7 “Velocidad de Ultrasonido a los 14 días en todos los % de zeolita”

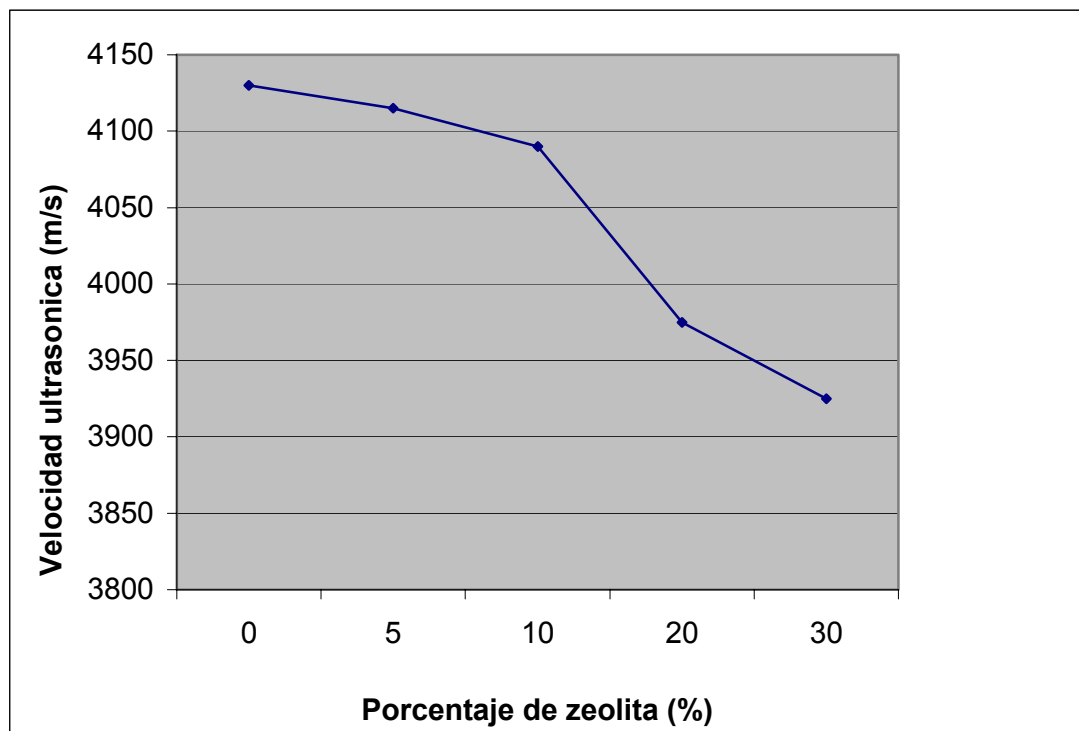


Gráfico 6.1.2 “Valores de Velocidad Ultrasónica en cada dosificación a los 14 días”

EDAD 28 DÍAS	
% de Zeolita	Velocidad de Ultrasonido (m/s)
0%	4140
5%	4103
10%	4190
20%	4000
30%	3990

Tabla 6.1.8 “Velocidad de Ultrasonido a los 28 días en todos los % de zeolita”



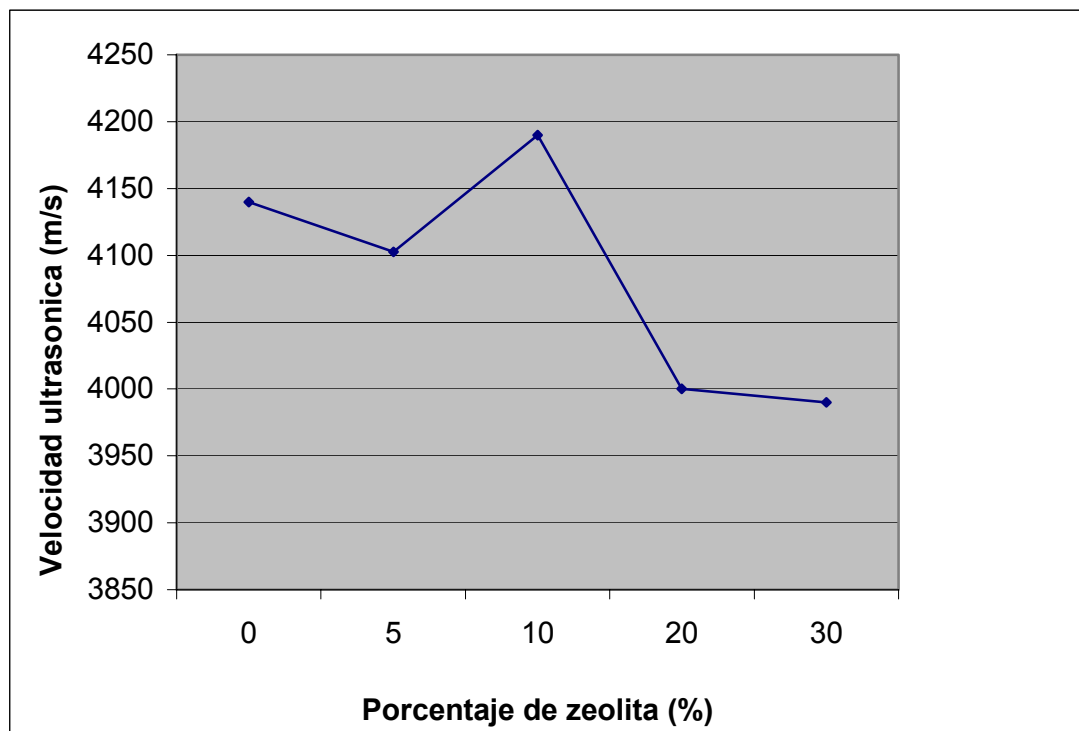


Gráfico 6.1.3 “Valores de Velocidad Ultrasónica en cada dosificación a los 28 días”

EDAD 90 DÍAS	
% de Zeolita	Velocidad de Ultrasonido (m/s)
0%	4175
5%	4115
10%	4240
20%	4055
30%	4035

Tabla 6.1.9 “Velocidad de Ultrasonido a los 90 días en todos los % de zeolita”

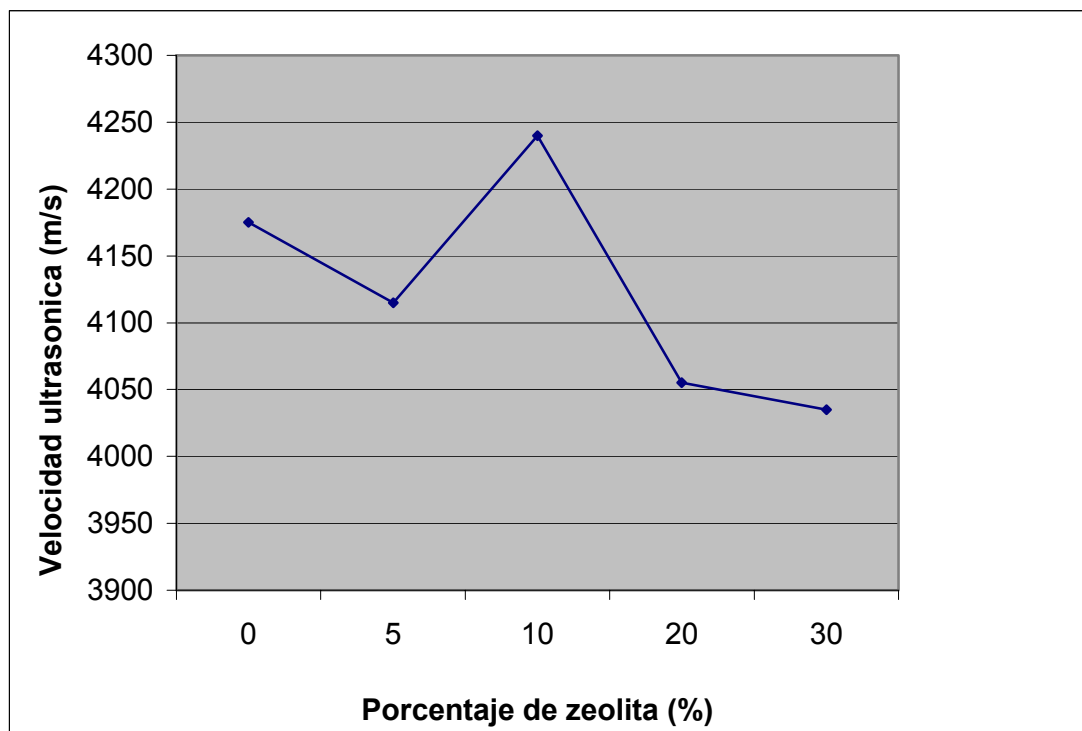


Gráfico 6.1.4 “Valores de Velocidad Ultrasónica en cada dosificación a los 90 días”

Nota: Para cada edad y dosificación se hicieron dos pruebas para luego usar el valor promedio

## 6.2 Resistencia.

La resistencia es considerada como una de las pruebas mas importantes, debido a que todo tipo de ensayos y adiciones que se le

proporcione al hormigón es considerando que se obtendrá una mayor resistencia en éste.

En esta tesis eso es lo que queremos probar usando esta puzolana citada anteriormente.

### **6.2.1 Resistencia a la Compresión Simple.**

Las muestras para esta prueba se preparan de acuerdo a la norma **ASTM C 39 – 01** “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”. la que misma que se detalla mas adelante.

En este ensayo existen las 5 tipos de dosificaciones para las cuatro edades del hormigón. La mezcla del 0 % de zeolita que es la mezcla patrón, y las de 5, 10,20 y 30 % de zeolita.

Con la dosificación para cada porcentaje de zeolita preparamos la mezcla de concreto. Pesamos los valores calculados en diferentes bandejas, primeros colocamos la piedra y la arena en la mezcladora mediana, luego comenzamos a hacerla girar

colocando una cantidad de agua. Después comenzamos a colocar el cemento tipo I, acompañado de más agua, y al final colocamos la zeolita si es el caso. Una vez con todos los agregados colocamos la cantidad de agua necesaria para un revenimiento requerido de  $10 \pm 2.5$  cm.



*Figura 6.2.1.1 “Agregados utilizados en la preparación del hormigón en estudio”*

Una vez obtenido el revenimiento y realizadas las pruebas del hormigón fresco, llenamos los cilindros en tres capas los grandes y en dos los pequeños, realizando 25 punzadas en cada capa para eliminar la cantidad de aire que se encuentre en el hormigón.

Se deja que fragüen hasta el siguiente día y luego se colocan en la piscina de curado.



*Figura 6.2.1.2 “Diseño de la mezcla de Hormigón en la concretera mediana”. Prueba realizada en todas las dosificaciones”*

*Figura 6.2.1.3 “Llenado de hormigón en los moldes de los cilindros para las diferentes pruebas”*





*Figura 6.2.1.4 “Cámara Húmeda, donde se colocan los cilindros para que alcancen el contenido de agua óptimo”*

Cuando ya cumplieron las edades respectivas se realiza la prueba de Resistencia a la Compresión Simple en la Prensa .

*Figura 6.2.1.5 “Rotura de Cilindros por Compresión Simple en la Prensa”. Se realizó esta prueba en cada edad y dosificación de zeolita”*



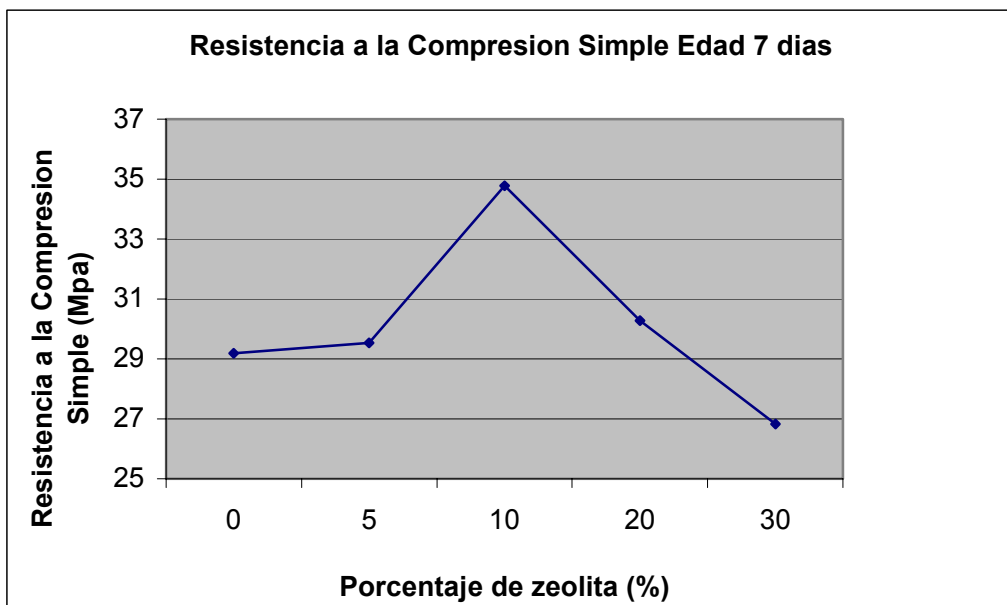
*Figura 6.2.1.6 “manera como fallan los cilindros cuando se les realizo la prueba de compresión simple”*



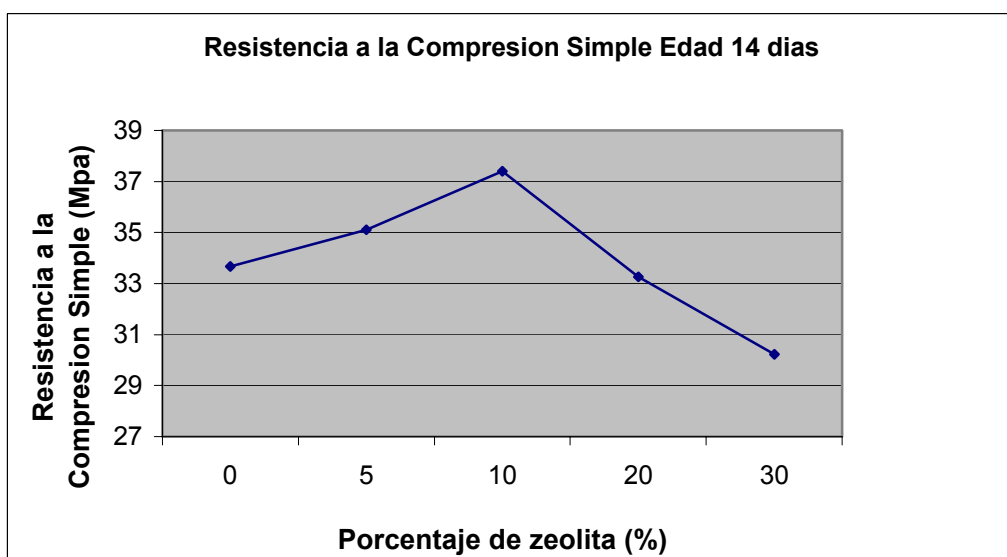
Los resultados de las resistencias para cada edad y dosificación se detallan en las siguientes tablas.

<b>EDAD (días)</b>	<b>RESISTENCIA (Mpa)</b>				
	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
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

*Tabla 6.2.1.1 “Resistencia a la Compresión Simple”*

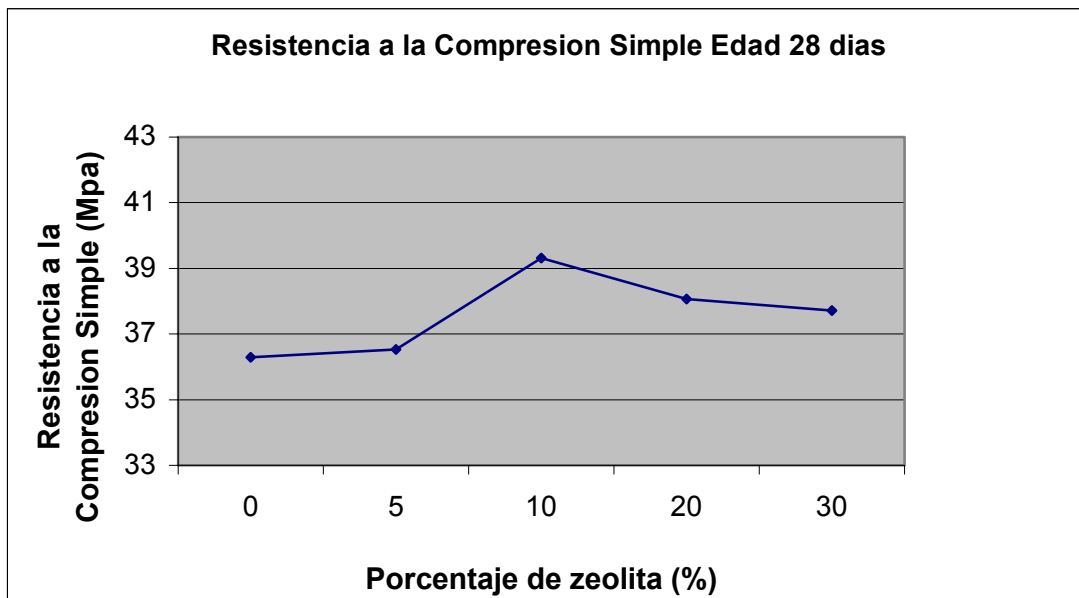


*Gráfico 6.2.1.1 "Resistencia a la compresión Simple a los 7 días"*

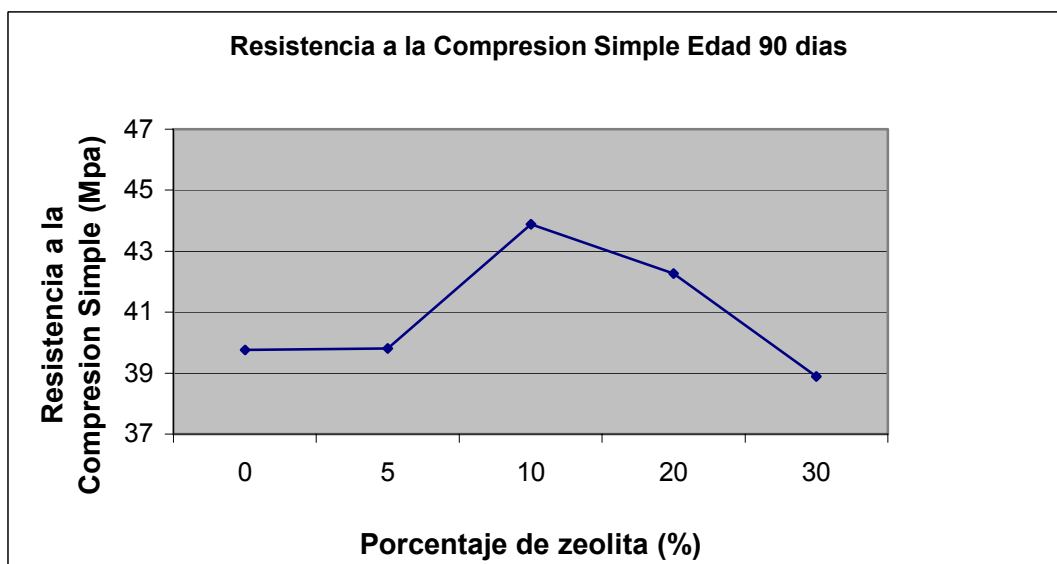


*Gráfico 6.2.1.2 "Resistencia a la compresión Simple a los 14 días"*





*Grafico 6.2.1.3 "Resistencia a la compresión Simple a los 28 días"*



*Grafico 6.2.1.4 "Resistencia a la compresión Simple a los 90 días"*

Nota: Para cada edad y dosificación se hicieron dos pruebas para luego usar el valor promedio

### 6.2.2 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.

Para esta prueba las muestras se preparan de acuerdo a la norma **ASTM C 496 – 96** “*Standard Test Method for Splitting Tensile of Cylindrical Concrete Specimens*”, la misma que se detallará mas adelante.

De la misma manera que en el ensayo de Resistencia a la compresión simple, la elaboración de los cilindros en este ensayo es igual, se utiliza la dosificación para cada % de zeolita, se llenan los cilindros en tres capas los grandes y en dos capas los pequeños, con 25 punzadas con una varilla lisa de hierro en cada capa, y se espera un día para que el hormigón fragüe , antes de colocarlos en la piscina de curado.



*Figura 6.2.2.1 “grupo de Cilindros un día después de su elaboración”*

Para cada edad se realizan las pruebas, aquí se introduce el cilindro en una estructura de hierro, con la que se lo pondrá en la prensa. Esta estructura es la que permite se ejerza la tracción por compresión diametral en los cilindros.



*Figura 6.2.2.2 “Estructura requerida para la prueba de tracción por compresión diametral”*



*Figura 6.2.2.3 “ Rotura de cilindro en Tracción por Compresión Diametral en la Prensa”. Esta prueba se realizo en cada edad y dosificación de zeolita*

Una vez realizadas las pruebas en cada edad y dosificación se tienen los resultados que detallamos a continuación.

<b>EDAD (días)</b>	<b>RESISTENCIA (Mpa)</b>				
	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
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

*Tabla 6.2.2.1 “Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral”*

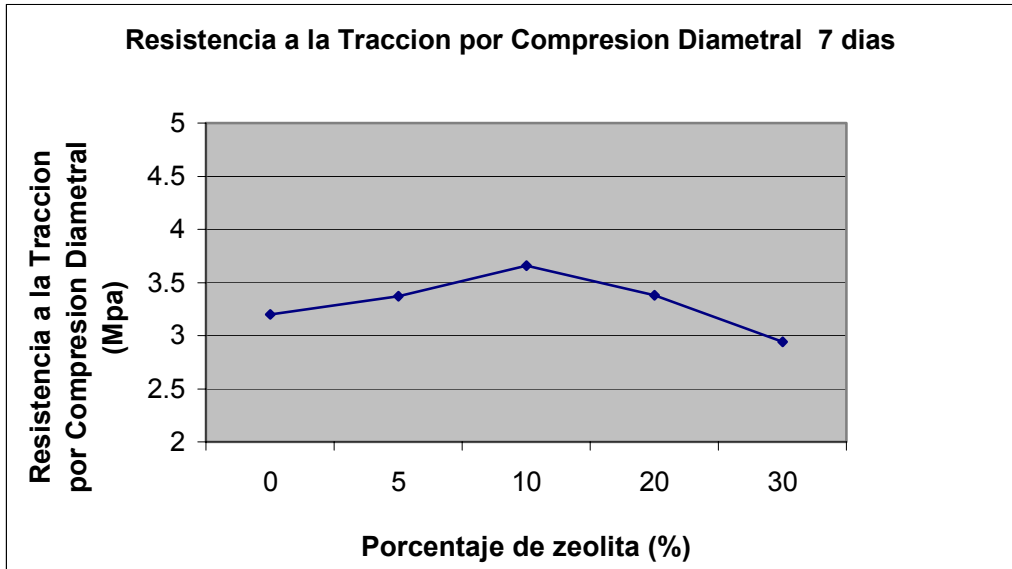


Gráfico 6.2.2.1 “Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral 7 días”

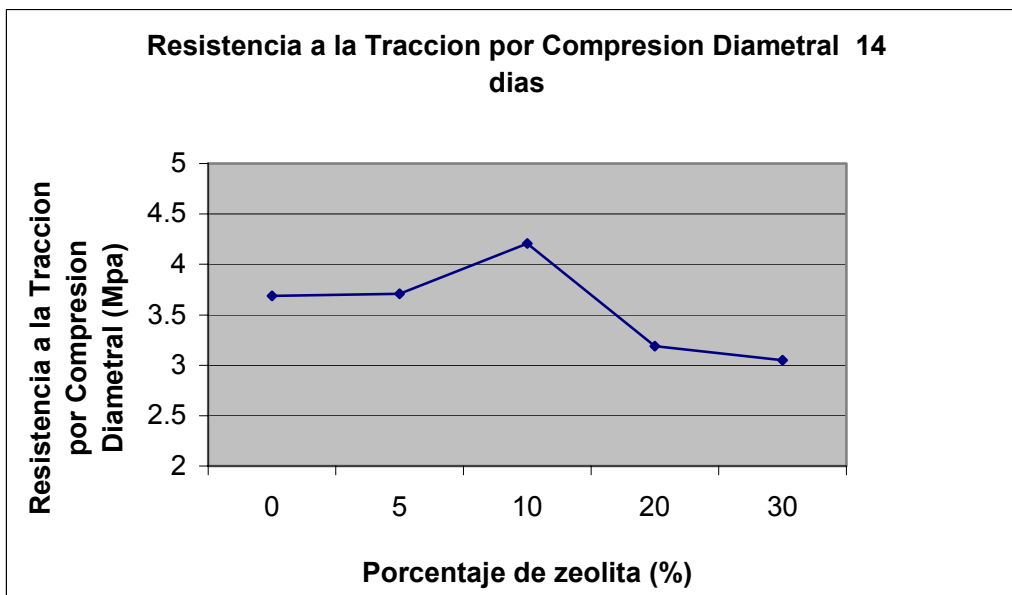


Gráfico 6.2.2.2 “Resistencia a la Tracción Compresión Diametral 14 días”

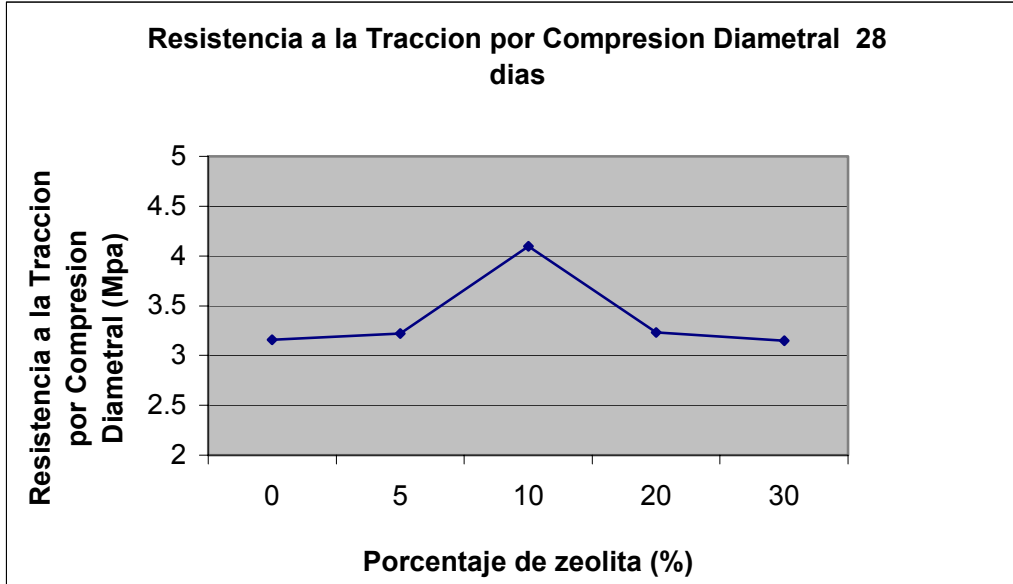


Gráfico 6.2.2.3 “Resistencia a la Tracción Compresión Diametral 28 días”

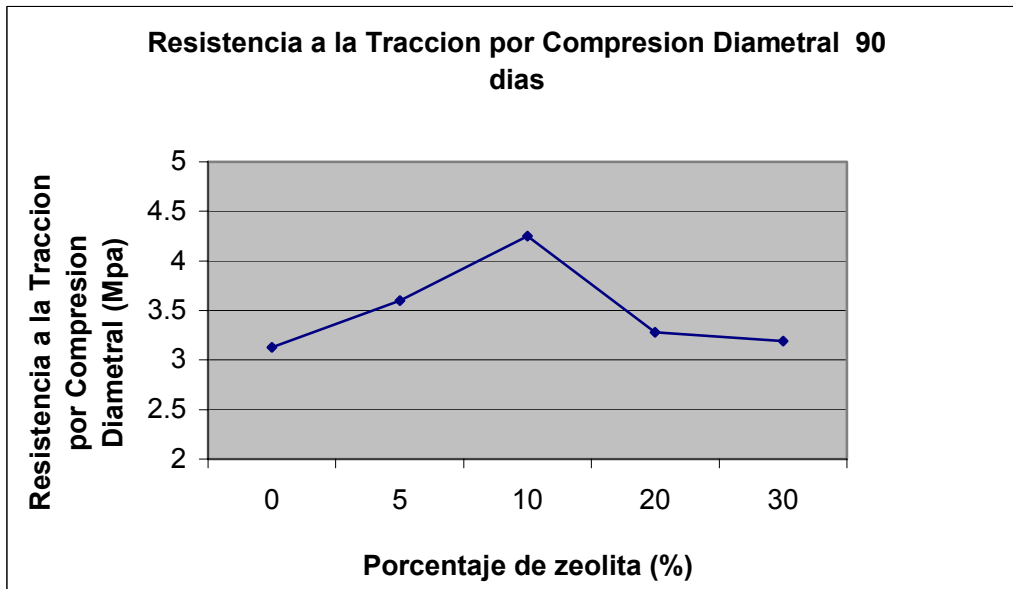


Gráfico 6.2.2.4 “Resistencia a la Tracción Compresión Diametral 90 días”

Nota: Para cada edad y dosificación se hicieron dos pruebas para luego usar el valor promedio

### 6.3 Modulo de Elasticidad

La relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del intervalo elástico de una curva esfuerzo deformación unitaria para el hormigón define al modulo de elasticidad (E) del hormigón.

Esta prueba se basa de acuerdo a la norma **ASTM C 469 – 94** <sup>ε1</sup> “*Standard Test Method for Statics Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression*” su procedimiento se detallara mas adelante.

Para el calculo del modulo elástico se utilizan cilindros de otra dimensión (15 x 30 ) cm., es necesario el dato de resistencia a la compresión simple de los cilindros pequeños para la dosificación correspondiente y a los 28 días. Con este valor, en términos de esfuerzo (Mpa) tomamos el 95 % que por teoría se conoce corresponde al valor que soportaría el cilindro grande. Este resultado lo multiplicamos por el área plana del cilindro (m<sup>2</sup>) y obtenemos la fuerza equivalente a la carga de rotura (KN)

para los cilindros grandes. De este nuevo valor tomamos el 40 %, y este porcentaje del valor, será por seguridad el máximo valor al que se debe aplicar en la prensa a compresión del cilindro.

Con estos datos tabulados comenzamos el calculo del modulo elástico estático para lo cual colocamos el cilindro grande en el deformímetro distribuyendo su longitud en forma equidistante y ajustando proporcionalmente su tornillos de fijación.



*Figura 6.3.1 “Cilindro de 15 x 30 capeado y colocado en el equipo para realizar el Módulo Elástico Estático a Compresión”. Esta prueba se la realizo a los 28 días en todas las dosificaciones”*



El equipo tiene un dial donde se observara una lectura que con una simple conversión nos dará la deformación unitaria.

Luego tomamos el cilindro con el equipo y lo ingresamos en la prensa donde comenzaremos la prueba.

La prueba consiste en tomar valores de deformación unitaria ( $\Delta L/L$ ), y graficarlos versus valores de esfuerzo  $\epsilon$  (Mpa).

Los siguientes valores que buscamos son leídos del tacómetro y corresponden a los que la aguja marque cuando la prensa aplique valores que aumenten de 50 en 50 KN de carga, aumentándolos hasta llegar al valor máximo de seguridad calculado anteriormente. Este ensayo se lo realiza dos veces para su comprobación.

Los valores obtenidos del dial deben ser convertidos a deformación unitaria ( $\Delta L/L$ ) donde  $\Delta L$  es el valor del tacómetro multiplicado por ( $2 \times 0.001$ ) esto da en mm. Luego dividimos este para L (longitud del cilindro) y obtenemos ( $\Delta L/L$ ). Esto se hace para cada punto.

Los valores de carga se los convierte en esfuerzo (Mpa), después se grafica la curva la cual debe resultar un recta cuya pendiente es el valor del Modulo Elástico Estático en (GPa.).

Los valores del Modulo Elástico Estático para cada Dosificación a los 28 días se detallan en la siguiente tabla.

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

*Tabla 6.3.1 “Módulo Elástico Estático del hormigón a los 28 días en todos los % de zeolita”*

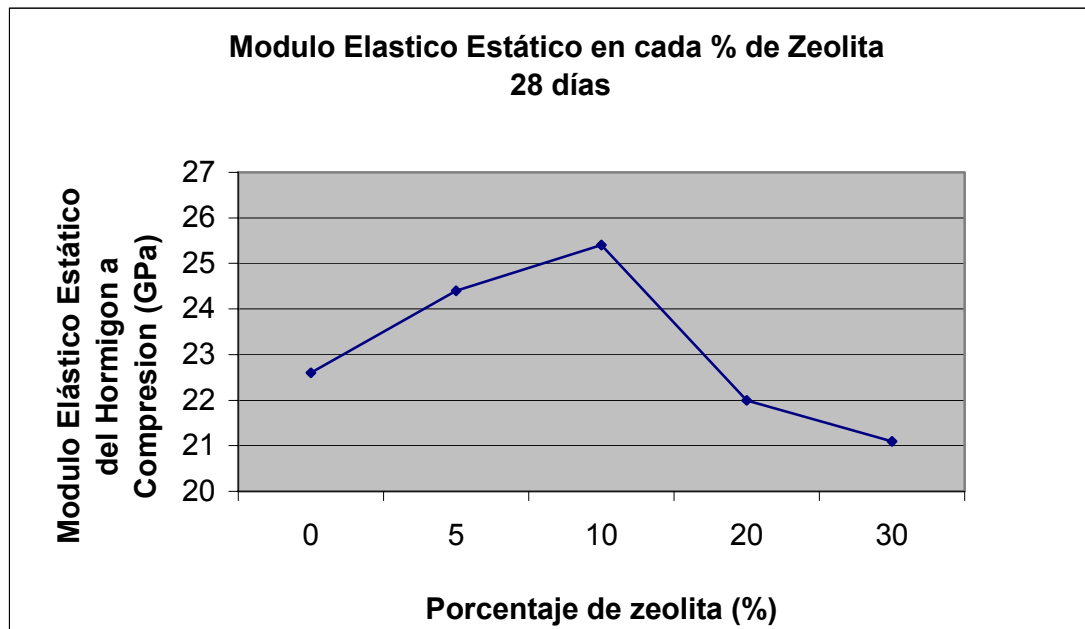


Gráfico 6.3.1 “Módulo Elástico Estático del Hormigón a Compresión 28 días”

#### 6.4 Densidad Absorción y Porosidad

Las especificaciones para esta prueba se prepararon de acuerdo a la norma **ASTM C 642 – 97** “*Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*” la cual detallaremos mas adelante.

Para esta prueba los testigos o cilindros pequeños son de iguales características que en la resistencia a la compresión simple y tracción

por compresión diametral en lo que a su diseño y construcción se refiere. Este ensayo se lo realizo para la edad de 28 días con todas las dosificaciones de la zeolita.

Para esto tomamos el cilindro pequeño de la cámara de curado y lo pesamos en la balanza de precisión, este será el peso del cilindro en superficie seca después de la inmersión en gramos.



*Figura 6.4.1 “ Cuantificación del peso del Cilindro en la Balanza de Precisión”. Este valor se tomo a todos los cilindros a los con 28 días de edad y en todas las dosificaciones de zeolita.*

Luego lo llevamos a la Balanza de Humboldt, donde se lo pesa sumergido en agua este es el peso del cilindro en agua después de la inmersión.



*Figura 6.4.2 y 6.4.3 respectivamente “Lectura de peso de cilindro sumergido en agua en la Balanza de Humboldt”*

Después de esto los cilindros se colocan para pasar por un proceso de ser hervidos por un tiempo de 5 horas, después se espera que enfrien y se lo pesa nuevamente en la balanza de precisión, y después en la Balanza de Humboldt Sumergido.



*Figura 6.4.4 “Proceso de Hervido de Cilindros durante 5 Horas”*

Estos son los pesos en superficie seca después del hervido y peso sumergido después del hervido respectivamente.

El cilindro luego de que enfrió y se tomaros los pesos necesarios se coloca en un horno para ser secado durante todo el día.



*Figura 6.4.5 “ Cilindros colocados en el Horno para ser Secados”*

Al siguiente día después de que el cilindro se enfríe, se lo pesa y obtendremos el peso seco al horno en superficie seca después del hervido.

Una vez obtenidos estos valores procedemos a calcular los porcentajes de absorción, vacíos y densidad en cada caso por medio formulas respectivas (Anexo1).

Los resultados de estas pruebas los mostramos a continuación en las siguientes tablas:

<b>Porcentaje Zeolita</b>	<b>% de Absorción después de la Inmersión</b>		
	<b>cilindro 1</b>	<b>cilindro2</b>	<b>Promedio %</b>
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 6.4.1 "Porcentaje de Absorción después de la Inmersión para cada % de zeolita"*

<b>Porcentaje Zeolita</b>	<b>% de Absorción después de la Inmersión y hervido</b>		
	<b>cilindro 1</b>	<b>cilindro2</b>	<b>Promedio %</b>
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 6.4.2 "Porcentaje de Absorción después de la Inmersión y el hervido para cada % de zeolita"*

Porcentaje Zeolita	Densidad de Volumen seco (Mg/m <sup>3</sup> )		
	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 6.4.3 "Densidad de Volumen seco para cada % de zeolita"

Porcentaje Zeolita	Densidad de Volumen después de la Inmersión (Mg/m <sup>3</sup> )		
	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 6.4.4 "Densidad de Volumen después de la Inmersión para cada % de zeolita"

Porcentaje Zeolita	Densidad de Volumen después de la Inmersión y Hervido (Mg/m <sup>3</sup> )		
	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 6.4.5 "Densidad de Volumen después de la Inmersión y Hervido para cada % de zeolita"



Porcentaje Zeolita	Densidad Aparente (Mg/m <sup>3</sup> )		
	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 6.4.6 "Densidad Aparente para 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

*Tabla 6.4.7 "Volumen de espacios de Poros Permeables para cada % de zeolita"*

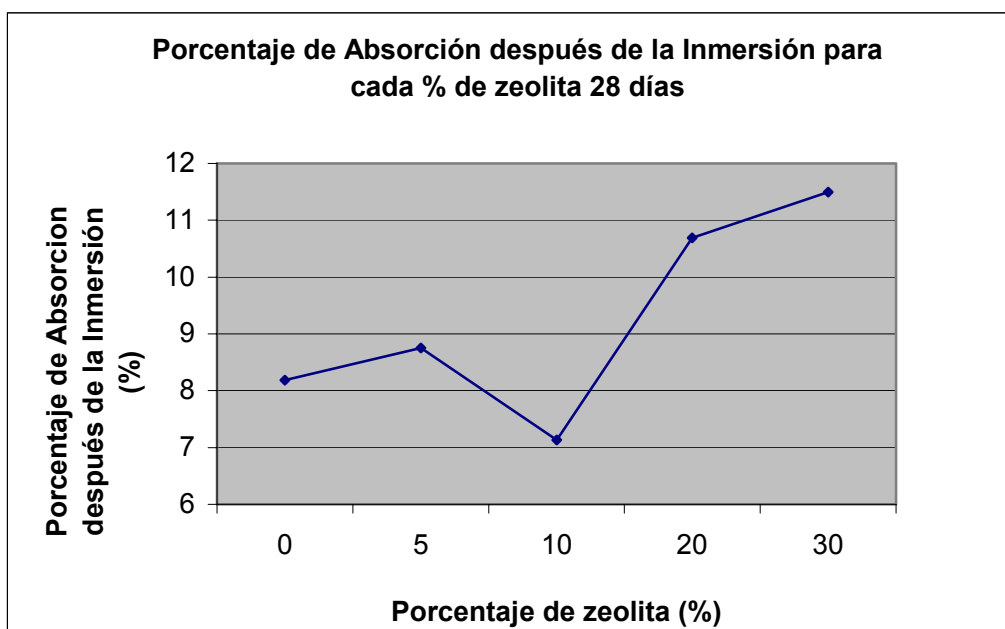


Gráfico 6.4.1 "Porcentaje de Absorción después de la Inmersión para cada % de zeolita"

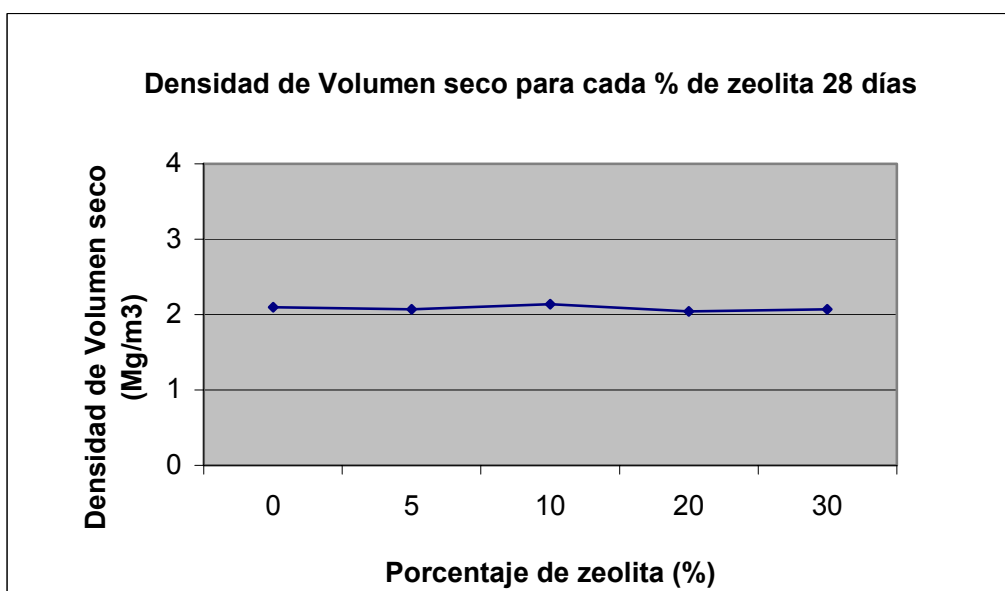


Gráfico 6.4.2 "Densidad de Volumen seco para cada % de zeolita"

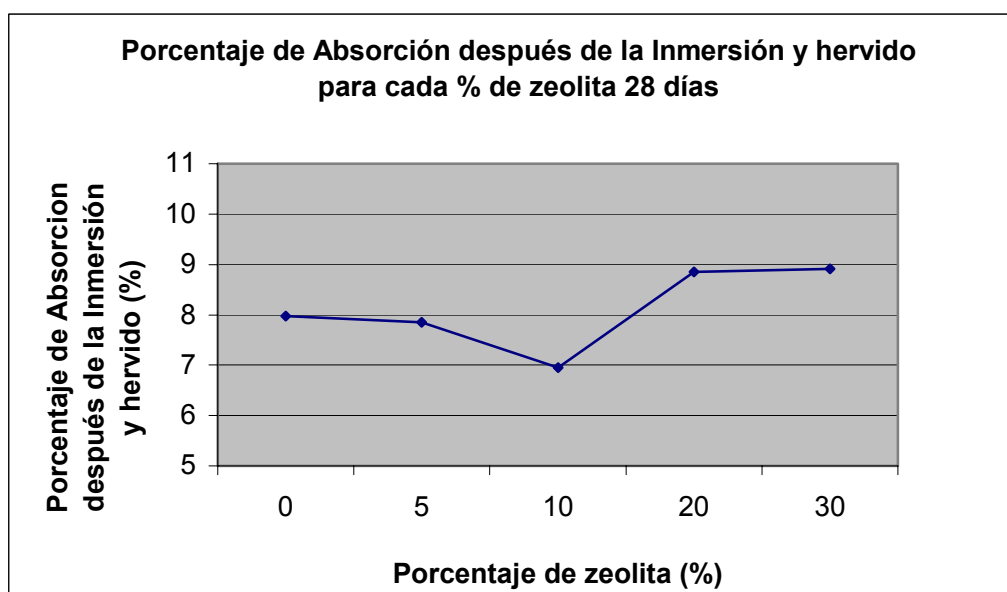


Gráfico 6.4.3 “Porcentaje de Absorción después de la Inmersión y el hervido para cada % de zeolita”

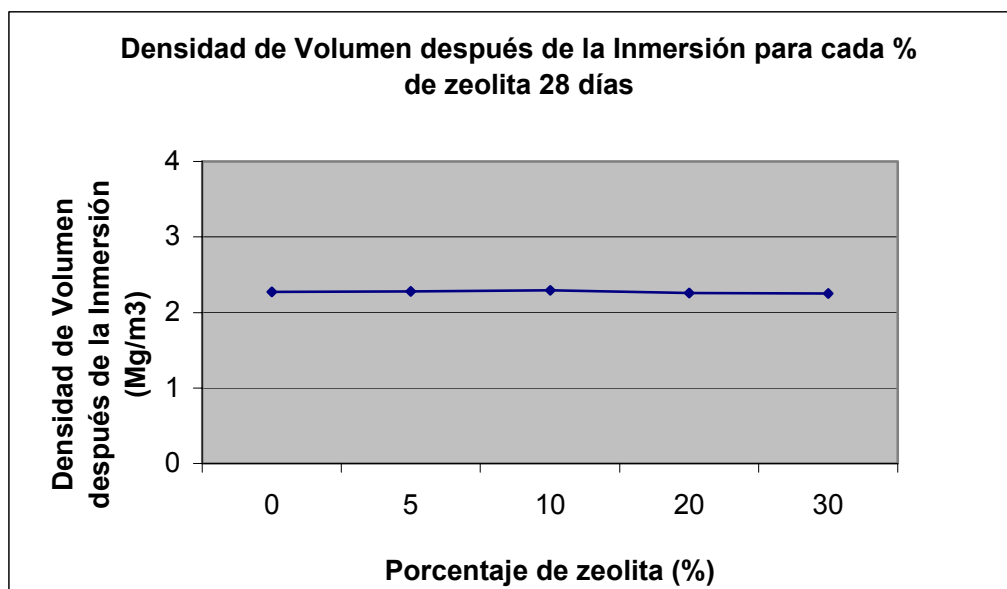


Gráfico 6.4.4 “Densidad de Volumen después de la Inmersión para cada % de zeolita”

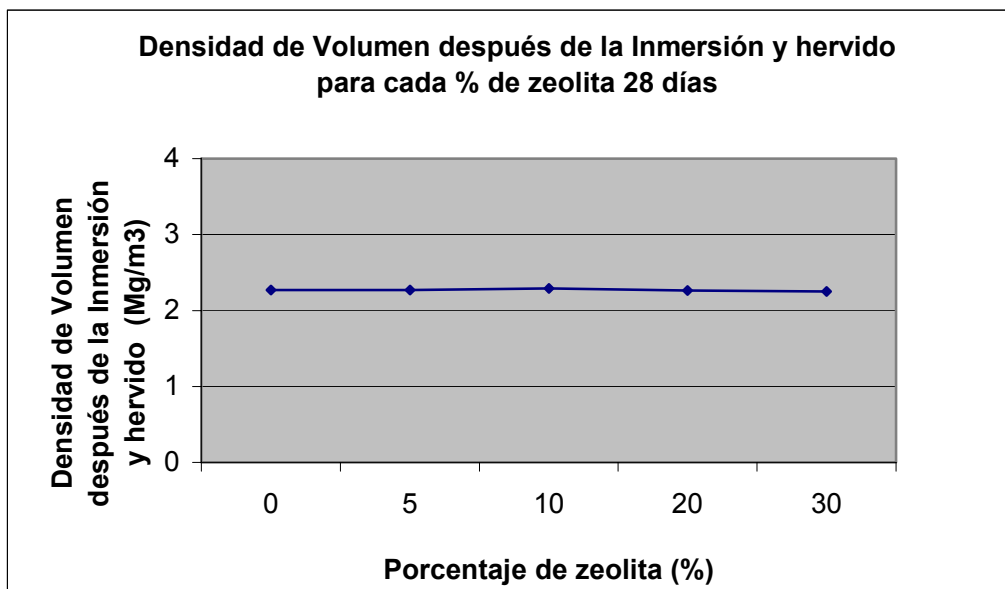


Gráfico 6.4.5 “Densidad de Volumen después de la Inmersión y Hervido para cada % de zeolita”

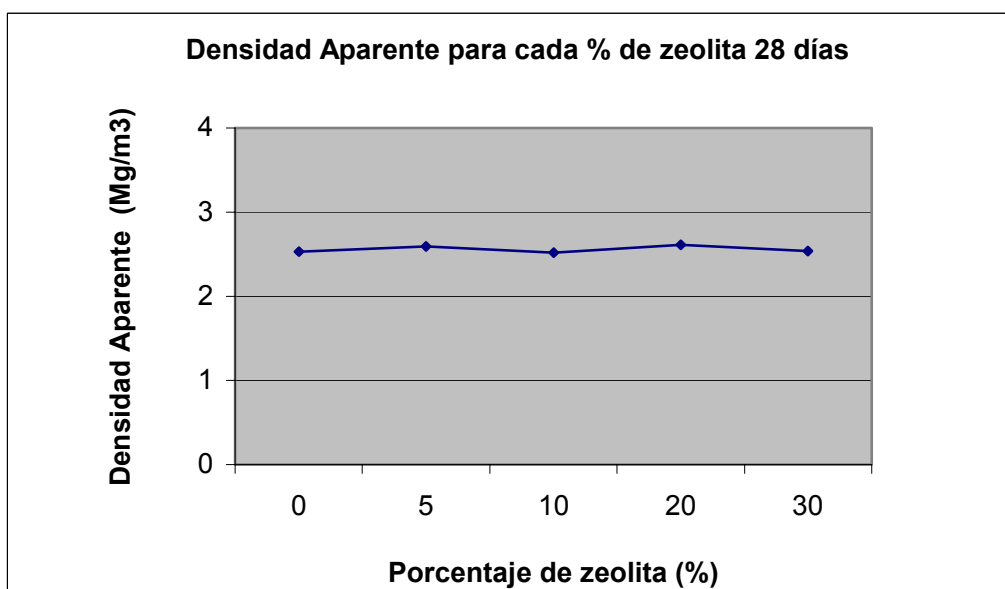


Gráfico 6.4.6 “Densidad Aparente para cada % de zeolita”

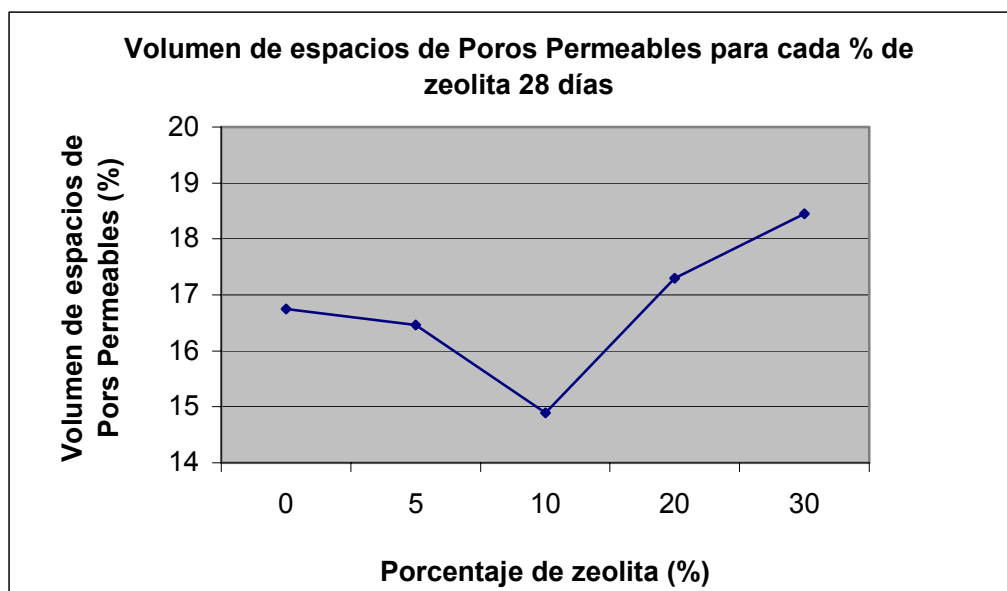


Gráfico 6.4.7 “Volumen de espacios de Poros Permeables para cada % de zeolita”

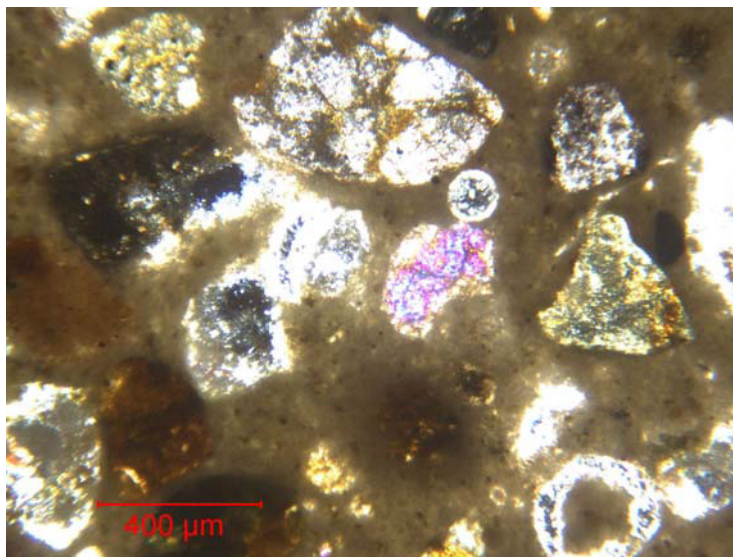
## 6.5 Examinación Petrográfica

Para esta prueba, Las especificaciones se prepararon de acuerdo a la norma **ASTM C 856 – 95** “*Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete*” la cual detallaremos mas adelante.

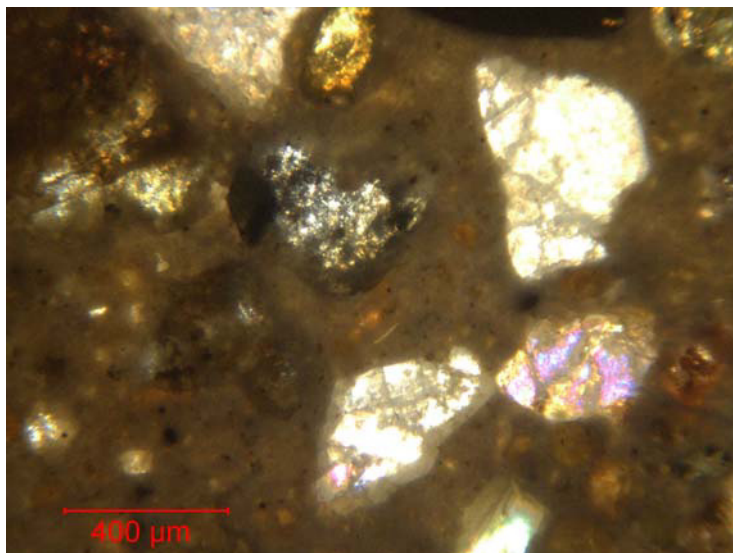
En esta prueba se escogieron únicamente dos porcentajes de zeolita en dos cilindros, uno el patrón con 0 % y otro el de 30 % de zeolita. Fueron cortados y llevados al laboratorio de Petroecuador, donde se hicieron las laminas petrográficas una vez analizadas al microscopio determinamos

que, la muestra con 0 % de zeolita presenta espacios vacíos entre los agregados así como el contacto entre estos. Por lo contrario en la muestra con 30 % estos espacios vacíos se reducen notablemente y ya no se presenta contacto entre los agregados. Lo que se deduce es que la zeolita ayuda en la masa del hormigón reduciendo los vacíos y dando una característica mas homogénea a esta.

A continuación mostramos las graficas tomadas al microscopio, de las dos muestras de hormigón para visualizar las diferencias.



*Foto 6.5.1 “Corte de la muestra Patrón 0 %de Zeolita, donde existe contacto entre los agregados y se presentan espacios de aire”*



*Foto 6.5.2 “Corte de la muestra con 30 % de Zeolita, donde no se observa contacto entre los agregados y se reducen espacios de aire”*

## **6.6 Análisis de Resultados**

Para el diseño escogido con cemento Tipo I, de  $400 \text{ Kg/m}^3$  podemos notar según los resultados que el hormigón con zeolita tiende a mejorar las propiedades estudiadas en esta tesis. Si revisamos el valor de la velocidad de ultrasonido encontramos que a medida que la edad aumenta el valor de la velocidad es mayor, posiblemente debido a la reducción de espacios vacíos que la zeolita ocupó en el Hormigón. Esto se comprueba con los resultados obtenidos en la prueba de contenido de aire en el hormigón, donde el 30 % de zeolita nos da un menor valor de contenido de aire.

Para el caso de la resistencia, en la compresión simple se observa que en todas las edades el diseño con 10 % de zeolita es el mas optimo ya que aumenta la resistencia del hormigón normal en un 12 % aproximadamente, igual sucede en la tracción por compresión diametral donde el 10 % es el de mayor valor de esfuerzo para el hormigón, mejorando a mayor edad hasta en un 30 % mas del valor de la resistencia normal del hormigón.

En el resto de pruebas también se observa que el 10 % de zeolita genera un valor diferente y favorable para el hormigón. Lo que ayudará en la fabricación del cemento puzolánico.

En la Examinación petrográfica se observo que la muestra con zeolita presenta menos vacíos y se reducen notablemente el contacto entre los agregados. Esto muestra el trabajo beneficioso que la zeolita realiza en el hormigón.



Los diseños donde se utilizó la zeolita presentaron una mezcla con una propiedad más pastosa que el hormigón del modelo patrón, esto puede ser por que como ya se mencionó la zeolita debió haber ocupado los espacios vacíos existentes en el hormigón haciéndolo más cohesivo y mejorando sus propiedades.

## **CAPITULO 7**

### **7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 conclusiones**

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

Entre los logros obtenidos esta la resistencia, donde se observo que las muestras de hormigón con adiciones de zeolita, específicamente la del 10 % aumento el valor de resistencia que tiene el hormigón tanto en la resistencia a la compresión simple, como a la tracción por compresión diametral, mejorando después de los 28 días.

En la prueba de contenido de aire se presento una reducción en su porcentaje a medida que aumentaba el porcentaje de zeolita. La velocidad de ultrasonido aumento el todas las edades alcanzando su valor pico en el diseño con 10 % de zeolita.

En lo que respecta al modulo de elasticidad este aumento en un 12 % del valor que la muestra patrón genero, este aumento se alcanzo cuando la dosificación del diseño tenia 10 % de zeolita.

De igual forma las propiedades de densidad, absorción y porosidad presentaron sus mejores valores el diseño que se preparo con 10 % de zeolita.

En la prueba de la Examinación petrográfica se presentó una característica particular al observar el las fotografías la reducción de vacíos en el hormigón con zeolita lo cual es muy importante en las propiedades mecánicas del mismo.

Como podemos notar, la zeolita ayuda a mejorar las características del hormigón en muchos aspectos, según todas la pruebas realizadas el diseño que presentaba un 10 % de zeolita fue el que supero los otros diseños, incluyendo el modelo Patrón, con lo que podemos mencionar que el Cemento Pórtland con un 10 % de zeolita adicionado con respecto a su masa constituye un buen cemento puzolanico.

La trabajabilidad es también una característica importante , y el hormigón con adiciones de zeolita la tiene. Es importante recordar que debido a que la adición puzolanica retarda la ganancia temprana de resistencia, la fluencia especifica de cementos puzolánicos es mayor que la de los Pórtland. También es sensato pensar que el hecho de la zeolita es silícea, esto le proporcione mejoras a la característica del cemento Pórtland en cuanto a su durabilidad.

## **7.2 Recomendaciones**

Con el uso de cemento puzolanico el constructor encontrará que obtiene varias ventajas al utilizar este material, tales como similares resistencias a la compresión, gran manejabilidad de las mezclas frescas, e incluso una mayor resistencia después de los 28 días de edad.

Las zeolitas ya has demostrado su idoneidad y competitividad en el campo de la construcción. Por esto en importante ver a este material como algo mas que una simple adición, debemos observarlo como un recurso valioso que se puede utilizar para el desarrollo de la construcción y de otra ramas.

Entre otra de las ventajas de usar esta puzolana, es el costo del transporte. Actualmente la puzolana que utiliza la planta local proviene desde Latacunga. Considerando que la fuente de extracción de la zeolita estaría mas cerca de la fabrica 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 disminuiría el costo del rubro transporte.

En otros países ya se esta aprovechando los beneficios de este material, y cuentas con grandes producciones de zeolita. Países como Cuba, Japón y China utilizan la zeolita para aplicaciones en la construcción mayormente.

La zeolita en nuestro país ha sido considerada en otras ramas, pero en el momento de que se la enfoque para la rama de la construcción. En el campus de la Prosperina actualmente se están realizando trabajos de construcción y excavación debido al proyecto del Parque Tecnológico ESPOL. Podemos aprovechar estos trabajos y los estudios del suelo

para ubicar yacimientos de zeolita en el campus, y la evaluación detallada de sus reservas.

No debemos dejar de aprovechar este mineral ya que se torna como un valioso recurso, que aunque en nuestro país no ha sido explotado aún, con el correcto aprovechamiento y el empleo racional del mismo, se podría sacar el mejor de los provechos a la reserva de este mineral.

# ANEXOS

## ANEXO 1

FORMULAS PARA EL CALCULO DE LOS PORCENTAJES DE ABSORCIÓN, DENSIDAD, Y ESPACIOS DE POROS PERMEABLES.

### Porcentaje de Absorción después de la inmersión

$$\left[ \frac{(B - A)}{A} \right] \times 100$$

### Porcentaje de Absorción después de la inmersión y hervido

$$\left[ \frac{(C - A)}{A} \right] * 100$$

### Densidad de Volumen seco (g1) Mg/m<sup>3</sup>

$$\left[ \frac{A}{(C - D)} \right] * \rho$$

### Densidad de Volumen Después de la inmersión

$$\left[ \frac{B}{(C - D)} \right] * \rho$$

### Densidad de Volumen Después de la inmersión y hervido

$$\left[ \frac{C}{(C - D)} \right] * \rho$$

### Densidad Aparente (g2) Mg/m<sup>3</sup>

$$\left[ \frac{A}{(A - D)} \right] * \rho$$

### Volumen de Espacios de Poros Permeables (%)

$$\left[ \frac{(g_2 - g_1)}{g_2} \right] * 100 \quad \bullet \quad \left[ \frac{(C - A)}{(C - D)} \right] * 100$$

**Donde:**

**B = Peso en Superficie seca después de la inmersión (gr.)**

**A = Peso seco al horno en superficie seca después del hervido (gr.)**

**C = Peso en superficie seca después del hervido (gr.)**

D = Peso aparente en agua después del hervido (gr.)

$\rho$  = Densidad del agua = 1Mg/m<sup>3</sup> o 1gr/cm<sup>3</sup>



## BIBLIOGRAFÍA

1. Peter C. Hewlett, "LEAS Chemistry of Cement and Concrete" 4<sup>th</sup> Edition
2. Código ASTM C 231 – 97 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete, both in the laboratory and in the field.
3. Código ASTM C 39 – 01 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
4. Código ASTM C 138M – 01a Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (gravimetric) of Concrete.
5. Código ASTM C 642 – 97 Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete.
6. Código ASTM C 597 – 97 Standard Test Method for Pulse Velocity Trough Concrete.
7. Código ASTM C 469 – 94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
8. Código ASTM C 143M – 00 Standard Test Method for Slump of hydraulic – cement Concrete.
9. Código ASTM C 496 – 96 Standard Test Method for Splitting Tensile of Cylindrical Concrete Specimens.

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

11. R-1 Robalino E. Paola Tesis de Grado “El Uso de Zeolita como una adición Mineral para producir cemento puzolanico”, Año 2004\_Pag, 14,17,19,25,27,28,29,32,35.

12. R-2 Peter C. Hewlett, “LEAS Chemistry of Cement and Concrete” 4<sup>th</sup> Edition (Pozzolan – Containing Cements), Pag, 564,Table 10,41-10,42.

13. R-3 Jiménez M. Fabricio Tesis de Grado “Obtención de Concreto de alta Resistencia mediante la adición en el diseño de un súper plastificante y Ceniza de Cascarilla de Arroz”, Año 2001 Pag, 14,15,18.

14. R-4 Egüez A. Hugo Centro Técnico del Hormigón “Monografías de Agregado para Hormigón” n.008 Año 1995.

15. Internet, páginas web:

[http://www.ich.cl/biblioteca/biblioteca\\_preg\\_frec.htm](http://www.ich.cl/biblioteca/biblioteca_preg_frec.htm)

[http://www.asocem.org.pe/mercado\\_de\\_cemento.htm](http://www.asocem.org.pe/mercado_de_cemento.htm)

[http://www.cbb.cl/man\\_cem.htm](http://www.cbb.cl/man_cem.htm)

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

