La adición de Zeolita 2 al 25% en la mezcla de Cemento PORTLAND Tipo I con curado en agua y su influencia en la Resistencia a la Compresión Uniaxial

Samuel I. Ochoa Vera
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
sochoa@espol.edu.ec.

Juan Carlos Pindo. Ing.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
jpindo@espol.edu.ec.

Resumen

El presente trabajo es un estudio acerca del comportamiento de la resistencia a la compresión uniaxial en las pastas de cemento, cuando se agrega 25% de Zeolita 2 en la mezcla y se le aplica un curado en agua. La presente Tesis se desarrolla en dos etapas, la primera de ellas es la experimentación, que consiste en la realización de las probetas de pasta de cemento, ensayos destructivos, medición de resistencias y el análisis estadístico de los resultados obtenidos y la segunda etapa el desarrollo de un modelo teórico a partir de los parámetros obtenidos del experimento y su implementación en lenguaje de programación, que para este caso será Matlab. Al terminar las dos etapas se realiza una comparación del ajuste del modelo teórico con los datos experimentales. Otra parte del estudio consiste en la comparación de los resultados entre el material compuesto (pasta de cemento + Zeolita 2) y los cementos base Tipo I y Tipo IV.

Palabra claves: *Cemento, Zeolita 2, resistencia uniaxial a la compresión, experimentación, análisis estadístico, modelo matemático.*

Abstract

This work is a study about the behavior of the uniaxial compressive strength in cement grout, adding 25% of Zeolite 2 in the mix and water curing. This essay is developed in two phases, the first one is experimentation, that consists on making the buret of cement grout, destructive tests, measurement of resistances and the statistical analysis of the experimental results and the second phase consists on the development of a theoretical model and its implementation in a programming language. At the end of the two stages was made a comparison of the adjustment of the theoretical model with experimental data. Another key part of this study is the comparison between the composite material (cement paste + Zeolite 2) with cement base Type I and Type IV cement.

Key words: *Cement, Zeolite 2, uniaxial compressive strength, experimental, statistical analysis, mathematical model.*

1. Introducción

El presente estudio trata de encontrar diferencias significativas en el esfuerzo de compresión de la pasta de cemento (cemento Portland tipo I + Zeolita 2 al 25 %) curada en agua, con el fin de mejorar el esfuerzo de compresión en este tipo de pasta de cemento y brindar otra opción al mercado local de la construcción.

Para realizar este estudio se utilizó varias herramientas con las cuales se pudo recolectar datos, analizarlos y simularlos.

Además se comparo los resultados que se obtuvo en el laboratorio experimentalmente con los datos que se obtuvo con el modelo matemático el cual será simulado en MATLAB.

Finalmente analizó si la adición de Zeolita 2 al 25% y curado en agua aumenta el esfuerzo de compresión del cemento Portland tipo I.

2. Objetivos

El objetivo general es analizar el efecto que se obtiene en el esfuerzo de compresión del cemento Portland tipo I al adicionar 25 % de zeolita 2 y curado en agua.

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Diseñar el modelo de experimento.
- Realizar los ensayos con las probetas.
- Recolectar los datos de la fuerza de compresión.
- Analizar e interpretar los datos recolectados.
- Diseñar la modelación del comportamiento de la pasta de cemento.

3. Metodología

3.1. Protocolo Experimental

El protocolo experimental se lo realizó siguiendo el siguiente proceso:

1. Molienda.
2. Preparación de las probetas de pasta de cemento.
3. Ensayos destructivos (compresión).

El protocolo experimental, se regirá según la Norma ASTM C 109/C 109M – 02, Método de prueba estándar para la Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (Utilizando especímenes cúbicos 50 mm).Según la norma se necesitan de dos a tres especímenes para cada período de prueba [1].

Los materiales necesarios para llevar a cabo la experimentación son:

- Cemento Portland Tipo I
- Zeolita 2
- Agua
- Aceite

Los equipos utilizados se enlistan a continuación:

- Balanza analítica.
- Moldes.
- Paleta.
- Mezclador mecánico.
- Máquina de ensayo de compresión.

Molienda

El proceso de molienda se realiza en varias etapas dado que la zeolita 2 debe terminar con granulometría de 45 μm.

En la tabla 1 detallo las etapas y tiempos que se realiza en la molienda.

Tabla 1. Etapas de la Molienda

Etapa	Tiempo (minutos)
Trituración Manual	5
Trituradora de Mandíbulas	10
Trituradora de Rodillos	10
Primer tamizado	15
Molino de disco	10
Segundo tamizado	15
Molino de bolas	55
Tercer tamizado	15

Luego se almacena la Zeolita 2 para su respectivo uso en la etapa de preparación de las probetas.

Preparación de las probetas de pasta de cemento.

Lo primero que se realiza es el cálculo de las proporciones que compone la pasta de cemento. Para este estudio se realizan 12 probetas, con una masa total de 3000 gramos la cual esta repartida en 750 gramos de Zeolita 2, 2250 gramos de cemento tipo I y 900 gramos de agua con una relación agua/ cemento de 0.3.

La preparación de la pasta de cemento debe realizarse con mezcla mecánica con el procedimiento según la norma ASTM C 305.

Luego se realiza el siguiente proceso para el moldeo de las probetas:

1. Limpiar los moldes.
2. Secar los moldes.
3. Engrasar los moldes.
4. Verter pasta de cemento hasta la mitad de la capacidad del molde.
5. Compactar la pasta vertida en los moldes.
6. Manualmente retiramos las burbujas de aire en el interior del molde.
7. Verter pasta de cemento hasta el tope de la capacidad del molde.
8. Manualmente retiramos las burbujas de aire en el interior del molde.
9. Retirar el exceso de pasta de cemento en los moldes.
10. Compactar la pasta vertida en los moldes.
11. Cubrir los moldes con plásticos.

Pasadas 24 horas se procede a desmoldar las probetas y se las marca según el porcentaje de Zeolita 2 y el tiempo al que se hará el ensayo.

Luego se realiza la inmersión de las probetas en una tina llena de agua.

Para finalizar se anota la temperatura y la humedad relativa del laboratorio al momento de colocar las probetas en agua

Cabe acotar que la humedad relativa del laboratorio no debe pasar del 50%, la humedad del cuarto se ajustan según los requisitos de las especificaciones C511.

Figura 3.1. Preparación de probetas

Ensayos destructivos

Para realizar el ensayo de compresión se debe preparar la maquina y las probetas.

Además se preparan las probetas, dejándolas secar correctamente y limando sus aristas vivas.

Luego se coloca la probeta en la maquina de ensayo y se carga hasta que llegue a cero, tanto el medidor de compresión como el reloj comparador (deformación).

Finalmente se enciende la maquina, que comprime la probeta y se toman mediciones cada 0.005 pulgadas de compresión hasta que llegue al punto de ruptura.

Figura 3.2. Ensayo de Compresión.

3.2. Análisis de datos

El análisis de los datos recolectados se la realizó con la siguiente metodología:

1. Registrar los datos
2. Tabular los datos
3. Graficar los datos
4. Modelar
5. Inferir estadísticamente

Los datos que se obtienen se los tabulan según su tiempo de curado y el número de probeta analizada.

Los gráficos que se realizan con los datos experimentales son los que se mencionan a continuación:

- Grafico esfuerzo de compresión vs deformación, incluyendo las tres probetas por cada tiempo de curado aplicado.
- Grafico esfuerzo de compresión vs deformación, seleccionando la zona elástica para el cálculo del modulo de elasticidad.
- Grafico esfuerzo de compresión máximo vs tiempo de curado, comparando la pasta de cemento con el cemento tipo I y el tipo IV.

Luego de este análisis graficó de los resultados de la experimentación, se realiza el análisis estadístico, lo que comprende la normalidad de los datos y análisis de varianza con el método ANOVA ONE WAY para encontrar diferencias significativas en el efecto que tiene el tiempo de curado y el % de Zeolita 2 adicionado con respecto al cemento tipo I y el tipo IV.

Finalmente se realiza una comparación entre el grafico teórico (simulación) y el experimental, para observa la similitud del modelo matemático con el comportamiento de la pasta de cemento.

3.3. Modelo Matemático

Este modelo matemático está basado en la teoría de la inelasticidad para un material elasto-plástico.
Se consideró la probeta como una barra elasto-plástica sometida a una fuerza uniaxial en los extremos y se asumió que la curva esfuerzo – deformación está dada por una relación bilineal, donde E es el módulo de Young y σ_{y0} es el esfuerzo de fluencia [2].

Para la barra sometida a compresión el rango elástico en compresión está dado por $-\sigma_{YC} < 0$, puesto que la barra se soporta lateralmente para prevenir el pandeo, y se definió la zona elástica con la ecuación 3.1.

$$E_0 = \{\sigma \in R \mid -\sigma_{Y0} \leq \sigma \leq \sigma_{Y0}\} \quad \text{Ec. 3.1}$$

En cualquier punto más allá del esfuerzo de fluencia, la deformación axial total de la barra puede descomponerse aditivamente en una parte elástica y una plástica como se observa en la ecuación 3.2

$$\varepsilon = \varepsilon^{e} + \varepsilon^{p} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde ε: deformación axial total

ε^{e}: Deformación en la región elástica

ε^{p}: Deformación en la región plástica

La ecuación constitutiva para la barra está dada por la ecuación 3.3

$$\sigma = E\varepsilon^{e} = E(\varepsilon - \varepsilon^{p}) \quad \text{Ec. 3.3}$$

y para cualquier aplicación de carga adicional que produce deformación plástica adicional, la derivada con respecto al tiempo del esfuerzo axial está regida por la ecuación 3.4

$$\dot{\sigma} = E(\dot{\varepsilon} - \dot{\varepsilon}^{p}) \quad \text{Ec. 3.4}$$

La región elástica puede ser definida en términos de la función fluencia inicial y se la definió con la ecuación 3.5

$$f(\sigma, \sigma_{Y0}) = |\sigma| - \sigma_{Y0} = 0 \quad \text{Ec. 3.5}$$

por lo tanto, la región elástica inicial esta regida por la ecuación 3.6

$$E_0 = \{\sigma \in R \mid f(\sigma, \sigma_{Y0}) \leq 0\} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Se asume que la barra está sujeta a carga diferencial, la que produce deformación axial plástica diferencial. Esto es posible si la barra está fluyendo en compresión y se comprime aún más. Denotando la magnitud de la tasa de deformación plástica por $\lambda \geq 0$, tenemos

$$\dot{\varepsilon}^{p} \begin{cases} +\lambda, & if\ \sigma > 0 \\ -\lambda, & if\ \sigma < 0 \end{cases}$$

Alternativamente se puede escribir como la ecuación 3.7

$$\dot{\varepsilon}^{p} = \lambda \frac{\partial f}{\partial \lambda}, \qquad \frac{\partial f}{\partial \lambda} = sign(\sigma) \quad \text{Ec. 3.7}$$

La ecuación 3.7 se llama regla de flujo para la tasa de deformación plástica. La regla de flujo contiene la magnitud de la tasa de deformación, $\dot{\lambda}$, y como el sentido, $\frac{\delta f}{\delta \lambda}$, describiendo tensión o compresión.

Asuma que la barra continúa a fluencia en compresión y que el esfuerzo de fluencia cambia del valor inicial σ_{Y0} al valor actual σ_Y, entonces la función fluencia actual se puede escribir como:

$$f(\sigma, \sigma_Y) = |\sigma| - \sigma_Y = 0$$

y la región elástica actual

$$E_0 = \{\sigma \in R \mid f(\sigma, \sigma_Y) < 0\}$$

Una simple ley que describe la evolución de σ_Y con la continuada deformación plástica está dada por la ecuación 3.8

$$\dot{\sigma}_Y = H'|\dot{\varepsilon}^p| = H'\dot{\lambda} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Por definición, la barra exhibe una respuesta de endurecimiento si *H'>0*, una respuesta de plasticidad perfecta si *H'=0*, y una respuesta de ablandamiento si *H'<0*.

El esfuerzo axial σ y el parámetro $\dot{\lambda}$, están restringidas por ciertas restricciones unilaterales

$$\dot{\lambda} \geq 0, \qquad f(\sigma, \sigma_Y) \leq 0$$

Existen dos posibilidades:
Si la barra está deformada elásticamente, entonces $\dot{\lambda}$=0 y $f(\sigma, \sigma_Y) \leq 0$, en el otro lado si está deformada plásticamente, entonces $\dot{\lambda} \geq 0$ y $f(\sigma, \sigma_Y) = 0$.

Lo que de una forma más compacta es la ecuación 3.9

$$\dot{\lambda} f(\sigma, \sigma_Y) = 0 \qquad \text{Ec. 3.9}$$

La ecuación 3.9 recibe el nombre de condición de Kuhn-Tucker y representa una condición que debe cumplirse para deformación elástica como para plástica.

Implementación numérica del modelo

Esta implementación numérica del modelo se la realizó en el software MATLAB.

Para la implementación numérica se consideró un intervalo típico de tiempo $t \in [t_n, t_{n+1}]$, además se asume que σ_n y $\sigma_{Y,n}$ son conocidos.

Luego se calculó los valores σ_{n+1} y $\sigma_{Y,n+1}$ que deben cumplir la condición de Kuhn-Tucker (Ec. 3.9) para un incremento de deformación $\Delta\varepsilon$.
Luego se debe definir σ_{n+1}^{tr} que es el predictor del esfuerzo elástico, y también se definió el corrector del esfuerzo plástico, $E\,\Delta\varepsilon^p$.

Esta implementación numérica se rige por 4 pasos: descomposición aditiva del esfuerzo, la ley de hook, la regla de flujo y las restricciones.

En el primer paso se calculó un σ_{n+1}^{tr} con la siguiente expresión

$$\sigma_{n+1}^{tr} = \sigma_n + E\Delta\varepsilon$$

Que representa el esfuerzo elástico predictor en el punto siguiente al inicial.

En el segundo paso se calculó la diferencia entre el esfuerzo de fluencia ($\sigma_{Y,n}$) con el esfuerzo calculado en el paso 1 y a esta diferencia se la asignó como F_{n+1}^{tr}.

Por lo que si F_{n+1}^{tr} es menor a cero se continua al paso 3 y si es mayor a cero entonces $\sigma_{n+1}^{tr} = \sigma_n$ y $\sigma_{n+1} = \sigma_{Y,n+1}$ y sale del algoritmo.

En el paso 3 se utilizó un método iterativo llamado Newton-Raphson hasta encontrar un $\Delta\lambda$ que satisfaga la siguiente expresión:

$$F_{n+1}(\Delta\lambda) = F_{n+1}{}^{tr} - \Delta\lambda\left(E + H'_{n+1}(\Delta\lambda)\right) = 0$$

En el paso 4 se calculan los esfuerzos σ_{n+1} y $\sigma_{Y,n+1}$ con las siguientes expresiones:

$$\sigma_{n+1} = \sigma_{n+1}{}^{tr} - E\Delta\lambda sgn(\sigma_{n+1}{}^{tr})$$

$$\sigma_{Y,n+1} = \sigma_{Y,n} + H'_{n+1}(\Delta\lambda)$$

Finalmente se obtuvo un valor de esfuerzo el cual se lo acumula y se forma un vector esfuerzo para realizar la grafica Esfuerzo vs Deformación.

4. Resultados

La Tabla 2 resume la composición de la mezcla empleada para llevar a cabo el experimento con una concentración de Zeolita 2 al 25%.

Tabla 2. Composición de la mezcla, con una concentración de Zeolita 2 al 25%

Puzolana en la mezcla(g)	750
Cemento en la mezcla(g)	2250
Agua (g)	900
Mezcla (puzolana +cemento) (g)	3000
Relación agua / mezcla	0,3

La Tabla 3 muestra los datos promedio del esfuerzo de compresión para 7, 14, 21 y 28 días de curado en agua que se obtuvo adicionando 25% de Zeolita 2 al cemento Portland Tipo I.

Tabla 3. Datos experimentales

Deformacion	Esfuerzo de Compresion Promedios (Mpa)			
unitaria	7 Dias	14 Dias	21 Dias	28 Dias
0	0	0	0	0
0,00254	10,90	7,76	2,43	1,48
0,00508	26,73	23,77	8,53	2,78
0,00762	46,35	43,86	21,34	5,99
0,01016	66,68	64,90	37,40	15,65
0,0127	78,23	76,04	53,04	30,64
0,01524		80,46	72,60	47,12
0,01778			76,46	66,38
0,02032				78,82
0,02286				69,35

En la figura 4.1 se observa el comportamiento de la pasta de cemento según el tiempo de curado en agua.

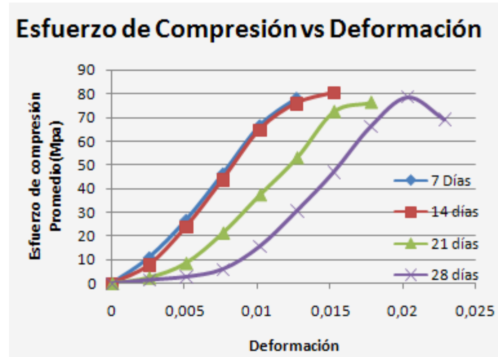

Figura 4.1. Gráfica Esfuerzo Promedio vs. Deformación (25% Zeolita 2).

4.1. Análisis de Resultados

El análisis de los resultados se los realizó de forma individual y grupal. El análisis individual se detalla a continuación:

Análisis Individual

El análisis individual, se lo realizó gráficamente y estadísticamente.

El análisis grafico se basó en una comparación gráfica entre los datos obtenidos en la experimentación con los patrones que son el cemento Tipo I y Tipo IV.

En la figura 4.2 se observa el comportamiento de la pasta de cemento a los 7 días de inmersión y la respectiva comparación con los patrones.

Figura 4.2. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación a los 7 Días de curado.

En el análisis estadístico se realizó una comprobación de la distribución normal de los datos experimentales y un análisis de varianza [11 y 12].

Se utilizó el método ANOVA One-Way, para determinar si existe o no diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, que en este estudio es el tiempo de curado y la variable de repuesta es el esfuerzo último de compresión.

Para afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos se calculó el estadístico F_{cr} mediante tablas según los grados de libertad, lo que dio como resultado un valor de 4.06.

Se comparó el valor del estadístico F_{cal} que se obtuvo en el análisis con el F_{cr}, lo que dio como resultado que F_{cal} es mayor al F_{cr}.

$$F_{cal}=19.19 > F_{cr}=4.06$$

Tabla 4. Análisis de varianza, one way

Effect	Univariate Results for Each DV (Sheet1 in Imported from C:\Docum Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition Degr. of Freedom	Eprom SS	Eprom MS	Eprom F	Eprom p
Intercept	1	593853898	593853898	1744,148	0,000000
dias	3	19609078	6536359	19,197	0,000517
Error	8	2723870	340484		
Total	11	22332948			

Por lo que se concluyó que existen diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, por lo tanto se deduce que al menos uno de los tratamientos incrementa el modulo de elasticidad, lo que es directamente proporcional al incremento del esfuerzo de compresión en la pasta de cemento.

Además en la Figura 4.3 se observa que a los 14 días de inmersión se obtiene el mayor esfuerzo y esto nos da un indicio de cuál es el mejor tratamiento.

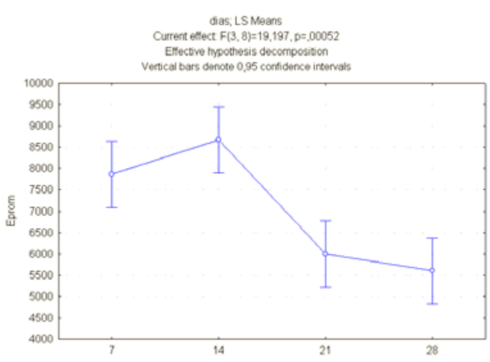

Figura 4.3. Gráfica Modulo de Elasticidad vs. Tiempo de curado.

Análisis Grupal

El análisis grupal, se lo realizó gráficamente y estadísticamente.

El análisis gráfico se basó en una comparación gráfica entre los datos obtenidos en la experimentación con los patrones que son el cemento Tipo I y Tipo IV.

En la figura 4.4 se observa el comportamiento de la pasta de cemento a los 7 días de inmersión y la respectiva comparación con los patrones.

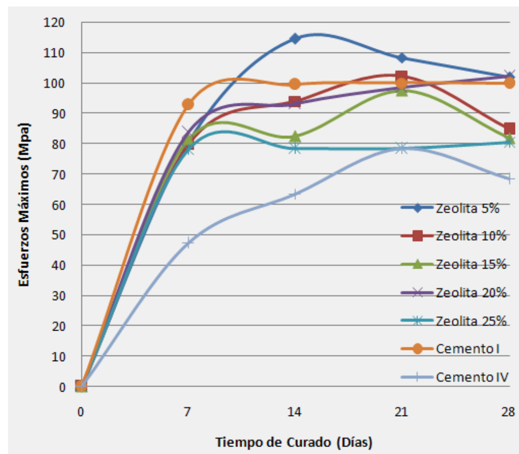

Figura 4.4. Gráfica Esfuerzo de compresión vs. Tiempo de curado.

En el análisis estadístico se realizó una comprobación de la distribución normal de los datos experimentales y un análisis de varianza.

Se utilizó el método ANOVA Factorial, para determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, que en este estudio es el tiempo de curado y él % de Zeolita 2 adicionado, con lo que se nota el efecto que tienen en el esfuerzo último de compresión.

La Tabla 5 muestra que sí existen diferencias significativas entre los tratamientos y él % de Zeolita 2 adicionado. Además muestra que el efecto de la combinación de los dos factores porcentaje-tiempo de curado no es significativo.

Tabla 5. Análisis de varianza, factorial

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
	Univariate Tests of Significance for Esfuerzo de r Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition			
Intercept	1	487691,2	6145,210	0,000000
% Zeolita 2	4	865,5	10,906	0,000004
Dias/inmersion	3	704,5	8,878	0,000124
% Zeolita 2*Dias/inmersion	12	156,8	1,976	0,053393
Error	40	79,4		

Se calculó el estadístico F_{cr} mediante tablas según los grados de libertad, que nos dio como resultado un valor de 4.06.

Se comparó el valor del estadístico F_{cal} que se obtuvo en el análisis con el F_{cr}, lo que dio como resultado que F_{cal} es mayor al F_{cr} con el efecto del tratamiento y con el efecto del % de Zeolita 2, mientras que en el efecto de la combinación de ambos el F_{cal} es menor al F_{cr}.

En la Fig. 4.5 se observa que él % de zeolita 2 que da una media del esfuerzo de compresión mayor a los otros, es el de 5 % de Zeolita 2 adicionada.

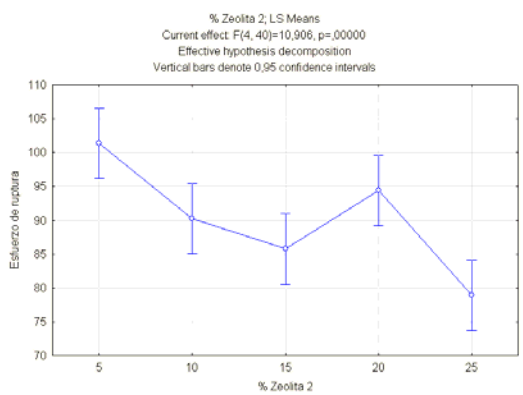

Figura 4.5. Esfuerzo vs. Porcentaje

En la Fig. 4.6 se observa que el tratamiento que da una media del esfuerzo de compresión mayor a los otros tratamientos, es a los 21 días de curado en agua.

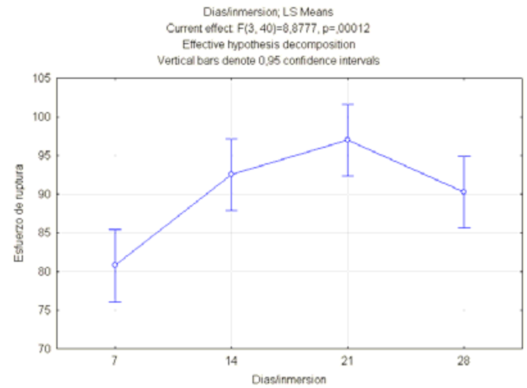

Figura 4.6. Esfuerzo vs. Dias de curado

4.2. Simulación

Una vez finalizado el análisis estadístico de los datos experimentales, se realizó la simulación de los datos que se obtuvo en los ensayos de compresión con la ayuda de un algoritmo que simula el comportamiento de los materiales elasto-plástico, en el software MATLAB.

Los datos de entrada para el modelo bilineal serán:

- Módulo de Young, E
- Esfuerzo de Fluencia, σ_y
- Las constantes a y m

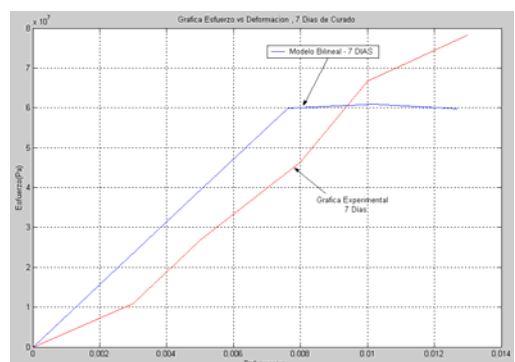

Figura 4.7. Modelo Bilineal. Curva esfuerzo-deformación / 7 dias de inmersión.

Se deduce de la Fig. 4.7 que se obtuvo una aproximación aceptable entre la simulación y la experimentación a los 7 días dado que la curva experimental no estuvo desproporcionada comparada con la teórica y los valores del esfuerzo de fluencia, de ruptura y deformación máxima son similares entre los teóricos y los experimentales.

Una vez ejecutado el algoritmo se trata de ajustar la curva obtenida con el modelo bilineal con la curva esfuerzo–deformación obtenida mediante la experimentación, dicho ajuste se hace mediante la variación de los parámetros a y m.

5. Conclusiones

Se obtuvo un esfuerzo de compresión máximo en la pasta de cemento a los 28 días de curado, que con respecto al cemento tipo IV tuvo un 3 % de aumento, pero con respecto al cemento tipo I no se obtuvo aumento.

Del análisis grupal se obtuvo el esfuerzo máximo a los 14 días con adición de 5% de Zeolita 2 y se comparo con el cemento tipo IV y obtuvo un aumento aproximado del 32 % y con el cemento tipo I obtuvo un aumento aproximado del 13%.

Además se observo que en las graficas esfuerzo de compresión vs tiempo de curado, el esfuerzo de compresión aumento hasta el día 14 o máximo hasta el día 21, luego del cual disminuyo.

Por lo que deberíamos tomar como base para futuros análisis el esfuerzo de compresión critico el cual se obtuvo a los 28 días de curado en agua sin importar el % de Zeolita 2 adicionado.

Del análisis individual se observó que el esfuerzo de compresión crítico aumentó con respecto al esfuerzo de compresión del cemento tipo IV aproximadamente un 16 % pero con respecto al cemento tipo I no se halló aumento.

Finalmente del análisis grupal el mayor esfuerzo de compresión crítico se obtuvo con 20 % de Zeolita 2 y se obtuvo un aumento aproximado del 3 % con respecto al esfuerzo de compresión del cemento tipo I y con respecto al cemento tipo IV se obtuvo un aumento aproximado del 34 %.

6. Recomendaciones

Luego que se realizó el estudio se debe recomendar lo que se detalla a continuación:

- Se debería ampliar el tiempo de análisis, para observar el comportamiento de la pasta de cemento después de los 28 días, como parámetro recomendado podría ser 100 días, lo que permitiría obtener una apreciación más real del comportamiento de la pasta de cemento.
- Continuar con el estudio para poder optimizar el recurso del cemento y así poder explotar las reservas de zeolita en nuestro país.
- Mejorar la precisión en las mediciones de los ensayos, debido a que esto afecta en los valores que se analizan y distorsionan las conclusiones.
- Se debe mejorar la exactitud en las maquinas que se utilizaron en la experimentación (Metrología).

7. Referencias

[1]. Norma ASTM C 595 – 03. Standard for Blended Hydraulic Cements.

[2]. Notas de la materia Teoría de Inelasticidad. Ph. D. José Andrade. Profesor de la universidad de Northwestern. R.I. Borja.

[3]. Thomas Larson, "Concretos de Cemento Portland", Mayo 15, 2008.

[4]. H.W.Taylor, "La química de los cementos", Mayo 02, 2008.

[5]. Anónimo, "Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados", Link: http: http://redmin.cl/?a=10440,Marzo 10,2008.

[6]. Pedro Bosch, "La Zeolita una piedra que hierve", Marzo 15, 2008.

[7]. Anónimo, "Zeolita", Link: http://es.wikipedia.org/wiki/Zeolita,. Febrero 15,2008.

[8]. Lana María, "Hormigonado con altas temperaturas: El curado del hormigón", Revista del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid, Mayo 29, 2008.

[9]. Robalino E. Paola, “El uso de la Zeolita como una adición mineral para producir Cemento Puzolánico”, TESIS – Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), ESPOL, 2004. Pág. 18-22.

[10]. Irwin Miller, John E. Freud, Richard A. Johnson. Probabilidad y estadística para ingenieros. Prentice – Hall. Hispanoamericana S.A. México.

[11]. Walpole, Myers, Myers. Probabilidad y estadística para ingenieros. Pearson. México.

....
Ing. Juan Carlos Pindo
Director de tesis

Fecha: 25/11/2008