

Simulación del Comportamiento del Cemento Tipo I bajo la Adición de 5% De Zeolita Ecuatoriana en las mezclas de Cemento Mediante un Curado al Agua

Rodrigo Perugachi 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
rperugachi@espol.edu.ec

Martha K. Franco F. 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
kfranco@donoso.com

Resumen

El objetivo del presente estudio es reducir el porcentaje de cemento, adicionando algunos aditivos que puedan mantener o mejorar la propiedad mecánica, estudiando los resultados estadísticos para las comparaciones de la diferente resistencia de compresión durante el tiempo de curado.

Para el desarrollo de la metodología realizamos un estudio en los diferentes días de curado de la pasta de cemento como 7, 14, 21, 28 para 5% y 4, 11, 18, 25 días para 7.5% de zeolita, realizando su respectivo proceso de ruptura, luego calcular los esfuerzo que tienen esta pasta en comparación con la original; todo el proceso aplicado esta basado en la norma ASTM C109 donde describe cada uno de los pasos que hemos seguido para la realización de este proyecto.

Para analizar el proceso se implemento el uso de un algoritmo con la herramienta computacional MATLAB para estudiar el comportamiento de la pasta de cemento al ser aplicado diferentes cargas en el proceso de ruptura, después todos los datos experimentales se analizaron estadísticamente basado en las comparaciones múltiples de los diferentes porcentajes de zeolita, como son 5, 10, 15, 20 y 25% a fin de obtener la mejor aplicación de ellas y ayudar a determinar la factibilidad del proyecto.

Palabras Claves: Muestra; espécimen hecho de pasta de cemento de 50x50x50 mm

Abstract

The objective of the present study is to reduce the cement percentage, adding some additives which can keep or improve the mechanic's properties, studying statistic results, for the comparison of different resistance of compression results during the curing time.

For the development of the methodology we carry out a study in the different days of cured of the cement paste as 7, 14, 21, 28 for 5% ; 4, 11, 18 , 25 days for 7.5 % of zeolite, carrying out their respective rupture process, then to calculate the effort that it haves in comparison with the original paste; all the process applied this based on the norm ASTM C109 where it describes each one of the steps that we have continued for the realization of this project.

To analyze the process you implements the use of an algorithm with the computational tool MATLAB to study the behavior from the cement paste applied different loads in the rupture process, then all the experimental data were analyzed statistically based on the multiple comparisons of the different zeolite percentages; they are 5, 10, 15, 20 and 25% in order to obtain their better application and to help to determine the feasibility of the project.

1. Introducción

En esta investigación trataremos de predecir el comportamiento del cemento tipo I en presencia de un aditivo como la zeolita en varios tiempos de curado, en cuanto a su resistencia a la compresión haciendo una simulación y analizando un modelo estadístico matemáticamente conformado.

Para el análisis se prevé dar a la ciudadanía un material mejorado no solo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido sino también en la parte de la eliminación de rigurosos métodos para obtener altos niveles de resistencia

2. Objetivo

El objetivo del estudio es medir la resistencia a la compresión del cemento en presencia de zeolita ecuatoriana como aditivo en diferentes porcentajes de concentración, en varios tiempos de curado en agua.

Con este objetivo estudiaremos el comportamiento cemento + zeolita al 5% en diferentes días de curado, midiendo así la resistencia a la compresión de la probetas y analizar estos resultados estadísticamente.

Ayudándonos estos resultados a comprobar o rechazar la hipótesis de que resistencia a la compresión mejore con la adición de zeolita ecuatoriana.

3. Metodología

En la figura 1 se muestra la metodología planteada para la consecución del objetivo del presente estudio.

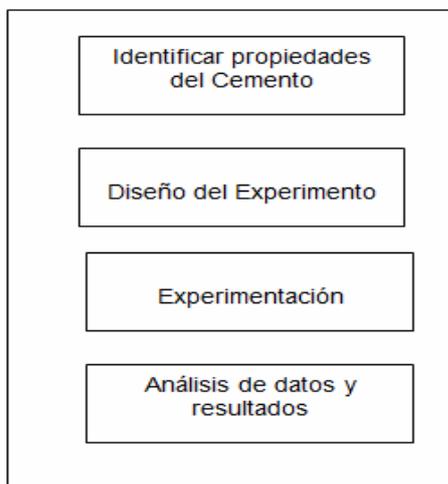


Figura 1. Metodología del proyecto

3.1. Muestreo.

Las rocas de zeolita ecuatoriana fueron recolectadas en la vía a la costa en la ciudad de Guayaquil en el sitio denominado Casas Viejas, aproximadamente 25 kg de rocas enteras.

De este total tomamos cerca de 10 Kg para cada grupo de 5 integrantes y para este caso particular 450 gr para las dos mezclas al 5 y 7.5%; 180 y 270 gr respectivamente.

3.2. Diseño Experimental.

En estos experimentos se tomaron en cuenta ciertos parámetros indicados en la norma ASTM C109 y otros se adaptarán a nuestras necesidades y requerimientos.

PESOS Y DISPOSITIVOS

Según la norma C1005, la balanza debe ser evaluada para la precisión e inclinación en una carga total de 2000gr. En este caso una balanza electrónica.

VASOS GRADUADOS

Lo suficientemente grandes para medir la mezcla de agua en una sola operación para dar con el volumen indicado a una temperatura de 20°C. la variación permisible deberá ser ± 2 ML. Deberán estos vasos tener divisiones de mínimo 5 ML, excepto que las líneas de graduación deberán ser omitidas para los últimos 10 ML para un vaso de 250 ML y los 25 ML últimos para un vaso de 500 ML.

Las líneas principales de graduación deben ser círculos y deben estar numerados. El resto de las líneas deberán al menos tener una extensión de 1/7 de la circunferencia del vaso y las intermedias deberán tener una extensión de al menos 1/5 de la circunferencia del vaso.

MOLDES DE ESPECIMENES

Para los cubos de 2 in o 50 mm deben quedar de manera ajustada en el molde. Los moldes no deberán tener más de 3 compartimientos cúbicos y deberán ser separables no en más de 2 partes. Las partes de los moldes al ser ensambladas deben permanecer juntas.

Deberán estar hechos de metal duro que no sea atacado por el mortero de cemento. Para nuevos moldes la dureza ROCKWELL no deberá ser menor a 55HRB. Los lados del molde deben ser lo suficientemente rígidos para prevenir extensiones u ondulamiento. Las caras interiores deberán ser superficies planas y deberán ajustarse a la siguiente tabla de tolerancias.

CUARTO HUMEDO

De acuerdo a los requerimientos de la especificación **C511**. La temperatura del aire en la vecindad del mezclado debe ser a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ESPECIMENES DE PRUEBA

Hacer de dos a tres especímenes a partir de un grupo de mortero para cada periodo de prueba o edad de prueba.

Lo suficientemente grandes para medir la mezcla de agua en una sola operación para dar con el volumen indicado a una temperatura de 20°C . la variación permisible deberá ser $\pm 2\text{ ML}$. Deberán estos vasos tener divisiones de mínimo 5 ML, excepto que las líneas de graduación deberán ser omitidas para los últimos 10 ML para una vaso de 250 ML y los 25 ML últimos para un vaso de 500 ML.

PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

TABLE 1 Permissible Variations of Specimen Molds

| Parameter | 2 in. Cube Molds | | [50-mm] Cube Molds | |
|---|---|---|--|--|
| | New | In Use | New | In Use |
| Flatness of sides | $<0.001\text{ in.}$ | $<0.002\text{ in.}$ | $<0.025\text{ mm}$ | $<0.05\text{ mm}$ |
| Distance between opposite sides | $2\text{ in.} \pm 0.005$ | $2\text{ in.} \pm 0.02$ | $(50\text{ mm} \pm 0.13\text{ mm})$ | $(50\text{ mm} \pm 0.50\text{ mm})$ |
| Height of each compartment | $2\text{ in.} + 0.01\text{ in.}$ $ts - 0.005\text{ in.}$ | $2\text{ in.} + 0.01\text{ in.}$ $ts - 0.045\text{ in.}$ | $(50\text{ mm} + 0.25\text{ mm})$ $ts - 0.13\text{ mm}$ | $(50\text{ mm} + 0.25\text{ mm})$ $ts - 0.38\text{ mm}$ |
| Angle between adjacent faces ^a | $90 \pm 0.5^{\circ}$ | $90 \pm 0.5^{\circ}$ | $90 \pm 0.5^{\circ}$ | $90 \pm 0.5^{\circ}$ |

^a Measured at points slightly removed from the intersection. Measured separately for each compartment between all the interior faces and the adjacent face and between interior faces and top and bottom planes of the mold.

TABLA. 1 VARIACIONES PERMISIBLES DE MOLDES DE ESPECIMENES

MEZCLADOR, TAZON Y REMO

Un mezclador de tipo mecánico accionado por electricidad, del tipo equipado con remo y tazón de mezclado con mínimo dos velocidades. La primera de velocidad baja puede mezclar a un rango de $140 \pm 5\text{ rpm}$, y la segunda velocidad puede revolver a razón de $285 \pm 10\text{ rpm}$. El mezclador que usaremos y que cumple estas especificaciones es de marca HOBART.

- Retirar del recipiente con agua, las probetas a ser usadas en el ensayo
- Tomar lecturas de temperatura y humedad relativa. Pesar las probetas.
- Dejar secar las probetas por unos minutos.
- Encender y encerrar el equipo de ensayo universal.

MAQUINA DE PRUEBAS

Usaremos dos maquinas universales, para los ensayos de las muestras a 4 y 7 días de curado se harán en una eléctrica con capacidad hasta 300.000 Kg y la segunda hidráulica con capacidad hasta 120.000 Lbf.



FIGURA 2 PREPARACION DE MOLDES

3.3 Modelamiento.

Esta parte se realizó de varios factores que de una u otra manera han aportado para implementar el algoritmo que modele el comportamiento de la pasta de cemento al ser aplicada cierta fuerza que al crecer progresivamente hará que el espécimen llegue a su punto máximo y se produzca la ruptura del material.

Es importante mencionar que la implementación del algoritmo tiene sus recursos en conocimientos de inelasticidad a través del Test $f_m = \frac{P}{A}$, la

misma que será analizada mediante mecánica del continuo. Para esto se construyó un vector residual el cual lo integramos a una subrutina material que viene dentro de un código de elementos finitos [3].

Este algoritmo se obtuvo las siguientes figuras 2 y 3 que modela el comportamiento de la pasta de cemento para 5 y 7.5% de Zeolita 1 con sus respectivos días de Curado

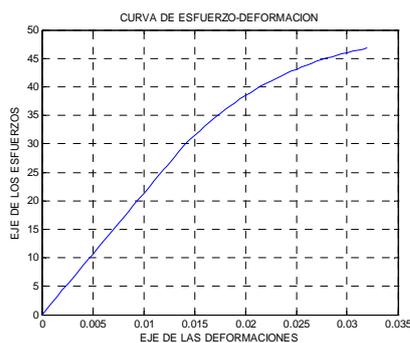


Figura 2. Curva Esfuerzo Deformación Generada con el Programa en Matlab.

3.4 Experimentación

La experimentación se subdividió en tres procesos:

- Proceso de Molienda.
- Proceso de mezclado y elaboración de Especímenes.
- Proceso de Ruptura.

Basándose en la Norma C-109 del código ASTM [1], para ensayos en probetas de pasta de cemento.

Para la realización de los ensayos se elaboraron 24 especímenes de (51x51x51mm) tres por cada día de ruptura, con una relación agua cemento de 0.3, los porcentajes de Zeolita y Cemento para cada una de las proporciones constan en la tabla 3. Las muestras de zeolita para la elaboración de las probetas fueron extraídas del sector de Casas Viejas en la vía a la Costa.

Tabla 2. Porcentaje de Zeolita y Cemento por espécimen

| Nº | cant de especímenes | % de zeolita | gr. Zeolita | % de cemento | gr. Cemento | relación agua cemento | Cant. de agua |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-----------------------|---------------|
| | | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) |
| 1 | 1 | 5% | 12.5 | 95% | 237.5 | 0% | 75 |
| 2 | 1 | 7.5% | 18.75 | 92.5% | 231.25 | 0.30 | 75 |

Una vez realizada la mezcla de la pasta de cemento, se moldearon los especímenes dentro de un tiempo total no mayor a 2 min 30 s después de haber sido completada la mezcla original del lote. Y se apisono la mezcla en cada compartimento cúbico 32 veces durante 10 s en 4 rondas, cada ronda fue en ángulos rectos con respecto a la otra y consistió de ocho golpes contiguos sobre la superficie del espécimen. [1].

Los especímenes de prueba inmediatamente después de pasados los (4, 11, 18,25) y (7, 14, 21,28) días de secado para el caso de la mezcla al 7.5% de Zeolita y del 5% de Zeolita respectivamente; fueron aplicados al proceso de ruptura de acuerdo a la tolerancia permisible prescrita en la norma ASTM C-109

4. Resultados

Basándonos en los valores promedios de ruptura que se obtuvieron de acuerdo a los datos experimentales y con las variaciones de los valores de las correlaciones de “m y a” que son variables propias del material se comprobó que el esfuerzo a la compresión aumenta conforme aumentan los días de curado de los especímenes, de acuerdo con la graficas antes observadas

A continuación mostramos las tablas 3.

TABLA 3 VALORES PROMEDIOS DE E, σ_{YO} , m y a DE LAS MUESTRAS ACEPTADAS ESTADISTICAMENTE

| 5% | E (Young promedio) | Esfuerzo fluencia prom | Esfuerzo ruptura prom | Deformacion promedio | m promedio | a promedio |
|--------|--------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------|------------|
| dia 7 | 6,992.11 | 79.07 | 93.34 | 0.017 | 0.00365 | 0.1805 |
| dia 14 | 5,245.23 | 77.35 | 81.64 | 0.020 | 0.00444 | 0.0555 |
| dia 21 | 6,189.73 | 62.51 | 93.53 | 0.025 | 0.00989 | 0.4962 |
| dia 28 | 6,390.33 | 87.06 | 107.47 | 0.020 | 0.00318 | 0.2344 |

| 7.5% | E (Young promedio) | Esfuerzo fluencia prom | Esfuerzo ruptura prom | Deformacion promedio | m promedio | a promedio |
|--------|--------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------|------------|
| dia 4 | 2,889.92 | 53.57 | 65.94 | 0.032 | 0.00918 | 0.2309 |
| dia 11 | 5,645.27 | 71.07 | 99.33 | 0.020 | 0.00240 | 0.3976 |
| dia 18 | 4,231.94 | 67.65 | 85.63 | 0.020 | 0.00023 | 0.2658 |
| dia 25 | 7,404.76 | 96.76 | 106.17 | 0.017 | 0.00266 | 0.0973 |

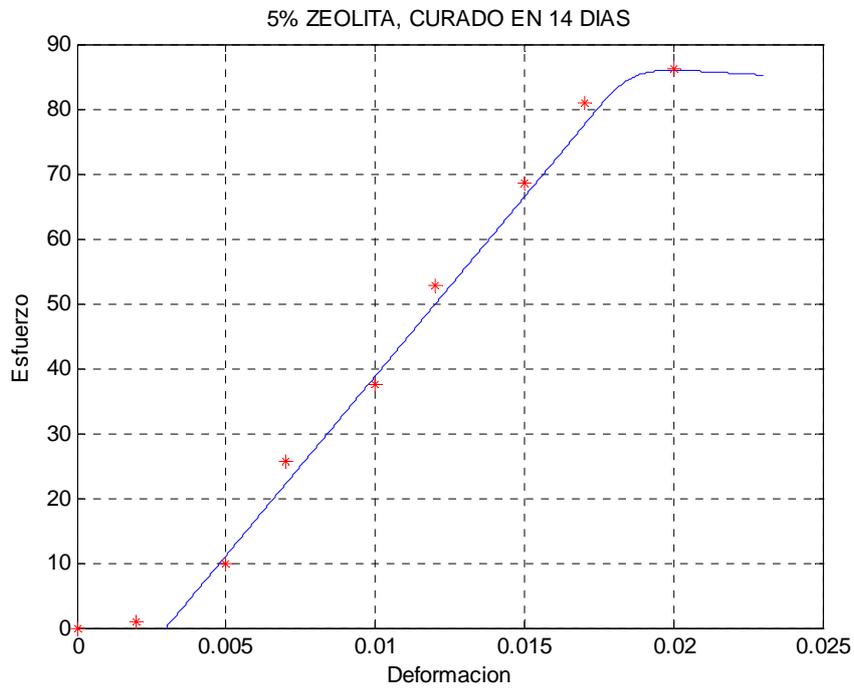


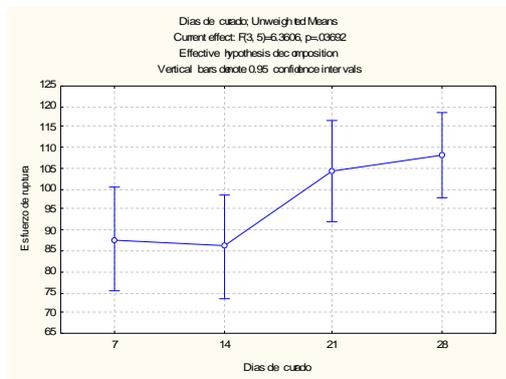
FIGURA 3 APROXIMACION DE LA CURVA TEORICA A LA EXPERIMENTAL - 5% ZEOLITA, DIA 14

Una vez generada todas la curvas de esfuerzo-deformación procedemos a realizar un análisis estadístico individual; es decir para los datos de calibración (5%) y validación (7.5%).

| | 1 Días de curado | 2 Esfuerzo de ruptura |
|----|---------------------|--------------------------|
| 1 | 7 | 87.3440285 |
| 2 | 7 | 88.2003425 |
| 3 | 14 | 83.0626298 |
| 4 | 14 | 89.0566565 |
| 5 | 21 | 114.746077 |
| 6 | 21 | 94.1945406 |
| 7 | 28 | 107.895565 |
| 8 | 28 | 107.039251 |
| 9 | 28 | 109.608193 |
| 10 | | |

TABLA 4 ESFUERZOS DE RUPTURA DE MUESTRAS ACEPTADAS A DIFERENTES TIEMPOS DE CURADO

Una vez ingresados los datos procedemos a realizar un análisis ANOVA ONE WAY, que nos da como resultado la siguiente tabla que nos muestra las medias aritméticas de las muestras en cada uno de los días de curado con su respectivo intervalo de confianza.



GRAFICA [4.33] MEDIAS DE ESFUERZOS DE RUPTURA CON SU RESPECTIVO INTERVALO DE CONFIANZA, MUESTRAS 5% ZEOLITA

Ahora definimos nuestras hipótesis, sabiendo de antemano que queremos demostrar un error tipo I, es decir, que nuestra hipótesis nula sea falsa.

H₀=Todas las medias de las muestras son menores o iguales al control

H_a=Existe por lo menos una media mayor al control

Una vez establecido estas hipótesis, ingresamos los datos como vemos en la figura 4 y la herramienta

estadística nos ayuda a obtener los resultados que uno desea optimizar para el proyecto; es decir una mayor resistencia a la compresión para la pasta de cemento.

| Dunnett test; variable Esfuerzo de ruptura (Individual) Probabilities for Post Hoc Tests (M>Control) Error: Between MS = 46.587, df = 5.0000 | | | |
|--|----------------|----------|--|
| Cell No. | Días de curado | {1} | |
| 1 | 7 | 87.772 | |
| 2 | 14 | 0.819689 | |
| 3 | 21 | 0.064549 | |
| 4 | 28 | 0.025305 | |

TABLA 5 COMPARACION ENTRE MEDIAS TOMANDO UN CONTROL (SEPTIMO DIA DE CURADO)

Por lo tanto aceptamos nuestra hipótesis alterna.

ANALISIS ESTADISTICO GRUPAL

Para este análisis usamos el método factorial ANOVA, debido a que tenemos 6 diferentes porcentajes de aditivos (0, 5, 10, 15, 20 y 25%) a 4 días de curado (7, 14, 21 y 28) para tres muestras cada uno.

Las medias de los datos experimentales a diferentes días de curado y porcentaje de zeolita son los siguientes:

| Días de curado*Porcentaje de zeolita, Unweighted Means (FINAL GRUPAL) Current effect: F(15, 48)=4.2698, p=0.0006 Effective hypothesis decomposition | | | | | | | |
|---|----------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| Cell No. | Días de curado | Porcentaje de zeolita | Esfuerzo de ruptura Mean | Esfuerzo de ruptura Std. Err. | Esfuerzo de ruptura -95.00% | Esfuerzo de ruptura +95.00% | N |
| 1 | 7 | 0 | 89.2163 | 5.800250 | 77.5631 | 100.8775 | 3 |
| 2 | 7 | 5 | 89.6133 | 5.800250 | 77.9511 | 101.2755 | 3 |
| 3 | 7 | 10 | 81.3259 | 5.800250 | 69.8637 | 92.9881 | 3 |
| 4 | 7 | 15 | 73.0817 | 5.800250 | 61.4195 | 84.7439 | 3 |
| 5 | 7 | 20 | 59.6970 | 5.800250 | 48.0348 | 71.3592 | 3 |
| 6 | 7 | 25 | 52.8934 | 5.800250 | 41.2312 | 64.5556 | 3 |
| 7 | 14 | 0 | 95.4960 | 5.800250 | 83.8238 | 107.1482 | 3 |
| 8 | 14 | 5 | 82.0567 | 5.800250 | 70.3945 | 93.7189 | 3 |
| 9 | 14 | 10 | 87.4010 | 5.800250 | 75.7388 | 99.0632 | 3 |
| 10 | 14 | 15 | 89.7853 | 5.800250 | 78.1231 | 101.4475 | 3 |
| 11 | 14 | 20 | 64.7024 | 5.800250 | 53.0403 | 76.3646 | 3 |
| 12 | 14 | 25 | 91.1263 | 5.800250 | 79.4641 | 102.7885 | 3 |
| 13 | 21 | 0 | 96.0561 | 5.800250 | 84.3939 | 107.7182 | 3 |
| 14 | 21 | 5 | 91.9100 | 5.800250 | 80.2478 | 103.5722 | 3 |
| 15 | 21 | 10 | 102.3022 | 5.800250 | 90.6400 | 113.9643 | 3 |
| 16 | 21 | 15 | 112.3029 | 5.800250 | 100.6407 | 123.9651 | 3 |
| 17 | 21 | 20 | 91.2105 | 5.800250 | 79.5483 | 102.8727 | 3 |
| 18 | 21 | 25 | 57.5987 | 5.800250 | 45.9365 | 69.2609 | 3 |
| 19 | 28 | 0 | 95.7710 | 5.800250 | 84.1088 | 107.4332 | 3 |
| 20 | 28 | 5 | 108.1800 | 5.800250 | 96.5178 | 119.8422 | 3 |
| 21 | 28 | 10 | 110.6124 | 5.800250 | 98.9502 | 122.2746 | 3 |
| 22 | 28 | 15 | 116.2934 | 5.800250 | 104.6312 | 127.9566 | 3 |
| 23 | 28 | 20 | 110.3077 | 5.800250 | 98.6455 | 121.9699 | 3 |
| 24 | 28 | 25 | 99.1500 | 5.800250 | 87.4878 | 110.8122 | 3 |

TABLA 6 MEDIAS, INTERVALOS DE CONFIANZA, MUESTRAS AL 0, 5, 10, 15, 20 y 25% DE ZEOLITA

Los datos subrayados muestran las medias de esfuerzos de ruptura más altos a lo largo de la experimentación. Estos se dan al 15% de aditivo en los días de curado 21 y 28 respectivamente. En las

tablas a continuación se observa lo dicho en las líneas anteriores, tomando en cuenta los días de curado y el porcentaje de zeolita correspondientemente.

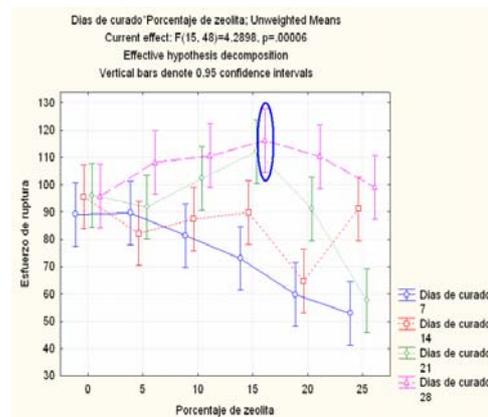
| Días de curado; Unweighted Means (FINAL GRUPAL) | | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----|
| Current effect: F(3, 48)=32.849, p=.00000 | | | | | | |
| Effective hypothesis decomposition | | | | | | |
| Cell No. | Días de curado | Esfuerzo de ruptura Mean | Esfuerzo de ruptura Std.Err. | Esfuerzo de ruptura -95.00% | Esfuerzo de ruptura +95.00% | N |
| 1 | 7 | 74.3044 | 2.367942 | 69.5434 | 79.0655 | 18 |
| 2 | 14 | 85.0930 | 2.367942 | 80.3319 | 89.8540 | 18 |
| 3 | 21 | 91.8967 | 2.367942 | 87.1357 | 96.6578 | 18 |
| 4 | 28 | 106.7191 | 2.367942 | 101.9580 | 111.4801 | 18 |

TABLA 7 MEDIAS DE ESFUERZO DE RUPTURA EN BASE A LOS DIAS DE CURADO

| Porcentaje de zeolita; Unweighted Means (FINAL GRUPAL) | | | | | | |
|--|-----------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----|
| Current effect: F(5, 48)=9.6842, p=.00000 | | | | | | |
| Effective hypothesis decomposition | | | | | | |
| Cell No. | Porcentaje de zeolita | Esfuerzo de ruptura Mean | Esfuerzo de ruptura Std.Err. | Esfuerzo de ruptura -95.00% | Esfuerzo de ruptura +95.00% | N |
| 1 | 0 | 94.13208 | 2.900125 | 88.30099 | 99.9632 | 12 |
| 2 | 5 | 92.94000 | 2.900125 | 87.10891 | 98.7711 | 12 |
| 3 | 10 | 95.41037 | 2.900125 | 89.57928 | 101.2415 | 12 |
| 4 | 15 | 97.86684 | 2.900125 | 92.03474 | 103.6969 | 12 |
| 5 | 20 | 81.47942 | 2.900125 | 75.64832 | 87.3105 | 12 |
| 6 | 25 | 75.19208 | 2.900125 | 69.36099 | 81.0232 | 12 |

TABLA 8 MEDIAS DE ESFUERZOS DE RUPTURA EN BASE A LOS PORCENTAJES DE ZEOLITA

FIGURA 4 MEDIAS DE ESFUERZOS DE RUPTURA CON SU RESPECTIVO INTERVALO DE CONFIANZA, MUESTRAS AL 0, 5, 10, 15, 20 Y 25% ZEOLITA



Finalmente analizamos los datos por rangos múltiples usando Duncan's, pero antes definimos nuestras hipótesis estadísticas, como sigue:

H_0 = Todas las medias de la población son iguales

H_A = Existe por los menos una media diferente

Una vez establecidos las hipótesis procedemos analizar estadísticamente a través del método Duncan's obteniendo como resultado que el 15% de adición de zeolita es el más óptimo a los 28 días de curado donde cuyo valor re esfuerzo de compresión es mayor a los demás porcentajes de zeolita y a las muestras de cemento tipo I y tipo IV este resultado también se observa en el gráfico de superficie mostrado a continuación.

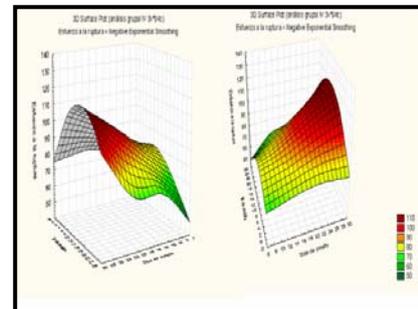


FIGURA 5 SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LOS ESFUERZOS DE RUPTURA VS DIAS DE CURADO Y PORCENTAJE DE ZEOLITA

5. Conclusiones

- La curva σ vs ϵ experimental se aproximó a la curva teórica esperada para mezclas de pasta de cemento.
- Se aceptó la hipótesis alterna en el análisis individual, es decir, que hubo al menos una media mayor al control, lo que se traduce en términos experimentales, que la resistencia a la compresión en una de las muestras fue mayor en los otros días de curado que en el 7 mo día (control).
- Al 5% de zeolita ecuatoriana, la resistencia a la compresión en la pasta de cemento aumenta conforme pasan los días de curado (7, 14, 21 y 28 respectivamente).
- La mejor aproximación entre los datos experimentales y teóricos se presentó al séptimo día de curado, con un error medio cuadrático del 6,2%
- La mejor aproximación entre los datos experimentales y teóricos, en cuanto al esfuerzo de ruptura, se dio al 14avo día de curado.
- El esfuerzo de ruptura mayor experimental, en muestras con 5% de zeolita fue 107,47 MPa, que corresponde al 28avo día de curado.
- El error total del experimento al 5% de zeolita, fue de 8,2%, que esta dentro de un rango aceptable de acuerdo a los diferentes factores que influenciaron en esta investigación.
- Se aceptó la hipótesis alterna en el grupal, es decir, que hubo al menos una media diferente, lo que se traduce en términos experimentales, que la resistencia a la compresión en al menos una de las muestras fue diferente a otra.
- La resistencia a la compresión en la pasta de cemento aumenta gradualmente hasta aproximadamente el 15% de adición de zeolita tipo mordenita, luego de este porcentaje empieza a decrecer.

La resistencia a la compresión fue máxima al 15% de zeolita (116,29 MPa) en el 28avo día de curado

6. Recomendaciones

- Tener en cuenta que el almacenamiento de la zeolita debe ser en un ambiente con una humedad relativa de aproximadamente 50%, debido a que gana fácilmente humedad y esto puede repercutir en el proceso de mezclado.
- Compactar y apisonar bien la mezcla al introducirla en los moldes respectivos, para evitar la presencia de burbujas de aire que pueden influenciar grandemente en el ensayo a la compresión.
- Es recomendable usar una máquina que tenga control electrónico, para así no depender del error humano en la aplicación de las diferentes cargas si se lo hace manualmente y también, en la lectura de las resistencias.
- En general, realizar el experimento con mucha concentración y tomando en cuenta las indicaciones dadas por el instructor.

7. Referencias

- [1] ASTM Standarts (2002).C-209, Standart Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, Annual Book of ASTM Standart, Vol. 04.
- [2] Nilson, A. “*Diseño de Estructura de Concreto*”, Mc Graw Hill, Junio, 2006.
- [3] Jiménez, H. “*Tecnología del Concreto*”. Universidad Nacional de Ingeniería del Perú. www.fic.uni.edu.pe. Febrero, 2008.
- [4] _____, “Que es una Zeolita”, www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx, Febrero, 2008.
- [5] Gutiérrez, M. “*Zeolitas Características y Propiedades*”, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares , Marzo, 2008.
- [6] Zelic,J.Rosic,D.Krstulović,R.”A mathematical model for prediction of compressive strength in cement-silica fume blends”, www.sciencedirect.com, Mayo 2008.
- [7] Nassif,H.Najm,H.Suksawang,N.”Effect of pozzolanic materials and curing methods on the elastic modulus of HPC”, www.sciencedirect.com, Mayo 2008.