



## “Determinación de la Variación 1 que se Genera en la Resistencia a la Compresión cuando se Adiciona 10% de Limolita con un Curado bajo Agua al Cemento Portland Tipo I”

G. Gómez, M. Cornejo\*

Área de Materiales y Procesos de Transformación  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción,  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL),  
Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador  
mcornejo@espol.edu.ec \*

### Resumen

*En la actualidad, el cemento Portland es el tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto. Este estudio se basa, primordialmente, en conocer el efecto que tiene diferentes porcentajes de puzolanas, específicamente la limolita, en una de las propiedades mecánicas más importante de la pasta del cemento como lo es la resistencia a la compresión, para de esta manera, poder descubrir nuevos materiales resistentes que puedan ser utilizados en la industria y así, lograr un campo más amplio con respecto a materiales útiles en la construcción con mayor resistencia a la compresión.*

*El desarrollo de esta investigación se basará en realizar ensayos mecánicos a compuestos formados por cemento PORTLAND tipo I a diferentes porcentajes de limolita y a tiempos de reacción diferentes para así, estudiar la afectación que la adición de limolita tiene sobre la resistencia a la compresión por cada tiempo de ensayo. Además, se incluirá el estudio de material referencial (0% puzolana) para cada una de las condiciones de curado establecidas con la cual se permitirá la comparación con los compuestos que incluyen los aditivos.*

**Palabras Claves:** *limolita, cemento, resistencia a la compresión, esfuerzo de ruptura*

### Abstract

*At the moment, the Portland's cement is an indispensable material in all construction. Therefore, the construction industry has the necessity to discover new materials that involves natural compounds and improvements in the mechanical resistance. This study is based in the knowledge of the effect of the different percentages of siltstone at different cured days in one of the most important mechanical properties as is the compression resistance to have the opportunity to discover new resistant materials and so to give ground to useful construction materials with the most compression resistance.*

*The development of this paper is based to make mechanical tests to compounds formed with Portland I Cement to different siltstone percentages and a different cured times to study the affectation of these values in the compression resistance. In addition this paper includes the study with a reference material (with 0% of additive) and with every cured conditions which allows the comparisons with the compounds that includes the additives.*

**Key words:** *siltstone, cement, compression resistance, fracture effort*



## 1. Introducción

Varios estudios se han realizado con la finalidad de modelar el comportamiento del cemento cuando se añaden ciertos agregados, a su composición básica, tales como escoria de alto horno, humo de sílice o cenizas volátiles. Todos estos estudios mostraron el análisis de las condiciones bajo las cuales es posible mejorar ciertas propiedades importantes en la selección de los materiales de construcción tales como el módulo de elasticidad o la resistencia a la compresión. Otro factor influyente en la variación de estas propiedades es el método de curado seleccionado para la fabricación de los diferentes cementos. Estudios han demostrado que agregando puzolanas se logra un incremento en la resistencia y en la durabilidad del concreto [1].

Debido a las exigencias del mercado y de la producción de cemento Portland, es cada vez más frecuente la elaboración de cementos con dos o más adiciones a partir de la molienda separada de sus constituyentes, dando origen a la formulación de los cementos a medida. Estudios han demostrado que cuando el contenido de adiciones es alto, la utilización de puzolana y escoria en este tipo de cementos presenta la peculiaridad de disminuir la resistencia inicial del cemento resultante. Sin embargo, si algunas o ambas adiciones se activan, este problema puede minimizarse [2].

En esta investigación se busca determinar la variación que se genera en el valor correspondiente a la resistencia a la compresión, cuando se adiciona 10% de limolita con curado bajo agua en el Cemento Portland Tipo I lo cual se hizo efectivo mediante la utilización de herramientas estadísticas y de programación.

La metodología a aplicarse en este estudio se basa en la utilización del criterio de la primera y segunda derivada para determinar el punto de fluencia y consecuente a ello hallar el esfuerzo de ruptura que permitirá determinar el mejor tratamiento en comparación con los datos del experimento con la adición de 0% de aditivo.

## 2. Recolección de Datos

El presente estudio se efectúa con la finalidad de descubrir la influencia que se genera en el cemento en el valor correspondiente a la resistencia a la compresión al ser añadido, a su estado natural o de control, diferentes porcentajes de limolita en una proporción adecuada de días y un tipo específico de curado.

Para este caso, se analizará el cemento Portland tipo I con un porcentaje de 10% del mineral limolita para

diferentes días de ensayo: 7, 14, 21 y 28 días con un curado bajo agua. De esta manera, se podrá efectuar una comparación con el control (0% aditivo) y además se logrará desarrollar un modelo matemático, que nos permita ajustar los datos experimentales a dicho modelo. Adicional a esto, mediante análisis estadístico se logrará obtener una ecuación que nos permita relacionar las variables independientes con la variable dependiente y así, con los datos de validación, comprobar que dicha ecuación se cumpla en ambos casos con un porcentaje de error determinado.

Por último, se determinará el mejor tratamiento entre los valores promedios de esfuerzo de ruptura de los diferentes porcentajes de limolita incluyendo el 0% y los días de curado para poder definir en qué tiempo y a qué porcentaje ocurre un cambio significativo en la resistencia si así fuera el caso.

## 2.1 Diseño de Experimentos

En esta etapa se definen las reglas para la planeación, el diseño, y la realización de experimentos. El resultado del diseño de experimentos permitirá organizar la información obtenida y analizarla, principalmente a través de procesos de entrada y salida, que permitan identificar las variables en estudio y su relación con aquellas de los resultados (o a través de la formulación de un modelo que facilite el planteamiento de relaciones matemáticas entre los ingresos y las salidas). Esta relación está relacionada con la prueba de validez de las hipótesis previamente formuladas.

Las entradas, para este experimento, se refieren a las diferentes proporciones de días en los cuales se efectuará el estudio así como también los porcentajes de limolita correspondientes.

Los factores externos, representan las condiciones ambientales que influyen en el proceso, en este caso, el tipo de curado bajo el que se realizará el experimento.

Las salidas, representan a las variables de interés, es decir, a los valores de resistencia a la compresión obtenidos para este caso.

## 3. Experimentación

Este estudio consta de dos partes importantes: el análisis del cemento con 10% de aditivo para determinar si existe variación en el valor referente a la resistencia a la compresión en comparación con el 0% de aditivo y la prueba con un porcentaje de puzolana (limolita) correspondiente al 12.5% como porcentaje de validación.

Antes de cualquier prueba se debe preparar el material a utilizar (Limolita) hasta que alcance una

granulometría adecuada para el experimento la misma que corresponde a 45 [ $\mu$ ].

Inicialmente el material fue receptado en estado rocoso y para poder iniciar el proceso se debe disminuir el tamaño del material, el mismo que pasa por varios procesos de molienda entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Trituración manual (Uso de combo)
- Trituradora de mandíbulas
- Trituradora de rodillos
- Cuarteador
- Molino de disco
- Molino de Bolas

El orden anterior es el que se debe seguir para la adecuada trituración del material. Vale recalcar que tanto para la trituradora de mandíbulas así como también para la trituradora de rodillos y el molino de discos es necesario que el material sea ingresado mínimo dos veces para que el tamaño de la limolita disminuya lo suficiente para poder continuar con la siguiente trituración. Una vez que el material llega al molino de bolas, se requiere que la limolita permanezca un tiempo de entre 45 minutos a 90 minutos para que pueda reducir el tamaño del material lo mayormente posible.

Luego de que el material se encuentre molido, se debe tomar una muestra representativa de dicho material (100 [gr]). Como cierta manera de comprobación, se debe usar tamices de diferente grado los cuales permitirán conocer si es que el material alcanzó la granulometría deseada, esto se logra si es que, hasta el tamiz denominado fondo, se reúne un 70 a 80% del material.

A continuación se presenta la tabla con los datos de la limolita al pasar por los diferentes tamices:

**Tabla 1. Datos de Tamices**

# Tamiz	Masa (gr)
50	5
100	8
200	12
325	75

Una vez obtenido la granulometría adecuada se procede a realizar la mezcla para la colocación en los respectivos moldes.

La mezcla para este estudio se efectuará de la siguiente manera:

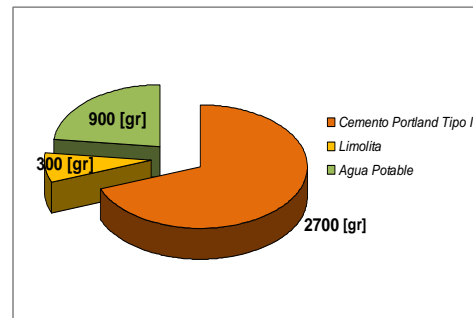
- Caso: 10% de limolita.-

Masa\_total= 3000 [gr]

Masa\_agua= 900 [gr]

Masa\_Limolita=  $0.10 \cdot (3000) = 300$  [gr]

Masa\_Cemento=  $0.90 \cdot (3000) = 2700$  [gr]



**Figura 1. Distribucion de masas al 10% de Limolita**

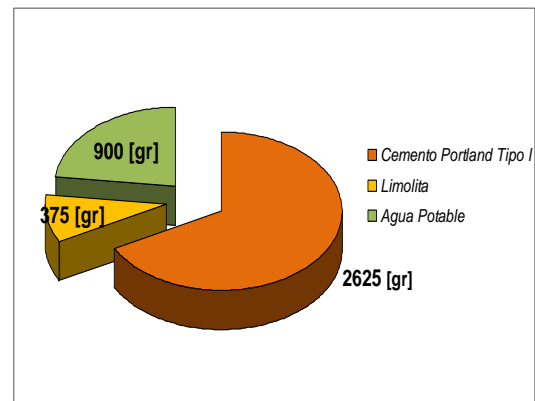
- Caso: 12.5% de limolita (Validación).-

Masa\_total= 3000 [gr]

Masa\_agua= 900 [gr]

Masa\_Limolita=  $0.125 \cdot (3000) = 375$  [gr]

Masa\_Cemento=  $0.875 \cdot (3000) = 2625$  [gr]



**Figura 2. Distribucion de masas al 12.5% de Limolita**

Para este efecto se procederá a formar probetas (cubos) con esta cantidad específica de limolita; cabe indicar que se requerirán moldes para el análisis a los 4, 7, 11, 14, 18, 21, 25 y 28 días para obtener datos suficientes que nos permitan obtener un modelo matemático con el menor rango de error posible. Además, las probetas serán sometidas a un curado húmedo (curado bajo agua). La idea principal del experimento es poder someter a esfuerzos o pruebas mecánicas, a cada una de las probetas obtenidas y en su tiempo adecuado, para así, poder obtener valores de resistencia mecánica a la compresión y poder ejercer

una comparación para determinar si existe mejora en dicho valor al ser comparado con el control (0% de aditivo).

Los moldes deben estar debidamente limpios y lubricados y la mezcla agua-cemento-limolita combinada de la manera más homogénea posible para así proceder a verter la mezcla en cada uno de los moldes. Mediante el uso de un apisonador, se debe inducir a la mezcla a que elimine la mayor cantidad de burbujas de aire posible para que al compactarse no existan fisuras que puedan alterar nuestros resultados.

De esta manera se prepara la mezcla para colocarla en cada uno de los moldes y dejar a los mismos reposar por veinte y cuatro horas para su correcta y adecuada compactación. Posterior a ello se procede a desmoldar cada una de las muestras y se las sumerge en agua para efectuar el curado húmedo.

Finalmente, cada una de las muestras se las somete al ensayo de compresión respectivo a los días de curado.

### 3. Tabulación de Datos y Resultados

Con los datos obtenidos, se procede a hallar los valores de esfuerzo, mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 1})$$

De donde  $\sigma$  se refiere al esfuerzo aplicado en cada punto, F representa la fuerza aplicada sobre cada muestra y A corresponde al área de la superficie de contacto.

De la misma manera, se obtienen los datos referentes a la deformación en cada punto, este resultado se lo obtiene aplicando la siguiente relación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde,  $\varepsilon$  representa la deformación del material;  $\Delta L$  corresponde a la variación en la longitud y L equivale a la longitud del lado del cubo (muestra). Debido a que no se conoce con exactitud el comportamiento de esta pasta de cemento, se procede a graficar cada uno de los datos para cada día de curado y porcentaje de limolita para de esta manera, observar la dispersión de dichos puntos y así poder determinar una tendencia que se ajuste de la mejor manera a los datos obtenidos.

**Tabla 2. Datos de Validación**

VALIDACIÓN								
Unidad: [Mpa]	Tipo I	Tipo IV	8%	13%	18%	23%	28%	
4	M1	80,3 8	46,18	49	51,3 5	44,1	43,6 7	56,7 0
	M2	82,9 4	45,32	43,1	48,0 2	43,1	46,5 2	56,0 5
	M3	80,3 8	46,18	41,1 6	49,9 8	45,6 7	44,6 2	50,3 5
11	M1	101, 8	59,38	59,7 8	89	81,8 8	56,9 6	66,3 6
	M2	82,9 4	52,78	69,5 8	92,5 6	84,5 5	46,5 2	64,6 4
	M3	108, 6	56,56	51,9 4	93,4 5	76,5 4	58,8 6	55,1 6
18	M1	108, 6	63,15	81,8 8	97,0 1	80,9 9	65,5 9	70,6 7
	M2	109, 5	64,1	82,7 7	100, 6	89,3 6	76,8 1	77,5 7
	M3	108, 6	59,95	85,4 4	99,6 8	83,6 6	59,5 5	78,4 3
25	M1	90,6 4	70,69	89,8 9	105, 9	89,3 6	71,6 3	75,8 4
	M2	81,2 3	63,15	98,7 9	78,3 2	92,7 4	68,1 8	59,4 7
	M3	106	54,67	84,5 5	90,7 8	89	68,6 0	81,8 8

La siguiente tabla presenta los valores correspondientes a los esfuerzos de ruptura de cada muestra así como también el promedio de ellos.

EXPERIMENTACIÓN								
Unidad: [Mpa]	Tipo I	Tipo IV	5%	10%	15%	20%	25%	
7	M1	89,7 9	47,13	71,7 4	93,4 5	61,1	57,91	25,4 2
	M2	90,6 4	48,07	72,1 3	81,8 8	56,4	62,66	24,1 3
	M3	87,2 2	51,84	69,5 8	85,4 4	58,6 7	73,29	23,7 0
14	M1	99,1 9	65,98	68,6	85,4 4	83,6 6	79,40	61,7 1
	M2	97,4 8	57,5	61,7 4	89	90,7 8	82,85	81,2 0
	M3	89,7 9	57,5	69,5 8	88,1 1	97,9	84,58	74,1 2
21	M1	102, 6	76,35	83,6 6	108, 6	89	86,31	76,7 0
	M2	108, 6	74,46	78,3 2	99,6 8	93,4 5	83,70	79,2 9
	M3	76,9 6	75,41	71,2	102, 4	85,4 4	72,49	87,0 5
28	M1	95,7 7	70,69	117, 5	102, 4	85,4 4	106,1 5	83,6 0

	97,4		101,5	85,4	91,6		86,1
<b>M2</b>	8	70,69		4	7	96,66	8
<b>M3</b>	94,0		120,2	53,4	96,1		90,4
	6	55,61			2	95,80	9

**Tabla 3. Datos de Experimentación**

Todo este procedimiento se lo efectúa con la finalidad de poder determinar la pendiente de la zona elástica de la pasta de cemento que correspondería al módulo de elasticidad del material. Para este efecto, se procede a graficar la dispersión de puntos para cada día y cada porcentaje y se puede notar mediante los valores de confiabilidad que la mejor tendencia que se ajusta a los datos es la tendencia cúbica de la cual se obtiene la ecuación de tercer grado para que, mediante la segunda derivada, se pueda adquirir el punto en donde se produce un cambio de concavidad. Este punto de concavidad servirá de guía para poder determinar el punto de fluencia que, justamente se refiere al punto de intersección de la curva esfuerzo deformación y una paralela a la línea de la zona elástica que pasa por el punto de deformación. Luego se procede a calcular las pendientes punto a punto con la finalidad de comprobar que el valor obtenido del punto de fluencia, mediante la aplicación de la segunda derivada, sea el correcto ya que puede darse el caso que en la gráfica esfuerzo deformación se presenten dos cambios de concavidad debido a posibles datos aberrantes, y que el valor 'x' proporcionado por la segunda derivada no corresponda verdaderamente al punto de fluencia que es el que nos interesa. Entonces, determinando la pendiente punto a punto se puede comprobar en qué rango de valores la pendiente deja de sufrir incrementos y ese justamente será el punto correspondiente a la fluencia.

**Tabla 4**

**Muestra 1 - 10% - 7 Días**

Eprom elástica [Pa]	Esf. Ruptura [MPa]	'X' Fluencia	Esf. Fluencia [MPa]	Def. Máxima
4905,51	93,45	0,01778	87,22	0,02032

De la gráfica esfuerzo vs. Deformación se obtiene la ecuación característica y aplicando la segunda derivada igualada a cero resulta el valor de x correspondiente al cambio de concavidad.

$$\text{Ecuación: } y = -7E12 x^3 + 2E11x^2 + 3E9x - 674242$$

Aplicando segunda derivada e igualando a cero:  $y'' = 0$ , se obtiene  $x = 0.0095$ , sin embargo con los resultados de la obtención de la pendiente acumulada punto a punto se verifica que el punto de fluencia se produce en  $x=0.01778$ . En la tabla 18.1, se presenta una tabla resumida con los valores más representativos de la muestra como lo son el modulo de elasticidad promedio, el valor x correspondiente a la fluencia, el esfuerzo de fluencia, la deformación máxima y el esfuerzo de ruptura.

Estos últimos valores son requeridos para, mediante el uso de la herramienta Matlab y su respectivo código fuente poder ajustar la curva teórica a la experimental. Esto se produce mediante la variación de constantes propias del material, denotadas como a y m cuyos valores son 0,6 y 0,06 respectivamente para este caso:

$$\text{Ecuación: } y = -4E12 x^3 + 3E11 x^2 + 1E9 x + 211905$$

Aplicando  $y''=0$  resulta  $x=0.025$  sin embargo, el punto de fluencia correspondería a  $x=0.01524$ . En la tabla 19, se presenta una tabla resumida con los valores más representativos de la muestra como lo son el módulo de elasticidad promedio, el valor x correspondiente a la fluencia, el esfuerzo de fluencia, la deformación máxima y el esfuerzo de ruptura. Los valores correspondientes a a y m para esta muestra son 0.8 y 0.05 respectivamente.

Este mismo procedimiento se aplica para cada una de las muestras subsiguientes en las cuales se colocará la ecuación característica así como los valores respectivos de a y m.

#### 4. Análisis de Resultados

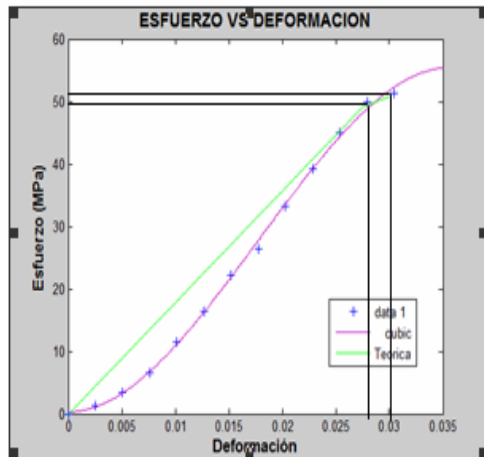
Una vez obtenidos los gráficos que contienen los datos teóricos y experimentales para cada una de las muestras, se procede a calcular el error de dicha deducción la misma que se obtiene tomando valores en los puntos críticos de nuestra grafica (esfuerzo de fluencia y esfuerzo de ruptura) tanto para la curva teórica como para la experimental. Todo esto para poder calcular cuánta diferencia significativa hubo entre ambas curvas.

Un ejemplo de lo descrito anteriormente se aprecia a continuación:

- Para la muestra 1 del Día 4 al 12.5% de Limolita se toman los puntos fluencia y ruptura tanto

para la curva experimental como para la teórica obteniéndose los siguientes datos:

porcentaje se obtiene la media. Como se lo puede observar en la siguiente tabla:



**Figura 3. Error Teórico vs Experimental**

### 5. Identificación de Cambio de Propiedades

**- Selección del mejor tratamiento: Fase de Experimentación**

Para poder determinar el mejor tratamiento en lo referente a porcentajes y en lo referente a días de curado, se procede a aplicar, mediante el software estadístico, el método de Tukey, el mismo que se lo realiza en dos partes:

Lo que se obtiene mediante este método es que se realice un análisis individual para seleccionar el mejor tratamiento y de esta manera poder comparar con los datos referentes al 0% de aditivo, para poder determinar si existe o no un cambio significativo en los datos referentes a la resistencia a la compresión. Dicho análisis consiste en separar los factores implicados por niveles, y de cada nivel se obtiene la media la misma que se resta entre todos los niveles y de esta manera se encuentra el mejor tratamiento de un nivel y luego se realiza el mismo procedimiento con cada uno de los niveles restantes.

Método de Tukey: Esfuerzo de Ruptura vs. Porcentaje

Se procede a analizar cuál es el mejor tratamiento respecto al porcentaje de limolita. El método consiste en separar las variables en factores, en este caso tenemos porcentaje de limolita. Por cada nivel de

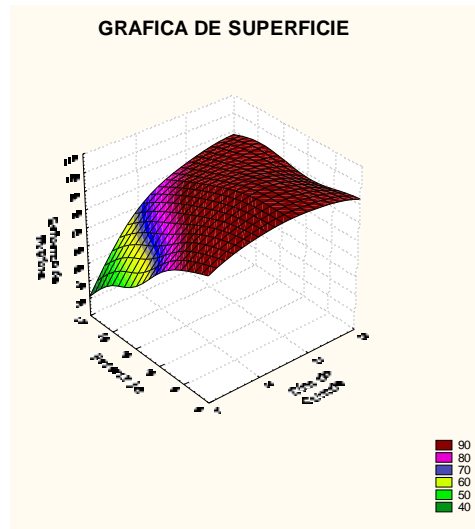
**TABLA 5. Resultados del Mejor Tratamiento**

	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Media
<b>0%</b>	89.2 2	95.4 9	96.06	95.77	94.14
<b>5%</b>	71.1 5	66.6 4	77.73	113.0 3	82.14
<b>10%</b>	86.9 2	87.5 2	103.5 4	80.4	89.60
<b>15%</b>	28.8 7	90.7 8	89.3	91.08	75.01
<b>20%</b>	64.6 2	82.2 7	80.84	99.54	81.82
<b>25%</b>	24.4 2	72.3 4	81.01	85.9	65.92

De la tabla 5 se obtiene que el mayor valor de esfuerzo de ruptura ocurre con un 0% de aditivo, pero para efectos de comparación con el control se toma el segundo mejor valor que ocurre con un 10% de limolita en curado bajo agua.

### 6. Análisis en el Espacio

Todo el comportamiento descrito y demostrado previamente es fácilmente visible en el espacio tridimensional en donde se puede observar que el mayor esfuerzo de ruptura se lo obtiene a los 21 días de curado con un 10% de limolita.



- $$\text{Esf. Ruptura} = -0.744 \text{ Porcentaje} + 32.79 \ln(\text{Días de curado})$$

- Mediante la evaluación en la ecuación anterior de los porcentajes de limolita y días de curado referentes a la validación, se comprueba que los valores obtenidos de esfuerzos de ruptura se ajustan al modelo estadístico con un margen de error correspondiente al 25%.
- Mediante análisis estadístico se determinó que el esfuerzo de ruptura más alto se produjo con la adición del 10% de limolita y a los 21 días de curado en agua con lo cual se pudo determinar que si existe una mejora en la resistencia a la compresión con respecto al 0% de aditivo de Cemento Pórtland tipo I así como también se produjo una variación mucho más significativa con respecto al Cemento Pórtland Tipo IV.
- Existe una mejora del 8% de la resistencia a la compresión con respecto al 0% de limolita en el Cemento Pórtland tipo I.

## 7. Conclusiones

- Mediante un código fuente adecuado desarrollado por la herramienta Matlab se pudo verificar que la pasta de cemento es un material elasto-plástico.
- En base a los datos experimentales se obtuvo información referente a las propiedades mecánicas de la pasta del cemento (Módulo de elasticidad, Esfuerzo de fluencia y esfuerzo de ruptura) a diferentes porcentajes de limolita los mismos que permitieron ajustar la curva ideal esfuerzo deformación correspondientes a la pasta de cemento y así poder compararla con la curva experimental para obtener un porcentaje de error de dicho ajuste.
- Para el modelamiento matemático referente a nuestros datos experimentales se requirieron de constantes positivas (a y m) que son propias de cada material con las cuales se pudo realizar un ajuste adecuado tanto de la curva teórica y curva experimental.
- Mediante herramientas estadísticas se obtuvieron varias posibles ecuaciones que relacionan la variable dependiente (esfuerzo de ruptura) con las variables independientes (porcentaje de limolita y días de curado) pero la única que se ajustó con un alto grado de confiabilidad fue la ecuación obtenida mediante regresión múltiple logarítmica la misma que se presenta a continuación y que es válida para 0, 5, 10, 15, 20 y 25% de limolita así como para 7, 14, 21, y 28 días de curado en agua.

## 8. Recomendaciones

- Para efectuar este tipo de experimento y poder obtener valores de respuesta más óptimos, se debería adecuar el lugar de la experimentación con condiciones de temperatura y humedad relativa específicas tal como lo indica la norma ASTM C – 109.
  - Los moldes a utilizarse en la experimentación deben encontrarse libres de todo tipo de residuo para que no exista una afectación directa en nuestras probetas.
  - Los moldes deben ser debidamente lubricados para facilitar que al momento de desmoldar, sus superficies no se vean afectadas,
  - Debe existir homogeneidad en el proceso de mezclado.
  - Se debe realizar un adecuado apisonamiento de las probetas, de acuerdo a la norma ASTM C - 109 para poder eliminar en su mayoría las burbujas de aire que se pudieron haber formado en ellas.
  - Las prensas de compresión a utilizarse en la ejecución de este experimento deben encontrarse en perfectas condiciones de calibración.
  - La aplicación de la carga a las probetas de ensayo debe ser suministrada a velocidad constante.
- La superficie de contacto se debe encontrar con el menor relieve posible para que la carga esté uniformemente distribuida.



## 9. Bibliografía

- [1] Wikipedia. “Cemento”. Abril, 2008.
- [2] [7] Romo, M. “Temas de Hormigón armado”, Escuela Politécnica del Ejército, Mayo, 2008.
- [3] V.L. Bonavetti. “Cementos compuestos elaborados con puzolana natural y escoria granulada de alto horno”, Materiales de construcción, Volumen 56, 283, Argentina, Julio-Septiembre, 2006.
- [4] Escalante, J. “Materiales alternativos al cemento Portland”. Unidad Saltillo del Cinvestav. [www.cinvestav.mx](http://www.cinvestav.mx), Abril, 2008.
- [5] \_\_\_\_\_, Manual de Tecnología del Concreto, Limusa, Grupo Noriega Editores, Volumen 3, 381, México, México. 1994.
- [6] Bravo, E. “Cemento Portland”. Mayo, 2008.
- [7] Giraldo, I. “El Cemento”, Facultad de Ingeniería Civil, Mayo, 2008.
- [8] \_\_\_\_\_, “¿Qué, por qué y cómo? Curado del concreto en el lugar. El concreto en la práctica”, National Ready Mixed Concrete Association, Estados Unidos, 1996.
- [9] Nassif, H. “Effect of pozzolanic materials and curing methods on the elastic modulus of HCP”, Cement & Concrete Composites, Mayo, 2008.
- [10] Zelic, J. “A mathematical model for prediction of compressive strength in cement-silica fume blends”, Cement & Concrete Composites, Mayo, 2008.