

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención de título de:  
INGENIEROS CIVILES**

**TEMA:  
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN  
ELABORADO CON CERÁMICOS RECICLADOS COMO SUSTITUTO DEL  
AGREGADO GRUESO.**

**AUTORES:  
EDISON ERÁCLIDES HERNÁNDEZ ÁVILA  
FREDDY BOLIVAR SARAVIA ZAMBRANO**

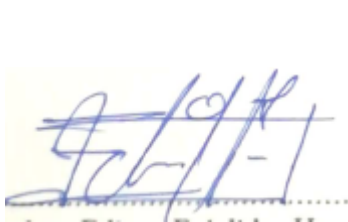
**TUTOR:  
JOSÉ DOMINGO ALVIAR MALABET**

**Quito, mayo del 2018**

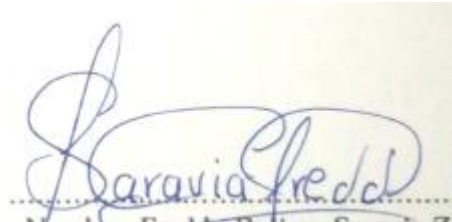
## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Edison Eráclides Hernández Ávila, con documento de identificación N° 1718346719 y Freddy Bolivar Saravia Zambrano, con documento de identificación N° 1719039560, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON CERÁMICOS RECICLADOS COMO SUSTITUTU DEL AGREGADO GRUESO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación en lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo en este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Nombre: Edison Eráclides Hernández Ávila  
Cédula: 1718346719



.....  
Nombre: Freddy Bolivar Saravia Zambrano  
Cédula: 1719039560

Fecha: Quito, mayo del 2018

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, José Domingo Alviar Malabet declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON CERÁMICOS RECICLADOS COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO, realizado por Edison Eráclides Hernández Ávila y Freddy Bolivar Saravia Zambrano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, mayo de 2018



Atentamente

José Domingo Alviar Malabet

C.I: 1757837602

# ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON CERÁMICOS RECICLADOS COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO

## ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE CONCRETE MADE FROM RECYCLED CERAMICS AS A SUBSTITUTE FOR THE THICK AGGREGATE

Edison Hernández-Ávila<sup>1</sup>, Freddy Saravia-Zambrano<sup>2</sup>

### Resumen

Esta investigación se realizó debido a la gran cantidad de elementos cerámicos que son rechazados, destruidos y transportados a los botaderos autorizados del Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de utilizarlos en el campo de la construcción y reducir el impacto ambiental adverso; para lo cual se ha planteado la adaptación de los desechos de cerámicos triturados como sustituto del agregado grueso en un hormigón diseñado para una resistencia a la compresión de  $f'c$ : 24 MPa, e identificar la incidencia que provoca esta sustitución en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Se evaluó 14 muestras cilíndricas de un hormigón convencional con un diseño típico del ACI 318 y 72 muestras cilíndricas para un hormigón experimental con residuos de material cerámico, residuos que fueron tamizados, reflejando una reducción del 10% en la resistencia a la compresión. Con respecto al módulo de elasticidad en el rango de deformación del 2‰ al 3‰, el valor del esfuerzo actuante considerado para el diseño de elementos de hormigón armado superó los 24 MPa.

**Palabras**      **Clave:**      Agregados, Granulometría, Hormigón, Módulo de Elasticidad, Residuos Cerámicos y Resistencia.

### Abstract

This investigation was carried out due to the large number of ceramic elements that are rejected, destroyed and transported to the authorized dumps of the Metropolitan District of Quito, in order to use it in the field of construction and reduce the adverse environmental impact; for which the adaptation of the shredded ceramic waste has been proposed as a substitute for the coarse aggregate in a concrete designed for a compressive strength of  $f'c$ : 24 MPa, and to identify the incidence that this substitution causes in the physical and mechanical properties of concrete. In total, evaluated 14 cylindrical samples of a conventional concrete with a typical design of the ACI 318 and 72 cylindrical samples for an experimental concrete with residues of ceramic material, residues that were sieved, reflecting a reduction of 10% in the resistance to compression. With respect to the modulus of elasticity in the deformation range from 2‰ to 3‰, the value of the acting force considered for the design of reinforced concrete elements exceeded 24 Mpa.

**Keywords:** Aggregates, Ceramic Waste, Concrete, Granulometry, Modulus of Elasticity, Resistance.

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: ehernandez,fsaravia@est.ups.edu.ec

## Introducción

La producción de piezas cerámicas en el Distrito Metropolitano de Quito cada vez se eleva debido a la gran demanda de vivienda por la súper población que existe en la ciudad en los últimos 15 años [3]; según técnicos de EDESA S.A. de esta producción el 4% de piezas cerámicas, en especial sanitarias, se las califica como no aptas para ser comercializadas y son desechadas por medio de un proceso de trituración que finalmente se las transporta hacia los botaderos autorizados a las afueras de la ciudad, alcanzando un peso promedio de una tonelada por cada trimestre de manufactura.

Este proceso causa un impacto ambiental agresivo en el suelo principalmente por los químicos y esmaltes que se utilizan para su elaboración y acabado ideal en sus productos, además, el alto costo de transporte de desechos hace que este proceso sea sustancialmente elevado y esto se ve reflejado como una pérdida económica para la empresa productora.

Según [18]“El buscar opciones para sustituir los componentes naturales del hormigón con alternativas menos agresivas con el medio ambiente es una necesidad latente debido a que la disponibilidad de los bancos de materiales naturales como los pétreos son agotables”, ante este precedente la intención de este artículo académico realizado en la Universidad Politécnica Salesiana está orientada a darle un proceso diferente, menos contaminante y útil en el campo de la ingeniería civil y, por medio de este manejo de desechos, reducir el impacto ambiental que se produce en los suelos y la cantidad de espacio que se ocupa en su almacenamiento final, adaptando los desechos de cerámico triturado como sustituto del agregado grueso en un hormigón diseñado para una resistencia a

la compresión de  $f'c$ : 24 MPa, e identificando la incidencia que provoca esta sustitución en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón.

El hormigón convencional fue diseñado normalmente con el método del ACI y el hormigón experimental se realizará con las dosificaciones normales de un hormigón convencional con la diferencia que el agregado grueso fue sustituido por el agregado cerámico, después de tamizarlo se agregó a la mezcla el material retenido en los tamices de 1”, ¾”, ½”, 3/8” y #4.

## 1. Materiales y Métodos

En este artículo se desarrolló la comparación de un hormigón elaborado con residuos de cerámica como sustituto del agregado grueso en un hormigón convencional.

Para el hormigón elaborado con residuos cerámicos se sustituyó el agregado grueso por residuos de la fábrica EDESA y el agregado fino utilizado proveniente de la cantera de PIFO (Ripconciv).



Foto 1. Tamizado de cerámico triturado

Antes de realizar el diseño se procedió a la caracterización de los materiales, inicialmente del agregado grueso y agregado fino de la cantera de (Ripconciv) para obtener el hormigón convencional que fue diseñado para alcanzar una resistencia a los 28 días de  $f'c=24$  MPa.

## 2.1. Caracterización de los materiales

Es indispensable antes de iniciar un diseño de hormigón conocer las propiedades de los materiales con los que se realizó la mezcla, ya que este depende de las características de los materiales como son: contenido de humedad, granulometría, peso específico, peso unitario suelto y varillado, tamaño máximo de las partículas, composición de los agregados, contenido de impurezas etc. las mismas que serán descritas a continuación.

### 2.1.1. *Granulometría*

La granulometría se define como la distribución por tamaño de partículas de un mismo material que se derivan de un proceso de tamizado los mismos que tienen que ser de una misma dimensión [18] o a su vez no deben exceder determinados límites como lo determina la norma INEN [25]. Con los resultados de la granulometría se realizó los diseños de los hormigones proporcionando las dosificaciones para una correcta mezcla utilizando el método del ACI [1].

La granulometría fue ajustada al valor medio de la franja límite de diseño para el caso del hormigón con agregado cerámico, procediendo al tamizado del mismo a fin de obtener una clasificación ajustada a la banda granulométrica.

### 2.1.2. *Abrasión*

Este ensayo se fundamenta en la norma ASTM “Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Ángeles” [5]. Un tambor cilíndrico conocida como la máquina de los Ángeles gira en posición horizontal con el material en su interior para conocer el porcentaje de desgaste que sufrirá el agregado.

Generalmente, coeficientes que superan el 50% pertenecen al grupo de áridos de mala calidad, en consecuencia estos no son aptos para la construcción y en este caso para realizar cualquier tipo de hormigón, por consiguiente, los coeficientes que son inferiores a 50% corresponden al grupo de áridos con una resistencia al desgaste apta para su aplicación hormigones estructurales y construcciones en general.

### 2.1.3. *Peso Específico*

“Peso específico es la relación a la temperatura de 4°C, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a la temperatura indicada” [19], donde se detalla el proceso y especificaciones técnicas a cumplir.

### 2.1.4. *Colorimetría*

Este ensayo nos permitirá determinar el grado de impurezas orgánicas que contiene el agregado, el mismo que en grandes cantidades puede afectar la hidratación del cemento y en consecuencia de esto la resistencia del hormigón estaría en riesgo.

Este ensayo se lo realiza mediante una comparación colorimétrica luego de introducir un determinado volumen de arena y una solución de hidróxido de sodio al 3% en un volumen ligeramente mayor que el de la arena en un recipiente de vidrio claro [7], el resultado se lo observará según el color que reporte el líquido por encima de la muestra, por tanto, si es más claro será menos impuro y al contrario si es más oscuro presentará un mayor grado de impurezas [27] (ver foto 2).

**Foto 2.** Envase de impurezas del agregado fino Mina Pifo- Ripconciv



**NOTA:** El cuadro comparativo entre las impurezas de agregado fino de la mina de Pifo y el que norma el ASTM se encuentra en la foto 5 de la página 6 de este artículo

### 2.1.5. Ensayo de compresión

El ensayo a la compresión es el procedimiento más adecuado para caracterizar la propiedad principal del concreto, este ensayo se realiza mediante la aplicación de una carga de rotura dividida entre el área de la sección que resiste la carga y se reporta en mega pascuales (MPa) unidades del SI.

Para determinar las diferentes resistencias que alcanzan según su edad, las roturas se realizaron a los 7, 14 y 28 días contados desde la fecha de elaboración de la mezcla y los requerimientos estarán entre los 21 Mpa y 28 Mpa para estructuras comerciales [14]. Para el caso de esta investigación el requerimiento será como mínimo 24 MPa.

En la foto 3 se puede observar la falla del cilindro ensayado a la compresión simple y la adecuada adherencia del agregado cerámico con los demás componentes del hormigón.



**Foto 3.** Hormigón elaborado con residuos cerámicos ensayado a compresión simple

## 2.2. Metodología

Este proyecto se fundamenta en la caracterización y cumplimiento de especificaciones según las normas y métodos ASTM correspondientes para agregados, con un mayor enfoque en el agregado grueso, el cual será tamizado y separado de acuerdo con el tamaño de sus partículas en recipientes. Con la separación del material considerando su tamaño se logró controlar los rangos de la faja granulométrica. Este material fue obtenido en la fábrica Edesa, material que ha sido dispuesto como rechazo por dicha empresa, el mismo que fue reutilizado como agregado grueso [24] en esta investigación.

## 3. Diseño de cilindros de hormigón

En todos los casos se consideró la metodología de diseño de mezclas del ACI, cuantificando la proporción de los agregados, contenidos de cemento y agua para alcanzar una resistencia a la compresión promedio requerido de 32,3 MPa, que resulta de sumar el valor medio de resistencias a la compresión de diseño

de 24 MPa, y una desviación estándar de 8,3 Mpa, [1].



Foto 4. Cilindros etiquetados de hormigón con residuos cerámicos

Para la resistencia a la compresión simple de hormigón convencional se ensayó 2 cilindros a los 7 días, 2 cilindros a los 14 días y 10 cilindros a los 28 días. Para el hormigón con cerámica se realizaron 32 cilindros para la determinación del Módulo de Elasticidad y 32 cilindros para la determinación de la resistencia a la compresión y fueron ensayados a los 28 días y elaborados en 4 días diferentes con el fin de obtener variabilidad en la preparación de las mezclas, además se realizó 16 cilindros los cuales fueron ensayados a los 7 días y 14 días.

#### 4. Ensayos

Previo a la ejecución de la mezcla del hormigón es necesario realizar ensayos a los agregados, los mismos que se detallan a continuación:

- Análisis granulométrico por tamizado.
- Contenido de humedad.
- Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso y fino.
- Resistencia a la abrasión.
- Ensayo de colorimetría.

- Ensayo de Salinidad de agregados (Sulfatos).

Durante la ejecución de la mezcla, el hormigón se encuentra en un estado líquido siendo necesario medir el asentamiento en el hormigón.

Una vez que los cilindros de hormigón alcanzan la edad de 7, 14 y 28 días se realizaron los siguientes ensayos:

- Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, [23].
- Determinación del módulo de elasticidad de los cilindros de hormigón, [8].

Con los datos obtenidos en laboratorio se realizaron los siguientes análisis y comparaciones:

- Análisis estadísticos de los datos obtenidos: resistencia media, desviación estándar, coeficiente de variación.
- Análisis y comparación del hormigón convencional y el hormigón con agregado cerámico.
- Análisis de costos de producción entre las dos alternativas de hormigón propuestas.

#### 5. Resultados y discusión

En el hormigón tanto convencional como el realizado con cerámico triturado es fundamental la caracterización de los materiales. Los resultados obtenidos en el ensayo de abrasión, que se reflejan en la Tabla 1, nos arrojan un buen resultado. Tomando en cuenta la comparación entre el material de agregado grueso con un 16,2% de desgaste, extraído de la mina de Pifo (Ripconci) y el material cerámico triturado con un 24% de desgaste, extraído de la planta de EDESA S.A., con los resultados obtenidos y tomando en



consideración que la norma exige un desgaste máximo de 50% podemos indicar que los agregados utilizados en el hormigón con residuos cerámicos son aptos para incluirlos en el diseño.

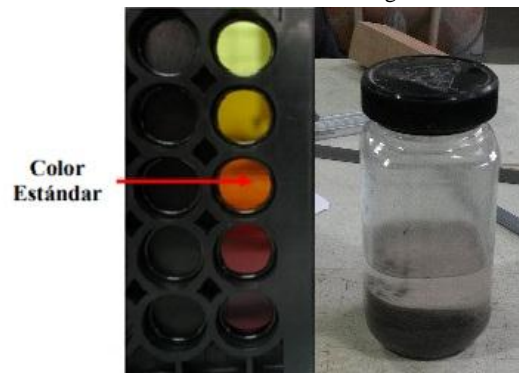
Además, realizando una comparación con las canteras más comunes del Distrito Metropolitano de Quito que se ubican en el Sector de la Mitad del Mundo que, según el artículo académico “Influencia de la calidad de los agregados en la resistencia del hormigón” [12], el desgaste al ensayo de abrasión por medio de la máquina de Los Ángeles es de 55,8%.

Para caracterizar el agregado fino se realizó el ensayo de colorimetría en donde se determinó la cantidad de sustancias orgánicas y al comparar el gráfico del colorímetro de la norma ASTM C-40 y el color del agregado luego de ser ensayado se deduce que el agregado fino tiene un contenido bajo en sustancias orgánicas, cuyo resultado se muestra en la Foto 5.

Tabla 1: Resumen de propiedades de los agregados del hormigón

	AGREGADOS		
	FINO	GRUESO	CERÁMICO
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,910	2,682	2,351
Desgaste de sulfatos (%)	5,44	4,91	18,82
Peso Unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1,541	1,510	1,220
Peso Unitario Varillado (g/cm <sup>3</sup> )	1,711	1,629	1,343
% de humedad Absorción (%)	7,54	0,55	2,64
	7,05	7,17	11,13
Módulo de finura	2,55	----	-----
Tamaño máximo (mm)	4,75	25,00	25,00
Desgaste a la abrasión (%)	----	16,20	24,00

Foto 5. Comparación entre el colorímetro normado en el ASTM C-40 y el ensayo de esta investigación



Fuente: (Norma ASTM C-40, 2016)

La Tabla N°2 indica los límites superior e inferior de las fajas granulométricas recomendadas basándose en el tamaño máximo de las partículas, permitiendo obtener una amplitud de variación para la granulometría de los agregados.

En este caso el tamaño máximo de las partículas es de 25mm (1”) que se corresponde con la columna E. [21]

Tabla 2: Requisitos de graduación del árido grueso.

TAMIZ INEN	TAMIZ ASTM	% DE MASA QUE DEBE PASAR POR LOS TAMICES INEN INDICADOS EN LA COLUMNA (1) PARA SER CONSIDERADOS COMO ÁRIDO GRUESO									
Abertura cuadrada (mm)	(plg)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
106	4	90-37,5	6,3-3,75	6,3-4,75	37,5-4,75	26,5-4,75	19-4,75	13,2-4,75	9,5-2,36	53-26,5	37,5-19
90	3 1/2	90-100									
75	3		100								
63	2 1/2	25-60	90-100	100						100	
53	2		35-70	95-100	100					90-100	100
37,5	1 1/2	0-15	0-15		95-100	100				35-70	90-100
26,5	1			35-70		95-100				0-15	20-55
19	3/4	0-5	0-5		35-70		90-100	100			0-15
13,2	1/2			10-30		25-60		90-100	100	0-5	
9,5	3/8				10-30		20-55	40-70	85-100		0-5
4,75	No. 4			0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30		
2,36	No. 8					0-5	0-5	0-5	0-10		
									0-5		

La figura 1 indica que la granulometría del cerámico se encuentra dentro de los límites de las fajas granulométricas.

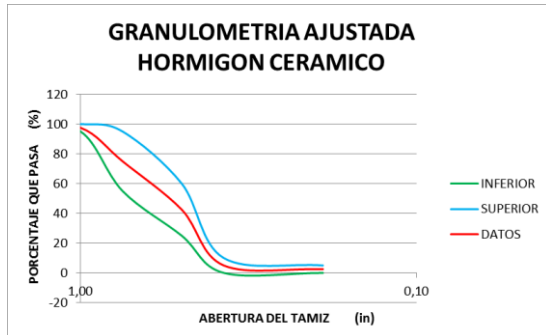


Figura 1. Granulometría de hormigón cerámico ajustada

A continuación se presenta la Tabla 3 en la cual se detalla la dosificación para el hormigón elaborado con residuos cerámicos.

El asentamiento prefijado en el diseño correspondiente al homigón con residuos cerámicos fue de 80 mm, sin embargo en el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams se obtuvo un resultado de 46 mm, este descenso se atribuye a la forma del grano y la rugosidad que presentan las partículas del residuo cerámicos, además se estableció una relación agua-cemento de a/c: 0,52.

Tabla 3: Dosificación del hormigón elaborado con residuos cerámicos.

Material	Peso por metro cúbico	Relación
	SSS Kg/m <sup>3</sup>	
Agua	192,82	0,52
Cemento	373,34	1
Grava	937,62	2,51
Arena	773,01	2,07

SSS:Saturado con Superficie Seca

Con relación a la trabajabilidad en la Figura 2 se muestra la variación de los asentamientos en las muestras ensayadas.

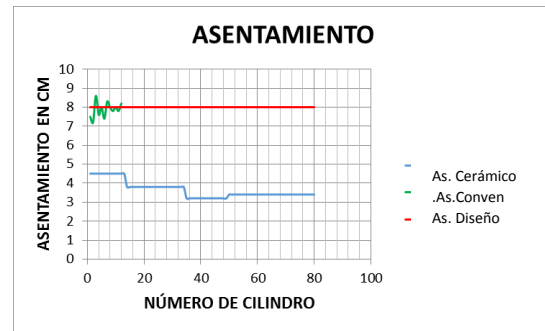


Figura 2. Asentamiento en hormigón de residuos cerámicos

En el ensayo de resistencia a la compresión para el hormigón convencional se obtuvo una resistencia promedio de 20,3 MPa, a la edad de 7 días, valor que representa el 62,84% de la resistencia a la compresión promedio requerida de 32,3 MPa. A los 14 días la resistencia fue de 29,95 MPa, que representa el 92,72% de la resistencia promedio requerida y a los 28 días se obtuvo una resistencia de 35,69MPa representando el 110,49% de la resistencia promedio requerida con una desviación estándar de 4,09 y un coeficiente de variación de 0,10.

De la misma manera, los ensayos de los cilindros elaborados con residuos cerámicos como sustituto del agregado grueso, para la resistencia a la compresión, arrojaron los siguientes resultados experimentales: a los 7 días una resistencia de 13,2 MPa, que respresenta el 40,86% de la resistencia a la compresión promedio requerida. A la edad de 14 días 17,11 MPa, con el 52,97% de la resistencia promedio requerida y a los 28 días un valor promedio de resistencia a la compresión de 29,32 MPa, que representa el 90,77% de la resistencia promedio requerida, con una desviación estándar de 1,95 y un coeficiente de variación de 0,06.

Con relación a la resistencia a la compresión en la figura N°3 se puede observar una comparación de la resistencia

a la compresión a diferentes edades entre el hormigón convencional y el hormigón con residuos cerámicos.

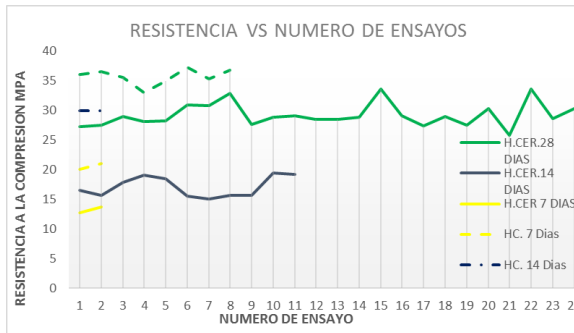


Figura 3. Resistencia a la compresión.

Para el análisis del módulo de deformación del hormigón con residuos cerámicos se realizó una comparación entre los valores calculados en laboratorio, el valor que presenta el ACI 318 en su apartado 8.5.1 en donde recomienda la ecuación  $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$  [kg/cm<sup>2</sup>] a la edad de 28 días y el obtenido en el ajuste por mínimos cuadrados del rango elástico el mismo que se observa en la figura 4.

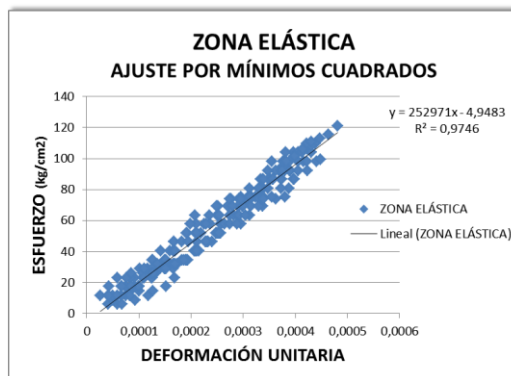


Figura 4. Módulo de elasticidad por mínimos cuadrados

En la figura N°5 se presenta los valores del módulo de deformación de los 32 cilindros ensayados.

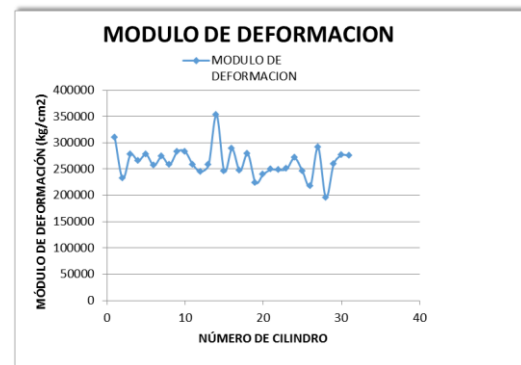


Figura 5. Valores de Módulo de deformación de 32 muestras de cilindros ensayados.

El promedio determinado en laboratorio es de  $E_c = 250378$  kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de dispersión de 0.0584 y el valor determinado con el método del ACI es de  $E_c = 261003.31$  kg/cm<sup>2</sup> y el valor resultante del reajuste por mínimos cuadrados es de  $E_c = 252971$  kg/cm<sup>2</sup> de esta manera se puede observar que los valores de módulos de elasticidad empíricos y prácticos son muy similares dando paso a la Figura 6 que nos indica el comportamiento de la deformación en función del esfuerzo que sufre el cilindro ensayado.

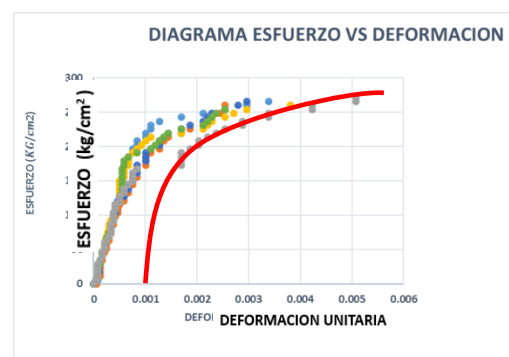


Figura 6. Diagrama esfuerzo-deformación de cilindros ensayados.

Una vez realizados todos los ensayos y determinadas las propiedades del hormigón con cerámicos reciclados se

realizó un análisis económico con respecto al hormigón convencional dando como resultado una reducción en su costo de 2.18 %, el mismo que se presenta en el anexo 1 de este artículo.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Los materiales sometidos al desgaste mediante la máquina de los Ángeles nos permitió ultimar que el cerámico triturado utilizado en el hormigón ensayado tiene un desgaste de 24%, es decir 7,8% superior al agregado grueso utilizado en el hormigón convencional (Mina Pifo-Ripconci), sin embargo el material cerámico cumple con el criterio de aceptación de acuerdo a la norma ASTM “Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Ángeles” al presentar un desgaste inferior al 50%, [5], de esta manera se puede concluir que el hormigón, en función a esta caracterización, cumplirá los parámetros de un concreto estructural.
- Los cilindros sometidos al ensayo de compresión simple tuvieron un desempeño del 90% (29.32Mpa) de la resistencia para la cual fue diseñada en el laboratorio (32,3MPa), por tanto el hormigón elaborado con residuos cerámicos como sustituto del agregado grueso cumple con la resistencia requerida de diseño.
- En el rango de deformaciones comprendidos entre el 2‰ y 3‰, la resistencia a la compresión media con residuos cerámicos es de 25 MPa, lo cual es superior a 21 MPa, valor mínimo permitido de resistencia para diseño de elementos de hormigón armado.
- El módulo de deformación obtenido en laboratorio a la edad de los 28 días es similar al determinado empíricamente ( $261003\text{kg/cm}^2 \approx 250378\text{kg/cm}^2$ ) utilizando el método del ACI, por lo que se puede concluir que existe una buena relación entre la deformación y el esfuerzo en el rango elástico al sustituir el agregado grueso por cerámico.
- El asentamiento de las mezclas realizadas fueron inferiores a las que se proyectó para esta investigación; con el propósito de conseguir una mezcla con un mayor asentamiento y un material con una mejor trabajabilidad se recomienda realizar futuras investigaciones agregando a esta mezcla aditivos a base de polímeros hidroxilados, como plastificantes que cumplan la norma ASTM C-494
- La reducción en costos del hormigón realizado con residuos cerámicos es una de las ventajas principales que posee este tipo de material, además de neutralizar en gran escala el impacto ambiental negativo que produce este tipo de desechos al suelo y al medio ambiente en general, aun cuando se requiere el uso de plastificante para aumentar su trabajabilidad.

## Referencias

- [1] ACI 211.1-91. (2002). *Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo Normal*.
- [2] ACI 318. (2005). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural*.
- [3] ACI Comité 211. (1997). *Estandar Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight and Mass Concrete*.
- [4] Armas, S. (2006). *Breve acercamiento a la realidad de los residuos sólidos y su disposición final en el Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el Marzo de 2018, de Dirección de Calidad Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente:  
<http://www.camaraconstruccionquito.ec/index.php>
- [5] ASTM C131. (2009). *Método de Prueba Estándar para Resistencia a Degradación de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles*.
- [6] ASTM C33. (2011). *Determinación de la desintegración de los áridos mediante el método de los sulfatos de sodio o sulfato de magnesio*.
- [7] ASTM C-40. (2009). *Método de Ensayo Normalizado para la Detección de Impurezas Orgánicas en Agregados Finos para Concreto*.
- [8] ASTM C469. (2010). *Módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión*.
- [9] ASTM C-494. (2008). *Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto*.
- [10] Awoyera, P. O., Ndambuki, J. M., Akinmusuru, J. O., & Omole, D. O. (2016). Characterization of ceramic waste aggregate. *Housing and Building National Research Center*, 1-6.
- [11] Bastidas Sosa, P. G., & Viñan, M. P. (2017). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con partículas de caucho de neumáticos reciclados*. Quito: UPS.
- [12] Castro, S., & Brito, D. (2017). *Influencia de la calidad de los agregados en la resistencia del hormigón*. Quito.
- [13] Herrería Cisneros, S., & Villegas Dávila, F. M. (2008). *Módulos de Elasticidad y curvas de esfuerzo - deformación, en base a la compresión del hormigón a 21, 28, 35 MPA*. Quito: ESPE.
- [14] IMCYC. (2006). *Pruebas de resistencia a la compresión del concreto*. México D.F.
- [15] INEN 863. (2011). *Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio*.

- [16] Instituto Mexicano del cemento y del concreto. (2009). Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson. *El concreto en la Obra*, 68-75.
- [17] Martínez Nieto, A. F. (2016). *Diseño de mezcla de concreto MÉTODO ACI 211.1 – RNC 07*. Quito: Guías cortas para los estudiantes.
- [18] Mora, D. B. (2014). *Hormigones con agregados cerámicos*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- [19] Norma ASTM C127. (2010). *Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos*. USA.
- [20] Norma ASTM C-40. (2016). *Método de Ensayo Normalizado para la Detección de Impurezas Orgánicas en Agregados Finos para Concreto*.
- [21] Norma NTE INEN 872, . (2016). *Requisitos de los áridos para hormigón*. Quito.
- [22] Normalización, I. E. (2015). *Estructura de hormigón armado CPE INEN-NEC-SE-HM 26-4. INEN*.
- [23] NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*.
- [24] NTE INEN 3124. (2016). *Hormigón: Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio*.
- [25] NTE INEN 872. (2011). *Requisitos de los áridos para hormigón*. QUITO.
- [26] Sánchez, V. (2010). *Durabilidad de los agregados a la acción de los Sulfatos*. Quito: PUCE.
- [27] UCA, U. C. (2014). *IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ARENAS* . San Salvador.

**ANEXO 1.**

**Anexo1.1. Análisis de precios unitarios del hormigón convencional f'c: 240 kg/cm2**

<b>RUBRO</b>	<b>Hormigón Convencional f'c: 240 kg/cm2</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1</b>
		<b>UNIDAD</b>	<b>m3</b>

**EQUIPO**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA/HORA</b>	<b>COSTO/HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
Vibrador	1	3,13	3,125	1	3,125
Herramienta Menor	1	1	1	1	1
<b>Subtotal A</b>					<b>4,1250</b>

**MANO DE OBRA**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA/HORA</b>	<b>COSTO/HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
Maestro Mayor	1	3,82	3,82	1	3,8200
Albañil	2	3,45	6,9	1	6,9000
Peon	4	3,41	13,64	1	13,6400
<b>Subtotal B</b>					<b>24,3600</b>

**MATERIALES**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT</b>	<b>COSTO</b>
Cemento	sacos	9	8	72,0000
Arena	m3	0,26	20	5,2000
Ripio	m3	0,47	20	9,4000
Agua	lts	291	0,02	5,8200
<b>Subtotal C</b>				<b>92,4200</b>

<b>COSTO TOTAL DIRECTO(A+B+C)</b>	<b>120,91</b>
-----------------------------------	---------------

**Anexo1.2. Análisis de precios unitarios del hormigón realizado con residuos cerámicos como sustituto del agregado grueso. f'c: 240 kg/cm2**

<b>RUBRO</b>	Hormigón con residuos cerámicos como sustituto del agregado grueso f'c: 240 kg/cm2	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1</b>
		<b>UNIDAD</b>	<b>m3</b>

**EQUIPO**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA/HOR	COSTO/HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	D	A	A	O	
Vibrador	1	3,13	3,125	1	3,125
Herramienta Menor	1	1	1	1	1
<b>Subtotal A</b>					<b>4,1250</b>

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA/HOR	COSTO/HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	D	A	A	O	
Maestro Mayor	1	3,82	3,82	1	3,8200
Albañil	2	3,45	6,9	1	6,9000
Peon	4	3,41	13,64	1	13,6400
<b>Subtotal B</b>					<b>24,3600</b>

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT		COSTO
Cemento	sacos	9	8		72,0000
Arena	m3	0,26	20		5,2000
Residuos cerámicos	m3	0,47	10		4,7000
Agua	lts	291	0,02		5,8200
Plastificante	lts	2,1	0,98		2,06
<b>Subtotal C</b>					<b>89,7800</b>

<b>COSTO TOTAL DIRECTO(A+B+C)</b>	<b>118,27</b>
-----------------------------------	---------------