

Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador

Sánchez Oñate, Diego M. ^{1,*} ; Chiliquinga Cando, Jessica P. ¹ ; Flores Montalvo, Edwin P. ¹ ; Oroscó Tacuri, Marcia K. ¹ 

¹Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Quito, Ecuador

Resumen: El Módulo estático de elasticidad del hormigón es un parámetro que se utiliza para el cálculo y control de desplazamientos y deformaciones en una estructura de hormigón armado. El valor del módulo estático de elasticidad del hormigón depende en gran medida del módulo estático de elasticidad del agregado con el cual se fabrica el hormigón. El código ACI establece que, para calcular el módulo estático de elasticidad de un hormigón de peso normal, se debe usar como dato la resistencia a la compresión del hormigón. En el presente estudio se elaboraron probetas de hormigón armado utilizando agregados obtenidos de la mina San Roque ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador y se obtuvo el módulo estático de elasticidad del hormigón usando el método ASTM C 469. Los resultados obtenidos mostraron que la forma de cálculo del módulo estático de elasticidad del hormigón propuesto por el ACI no es aplicable para hormigones fabricados con agregados obtenidos de la mina San Roque.

Palabras clave: Deformaciones, derivas, desplazamientos, módulo de elasticidad, hormigón.

Concrete Modulus of Elasticity Based on Compressive Strength Made with Materials of San Roque Mine Located in Imbabura, Ecuador

Abstract: Static Modulus of Elasticity of Concrete is used to control the displacements and deformations in reinforced concrete structures. Static Modulus of Elasticity of Concrete depends mainly of the modulus of elasticity of the aggregate. The ACI code establishes that static modulus of elasticity of a normal weight concrete is taken by using concrete compression strength. In this study, reinforced concrete specimens were made using aggregates obtained from the San Roque mine located in the province of Imbabura, Ecuador. Modulus of elasticity was obtained using ASTM C 469 method. The results showed that the ACI method to calculate the static modulus of elasticity of concrete is not applicable for those made with aggregates obtained from the San Roque mine.

Keywords: Concrete, deformations, displacements, drift, modulus of elasticity.

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón armado es el material más usado en la industria de la construcción en el Ecuador. Las propiedades mecánicas que adquiere el hormigón dependen en gran medida de la calidad de cada uno de sus componentes, así como del volumen que ocupan dentro de la mezcla (American Concrete Institute, 2015). El módulo estático de elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que permite caracterizar el comportamiento elástico del concreto, el cual puede ser obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para evaluar la deformación del material (Serrano & Pérez, 2010). La relación agua-cemento es

otro factor importante, ya que a menor relación agua-cemento, mayor es la resistencia a la compresión. Según el American Concrete Institute (2015) el Módulo estático de elasticidad se puede calcular usando la resistencia a la compresión del hormigón, y su valor se ve incrementado cuando la resistencia del hormigón es mayor. La ecuación que establece el American Concrete Institute (2015) para el cálculo del módulo estático de elasticidad del hormigón es la siguiente:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

*dmsanchezo@uce.edu.ec
Recibido: 02/03/2020
Aceptado: 12/06/2020
Publicado: 31/08/2020
10.33333/tp.vol46n1.03
CC BY 4.0

Donde E_c es el módulo estático de elasticidad del hormigón en MPa y f'_c es la resistencia a la compresión del hormigón en MPa. Esta recomendación del American Concrete Institute (2015) ha sido replicada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015). En su capítulo NEC_SE_HM se establece que el módulo estático de elasticidad del hormigón se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E_c = 4,7\sqrt{f'_c} \quad (2)$$

Donde E_c es el módulo estático de elasticidad del hormigón en GPa y f'_c es la resistencia a la compresión del hormigón en MPa. En el Ecuador, se han realizado varios estudios para comprobar que esta ecuación es válida para el cálculo del módulo estático de elasticidad utilizando agregados locales. A continuación, se presenta un cuadro con los resultados obtenidos.

Tabla 1. Resultados de estudios realizados para determinar el módulo estático de elasticidad del hormigón con materiales de distintas minas en el Ecuador.

Procedencia del Material	f 'c obtenido (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)		Relación
		Teórico ACI318-14	Experimental ASTM-C469	Experimental / teórico
Mitad del Mundo (Pichincha) (Espinoza & Martínez, 2010)	20,40	21 341,90	11 505,89	53,91%
Mitad del Mundo (Pichincha) (Espinoza & Martínez, 2010)	23,30	22 815,97	13 447,32	58,94%
Mitad del Mundo (Pichincha) (Espinoza & Martínez, 2010)	26,70	24 418,20	13 842,30	56,69%
Pifo (Pichincha) (Herrería & Villegas, 2008)	35,00	27 805,57	20 483,60	73,67%
Pifo (Pichincha) (Herrería & Villegas, 2008)	35,70	28 082,25	20 647,90	73,53%
Pifo (Pichincha) (Herrería & Villegas, 2008)	35,70	28 082,25	20 309,30	72,32%
Pifo (Pichincha) (Herrería & Villegas, 2008)	35,00	27 805,57	20 700,00	74,45%
Mina de Guayllabamba (Pichincha) (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012)	30,97	26 155,83	24 370,26	93,17%
Mina de Guayllabamba (Pichincha) (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012)	35,19	27 880,95	24 574,11	88,14%
Mina San Ramón (Cotopaxi) (Carvajal, 2013)	28,74	25 196,56	18 587,95	73,77%
Mina San Ramón (Cotopaxi) (Rivadeneira, 2013)	30,14	25 802,96	19 018,93	73,71%
Mina San Ramón (Cotopaxi) (Yancha, 2013)	31,49	26 374,50	19 232,96	72,92%
San Joaquín (Cotopaxi) (Arequipa, Coba, Garzón, & Vargas, 2013)	26,71	24 290,41	16 583,22	68,27%
San Joaquín (Cotopaxi) (Arequipa, Coba, Garzón, & Vargas, 2013)	30,18	25 820,07	18 323,13	70,96%
Mina Villacres (Tungurahua) (Ulloa, 2013)	30,50	25 956,60	19 212,73	74,02%
Mina Villacres (Tungurahua) (García, 2013)	33,03	27 011,71	20 087,08	74,36%
Mina Villacres (Tungurahua) (Anasi, 2013)	34,90	27 765,82	20 629,59	74,30%
Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración de Áridos. (Tungurahua) (Sánchez, 2013)	21,00	21 538,11	19 073,56	88,56%
Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración de Áridos. (Tungurahua) (Sánchez, 2013)	24,00	23 025,20	20 569,76	89,34%
Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración de Áridos. (Tungurahua) (Sánchez, 2013)	28,00	24 870,06	22 465,80	90,33%

Al observar los resultados obtenidos en investigaciones previas es evidente que el módulo estático de elasticidad obtenido de forma experimental es diferente al obtenido de forma teórica usando la ecuación planteada por el American Concrete Institute y la norma ecuatoriana de la construcción.

2. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Para estimar deformaciones debidas a cargas de corta duración, donde se puede admitir un comportamiento elástico sin errores importantes, es necesario definir un valor del módulo estático de elasticidad (Cuevas & Fernández, 2005). Todas las obras civiles

para su cálculo y diseño dependen del Módulo estático de elasticidad. En el Ecuador, el material de mayor consumo dentro del campo de la construcción es el hormigón (Diario El Universo, 2018), de aquí la importancia de contar con datos experimentales que comprueben que la forma de cálculo propuesta por el American Concrete Institute (2015), que permite determinar el Módulo estático de elasticidad en función de la resistencia a la compresión, es aplicable a los hormigones fabricados con materiales que se encuentran en el Ecuador. En el control de calidad del hormigón en las obras civiles se da mayor importancia al valor de la resistencia a la compresión. Sin embargo, se debe considerar que el valor del módulo estático de elasticidad real del hormigón es igual de importante. El control de este parámetro tiene por objeto asegurar que la estructura se comporte de la forma en la fue diseñada (Guaño, 2015). Como un aporte al desarrollo de la construcción en el Ecuador, se realizó este estudio utilizando materiales de la mina San Roque - Cantón Antonio Ante - Provincia de Imbabura.

3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

3.1 Propiedades de los materiales y diseño de mezclas.

Previo a realizar el diseño de mezclas, es necesario determinar las propiedades mecánicas de los agregados (American Society for Testing and Materials, 2014). Los agregados usados en la fabricación del hormigón fueron obtenidos de la mina de San Roque ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador. En los agregados se realizaron ensayos de abrasión, colorimetría, masa específica, capacidad de absorción, contenido de humedad, densidad aparente suelta y compactada, densidad óptima y granulometría. En el cemento se realizó ensayos de densidad absoluta y consistencia normal. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del agregado grueso obtenido de la mina se San Roque, Imbabura, Ecuador

Propiedades mecánicas de los materiales	Valor
Tamaño nominal máximo (Pulgadas)	1,50
Densidad suelta (g/cm ³)	1,31
Densidad compactada (g/cm ³)	1,47
Densidad saturado superficie seca (g/cm ³)	2,54
Porcentaje de absorción (%)	2,64
Abrasión (%)	47,54

Tabla 3. Propiedades mecánicas del agregado fino obtenido de la mina se San Roque, Imbabura, Ecuador

Propiedades mecánicas de los materiales	Valor
Módulo de finura	3,26
Densidad suelta (g/cm ³)	1,63
Densidad compactada (g/cm ³)	1,82
Densidad saturado superficie seca (g/cm ³)	2,61
Porcentaje de absorción	2,22

Una vez obtenidas las propiedades mecánicas de los agregados, se realizó el diseño de mezclas usando el método American Concrete Institute (2002) cuyo procedimiento se estableció por el comité 211. El diseño se lo realizó para obtener resistencias de 26MPa y 30MPa.

3.2 Descripción de las probetas

Usando el diseño de mezclas obtenido mediante el método del ACI, se construyeron 18 cilindros de hormigón cuya resistencia esperada fue de 26MPa y 18 cilindros de hormigón cuya resistencia esperada fue de 30MPa. Las dimensiones de los cilindros fueron de 150mm de diámetro y 300mm de altura. Estas dimensiones son estándar para la norma ACI y también para el Ecuador (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Los 18 cilindros fueron ensayados para obtener la resistencia a la compresión del hormigón. Las resistencias obtenidas fueron las mismas para las cuales se diseñó la mezcla, por lo tanto, se usó este diseño de mezclas para elaborar las probetas con las cuales se obtuvo el módulo estático de elasticidad.

3.3 Módulo estático de elasticidad experimental

Para obtener el módulo estático de elasticidad experimental se utilizó el procedimiento establecido en la norma ASTM C 469 (American Society for Testing and Materials, 2014) que establece que el módulo de rigidez experimental se puede determinar mediante la siguiente expresión (American Society for Testing and Materials, 2014):

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{0,40\sigma - \sigma_1}{\varepsilon x - 0,00005} \quad (3)$$

En donde E es el módulo estático de elasticidad del hormigón en MPa, σ es el esfuerzo máximo en MPa que soporta la probeta, σ_1 es el esfuerzo en MPa correspondiente a una deformación unitaria de 0,00005 y εx es la deformación unitaria que ocurre para el esfuerzo de $0,40\sigma$.

Una vez obtenidas las resistencias de diseño requeridas, se construyeron 30 cilindros de 150mm de diámetro y 300mm de altura de resistencias de 26MPa y 30MPa. 20 de estos cilindros fueron utilizados para realizar ensayos de compresión. Se ensayaron 5 cilindros a los 7 días, 5 cilindros a los 14 días, 5 cilindros a los 21 días y 5 cilindros a los 28 días. Los 10 cilindros restantes se utilizaron para obtener el módulo estático de elasticidad. Para la resistencia de 26MPa se consideraron 9 cilindros para el cálculo del módulo estático de elasticidad. Para la resistencia de 30MPa se consideraron 8 cilindros para el cálculo del módulo estático de elasticidad. Esto debido a que tres cilindros en total se descartaron debido a que presentaban errores en su fabricación.

3.4 Ensayo

El procedimiento para obtener el módulo estático de elasticidad es el que se indica en la norma ASTM C469. Los pasos son los

siguientes: En la probeta, se colocan abrazaderas unidas mediante pivotes. Las abrazaderas se unen a la probeta usando puntos de sujeción al eje de la misma. Finalmente se coloca un deformímetro para medir la deformación que se presenta en la probeta debido a la carga de compresión. Un esquema de los componentes colocado en la probeta se muestra a continuación.

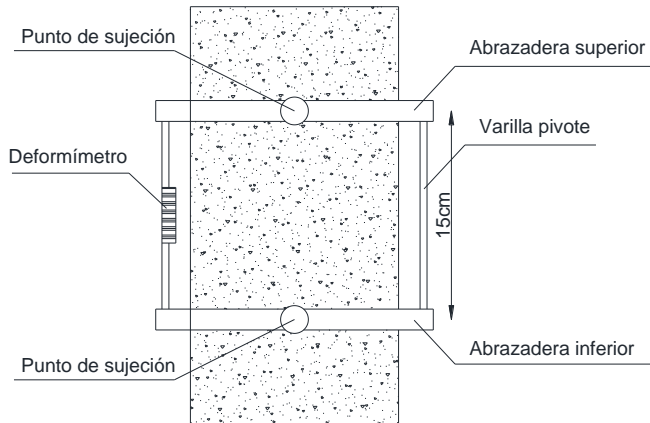


Figura 1. Esquema de colocación de equipos en la probeta para determinar el módulo estático de elasticidad del hormigón.

Los datos del ensayo fueron recopilados por dos observadores. El primero reportó la carga aplicada a la probeta, el otro observador reportó la deformación que se presentó en la probeta. El valor que se lee en el deformímetro se divide entre 2 debido al esquema con el cual se miden las deformaciones.

Se utilizaron dos ciclos de carga. El límite para el primer ciclo de carga fue de 400kN. Esto debido a que el esfuerzo correspondiente a esta carga es aproximadamente 22,60MPa. Este valor supera el 40% de esfuerzo máximo para el cual las probetas fueron diseñadas. Estos datos son suficientes para determinar el módulo estático de elasticidad del hormigón ya que el mismo se calcula usando una deformación unitaria correspondiente al 40% del esfuerzo máximo que soporta la probeta (American Society for Testing and Materials, 2014). Para el segundo ciclo de carga no existió límite, se aplicó carga a la probeta hasta que se produjo la falla a compresión.

4. RESULTADOS ESPERADOS

4.1 Resistencia a la compresión

De acuerdo con el diseño de mezclas utilizado para elaborar el primer grupo de especímenes de hormigón, la resistencia esperada es de 26MPa. Para el segundo grupo de especímenes, se utilizó un diseño de mezclas cuya Resistencia esperada es de 30MPa.

4.2 Módulo estático de elasticidad

El módulo estático de elasticidad esperado se calcula considerando la resistencia a la compresión esperada (American Concrete Institute, 2015), para ello se utiliza la ecuación (1). El

valor esperado para el módulo estático de elasticidad del hormigón de 26MPa es 23965,39MPa. El valor esperado para el módulo estático de elasticidad del hormigón de 30MPa es de 25742,96MPa.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión promedio obtenida para el primer diseño de mezclas fue de 26,71MPa. Para el segundo diseño de mezclas, la resistencia a la compresión obtenida fue de 30,86MPa. Estos valores son muy cercanos a los cuales se esperaba obtener.

5.2 Diagrama esfuerzo - deformación unitaria de las probetas.

Con los datos recopilados por los observadores se obtuvieron los diagramas esfuerzo deformación para cada cilindro. Estos diagramas fueron usados para determinar el módulo estático de elasticidad del hormigón.

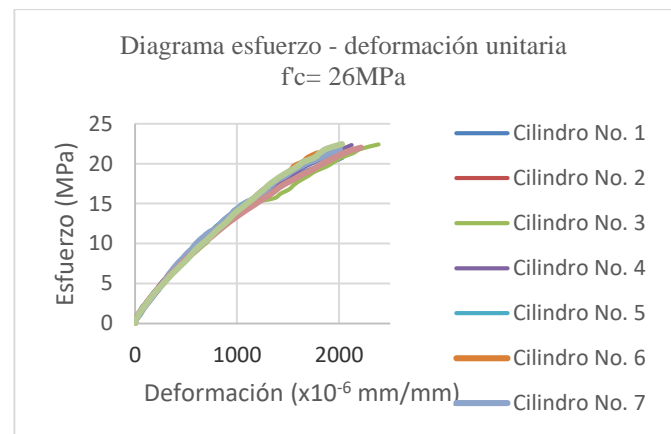


Figura 2. Diagrama esfuerzo deformación para cilindros de 26MPa.

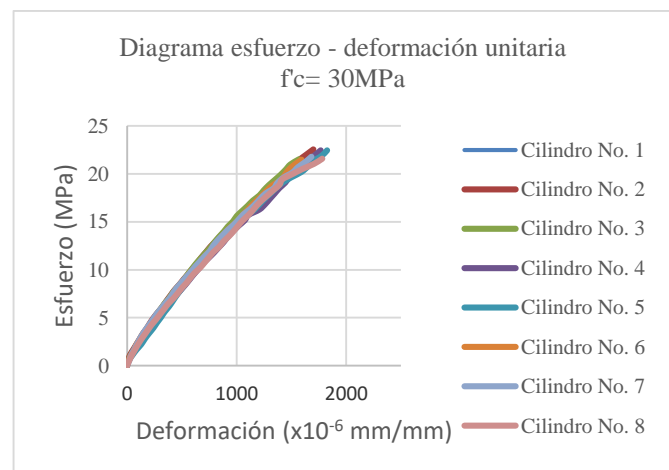


Figura 3. Diagrama esfuerzo deformación para cilindros de 30MPa.

5.3 Módulo estático de elasticidad del hormigón

El módulo estático de elasticidad se obtuvo utilizando la ecuación (3). A continuación, se muestra un diagrama de esfuerzo deformación en el cual se ha colocado la recta cuya pendiente se define como el módulo estático de elasticidad del hormigón.

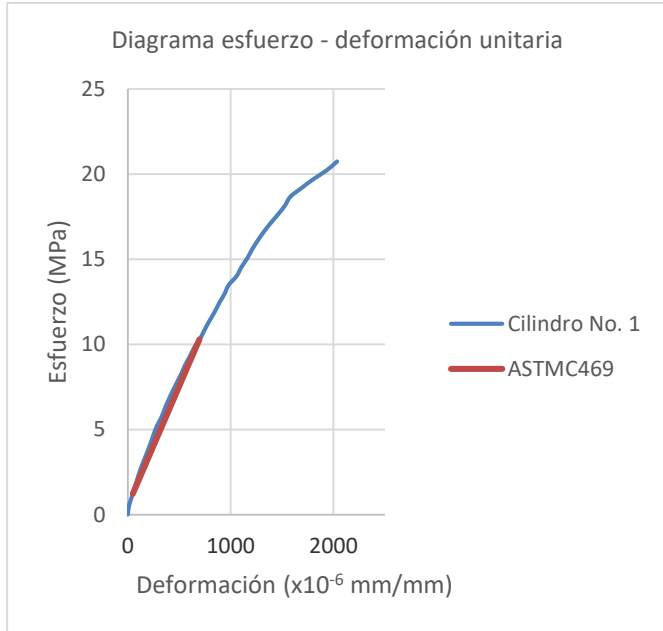


Figura 4. Diagrama esfuerzo deformación y módulo estático de elasticidad del hormigón.

El módulo estático de elasticidad obtenido experimentalmente, para una resistencia a la compresión de 26,71MPa fue de 14368,07MPa. El módulo estático de elasticidad obtenido experimentalmente para una resistencia a la compresión de 30,86 MPa fue de 14818,07MPa.

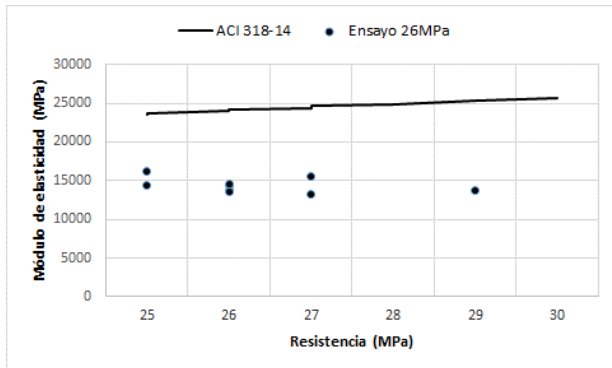


Figura 5. Comparación módulo estático de elasticidad teórico y experimental para una resistencia a la compresión de 26MPa.

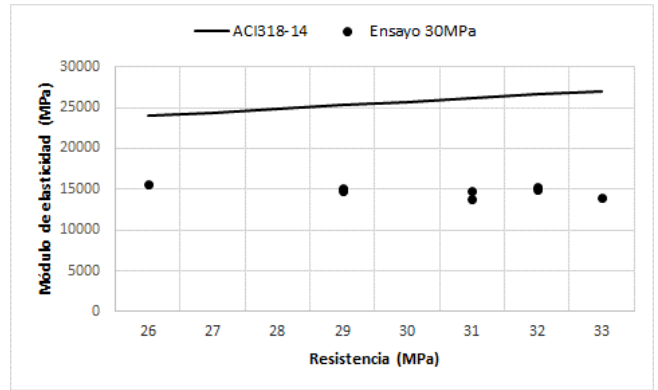


Figura 6. Comparación módulo estático de elasticidad teórico y experimental para una resistencia a la compresión de 30MPa.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto a la resistencia a la compresión, los resultados esperados y los resultados experimentales tiene valores muy similares. En cuanto al módulo estático de elasticidad, los resultados teóricos y experimentales presentan valores muy diferentes. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los resultados obtenidos para el módulo estático de elasticidad.

Tabla 4. Resultados de resistencia a la compresión y módulo estático de elasticidad.

Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
	ACI318-14	ASTM C469-64
	Teórico	Experimental
26,71	24290,41	14368,07
30,86	26109,34	14818,07

El módulo estático de elasticidad teórico fue calculado usando la ecuación (1). El módulo estático de elasticidad experimental se calculó usando lo establecido en la norma ASTM C469 (American Society for Testing and Materials, 2014).

Claramente se observa que los resultados teóricos y experimentales del módulo estático de elasticidad son muy diferentes.

Si estos valores se expresan en porcentaje, para el primer diseño de mezclas, el módulo estático de elasticidad obtenido experimentalmente es el 59,15% respecto al valor teórico. En el segundo diseño de mezclas, el módulo estático de elasticidad obtenido experimentalmente es del 56,75% respecto al valor teórico.

Usando estos resultados, se obtuvieron coeficientes que relacionen la resistencia del hormigón con el módulo estático de elasticidad. El coeficiente obtenido en esta investigación es de

2 780,11 para una resistencia a la compresión de 26,71MPa. Es decir, adoptando el formato de la ecuación (1), el módulo estático de elasticidad se podría calcular con la siguiente expresión:

$$E_c = 2780\sqrt{f'c} \quad (4)$$

Para la resistencia a la compresión de 30.86MPa, el coeficiente obtenido es de 2667.43. Adoptando nuevamente el formato de la ecuación (1) el módulo estático de elasticidad se podría calcular con la siguiente expresión:

$$E_c = 2667\sqrt{f'c} \quad (5)$$

En esta investigación, se propone usar la ecuación (5) en lugar de la ecuación (1) para obtener el módulo estático de elasticidad del hormigón si se fabrica utilizando como agregados los materiales obtenidos de la mina de San Roque ubicada en Imbabura, Ecuador.

Se propone la ecuación (5) y no la (4) debido a que la ecuación (5) es más conservadora.

En resumen:

En la presente investigación se realizaron dos diseños de mezclas de hormigón, se elaboraron probetas y se ensayaron a compresión. Adicionalmente, se obtuvo de forma experimental el módulo estático de elasticidad del hormigón para compararlo con el módulo estático de elasticidad teórico.

El primer diseño de mezclas dio como resultado una resistencia a la compresión de 26,71MPa.

Para este diseño de mezclas se obtuvo el módulo estático de elasticidad experimental del hormigón usando el método establecido por la ASTM C469 (American Society for Testing and Materials, 2014), el resultado obtenido fue de 14368,07MPa.

El resultado teórico del módulo estático de elasticidad para el primer diseño de mezclas, considerando que su resistencia a la compresión fue de 26,71MPa, es de 24290,4MPa.

Para este diseño, el módulo estático de elasticidad obtenido experimentalmente es el 59,15% respecto al valor teórico.

El segundo diseño de mezclas dio como resultado una resistencia a la compresión de 30,86MPa.

Para este diseño de mezclas se obtuvo el módulo estático de elasticidad experimental del hormigón usando el método establecido por la ASTM C469 (American Society for Testing and Materials, 2014), el resultado obtenido fue de 14818,07MPa.

El resultado teórico del módulo estático de elasticidad para este diseño de mezclas, considerando que su resistencia a la compresión fue de 30,86MPa, es de 26109,30MPa.

Para este diseño, el módulo estático de elasticidad obtenido experimentalmente es el 56,75% respecto al valor teórico.

7. CONCLUSIONES

Se evidencia que, en ninguno de los dos ensayos de laboratorio, los resultados del módulo estático de elasticidad del hormigón obtenidos experimentalmente son iguales a los obtenidos de forma teórica con la ecuación (1), la cual es establecida por el American Concrete Institute (2015).

Esta diferencia en los resultados se presenta debido a que el módulo de elasticidad del hormigón puede variar dependiendo de las propiedades de los agregados. Esto implica la necesidad de obtener datos experimentales de los agregados utilizados en cada región del país.

El American Concrete Institute (2015), de acuerdo con la ecuación (1) establece que el módulo estático de elasticidad se puede calcular utilizando la resistencia a la compresión del hormigón; sin embargo, en los ensayos realizados se observa que, aunque se incrementa la resistencia a la compresión, no se incrementa significativamente el módulo estático de elasticidad del hormigón.

El American Concrete Institute (2015) establece que el módulo estático de elasticidad del hormigón es sensible al módulo estático de elasticidad del agregado y a la dosificación de la mezcla de concreto y que los valores medidos del módulo estático de elasticidad pueden variar entre el 80 y el 120 por ciento de los valores calculados. Sin embargo, en este estudio, la variación fue de hasta el 56 por ciento.

De acuerdo con los resultados obtenidos, no es conveniente utilizar la ecuación (1), que establece el American Concrete Institute (2015) para calcular el módulo estático de elasticidad del hormigón en todas las regiones. Esto debido a que las características de los agregados varían en cada región.

En el código NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) en la sección 3.3.3 se establece la forma de cálculo del módulo estático de elasticidad para el hormigón. Esta ecuación es la misma que se utiliza en el American Concrete Institute (2015). Por lo tanto, la forma de cálculo del módulo estático de elasticidad en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) tampoco se puede aplicar para el agregado obtenido de la mina San Roque, Imbabura.

Es necesario establecer una forma de cálculo del módulo estático de elasticidad del hormigón para cada país o región debido a la diferencia en las características de los agregados que se utilizan en la fabricación del hormigón.

En esta investigación se sugiere la siguiente expresión para el cálculo del módulo estático de elasticidad del hormigón cuando se fabrique usando agregados de la mina de San Roque, Imbabura.

$$E_c = 2667 \sqrt{f'_c} \quad (6)$$

Es necesario realizar investigaciones del mismo tipo para las minas principales de las cuales se extraen los agregados para elaborar hormigón en el Ecuador, esto con el fin de lograr una mejor estimación en el cálculo del módulo estático de elasticidad del hormigón.

El cálculo adecuado en el módulo estático de elasticidad del hormigón permitirá que no se subestimen las deformaciones en las estructuras de hormigón armado.

La norma ecuatoriana de la construcción (2015) establece que la deriva máxima de piso en estructuras de hormigón armado debe ser de 0.02. La deriva de piso depende entre otros factores del módulo estático de elasticidad del hormigón. Sobreestimar el módulo estático de elasticidad del hormigón provocará que la deriva provocada en un movimiento sísmica sea mayor a la obtenida en el análisis estructural.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo brindado por el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- American Concrete Institute. (2015). *ACI318-14*. Farmington Hills, USA, USA: IHS.
- American Society for Testing and Materials. (2014). *Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression*.
- Anasi, N. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f_c = 28$ MPa, fabricado con materiales de la Mina Villacres, ubicada en el sector de la Península Cantón Ambato en la Provincia de Tungurahua y cemento holcim*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2218>
- Arequipa, E., Coba, W., Garzón, D., & Vargas, L. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple $f_c = 21$ MPa y 30 MPa elaborado con agregados de la Mina San Joaquín Provincia del Cotopaxi y el cemento Selva Alegre*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/155>
- Carvajal, J. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($F_c = 21$ MPa), fabricado con materiales de la Mina San Ramón, ubicada en la Parroquia de Mulaló en la Provincia de Cotopaxi y Cemento Chimborazo*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1719/1/T-UCE-0011-48.pdf>
- Cuevas, G., & Fernández, R. (2005). *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado 4ta edición*. México.
- Diario El Universo. (2018, Septiembre 14). El hormigón es el más usado para construir viviendas en Ecuador. *El Universo*. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/09/14/nota/6951929/hormigon-es-mas-usado-construir-viviendas-ecuador>
- Espinoza, D., & Martínez, M. (2010). *Investigación y Determinación del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricados con Materiales de la Mitad del Mundo, Ecuador*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador.
- García, E. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f_c = 24$ MPa, fabricado con materiales de la Mina Villacres, ubicada en el sector de la Península Cantón Ambato en la Provincia de Tungurahua y cemento holcim*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2219>
- Guaño, C. (2015). *MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO*. Riobamba, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Nacional de

- Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/564>
- Herrería, S., & Villegas, F. (2008). *Módulos De Elasticidad Y Curvas De Esfuerzo Deformación, En Base A La Compresión Del Hormigón A 21, 28, 35 Mpa*. Sangolquí, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Escuela Politécnica del Ejército. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiDlrDeuNTnAhWEJ80KHVzDyWQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2F repositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F1783%2F1%2FT-ESPE-025382.pdf&usg=AOvVaw09UJEuoOMTC3mwJDcVRo5A>
- Morales, D., Ojeda, F., Rodríguez, D., & Rosero, A. (2012). *Módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión: $f_c=21$ y 28 MPa, fabricado con materiales de la Mina de Guayllabamba-Pichincha y Cemento Selva Alegre*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/245>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC15*. Quito, Ecuador.
- Rivadeneira, B. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($F_c=24$ MPa), fabricado con materiales de la Mina San Ramón, ubicada en la Parroquia de Mulaló en la Provincia de Cotopaxi y Cemento Chimborazo*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1786>
- Sánchez, J. (2013). *La Resistencia A La Compresión Del Hormigón Y Su Influencia En El Módulo De Elasticidad Estático En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua*. Ambato, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/6031/1/Tesis%20745%20-%20S%C3%A1nchez%20Garc%C3%ADa%20Jorge%20Luis.pdf>
- Serrano, M., & Pérez, D. (2010). Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*.
- Ulloa, V. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión $f_c= 21$ MPa, fabricado con materiales de la Mina Villacres, ubicada en el sector de la Península, Cantón Ambato en la Provincia de Tungurahua y cemento Holcim*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2220>
- Yancha, A. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($F_c=28$ MPa), fabricado con materiales de la Mina San Ramón, ubicada en la Parroquia de Mulaló en la Provincia de Cotopaxi y Cemento Chimborazo*. Quito, Ecuador: (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1657>

BIOGRAFÍAS



Diego Sánchez Oñate Ingeniero Civil, Universidad Central del Ecuador. Magister en Estructuras, Escuela Politécnica Nacional. Profesor en la Universidad Central del Ecuador desde 2018. Profesor Universidad Indoamérica desde 2020. Consultor estructural para el diseño de 30 edificios públicos y privados en el Ecuador entre los que se encuentran hospitales, iglesias, centros comerciales, conjuntos habitacionales, escuelas y colegios. Consultor estructural para el reforzamiento de estructuras en la ciudad de Quito. Constructor de proyectos públicos y privados.



Jessica Chilingua Cando, Ingeniera Civil, graduada de en la Universidad Central del Ecuador. Ha laborado como Técnica Vial e Infraestructura Comunitaria en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Archidona. Analista Técnica y Fiscalizadora en la Empresa Pública Ecuador Estratégico EP. Analista en Ingeniería Aeroportuaria en la Dirección General de Aviación Civil -Regional III. Coordinadora de Fiscalización en la Empresa Pública EP-EMPRODECO. Especialista de Infraestructura en la Universidad Regional Amazónica Ikiam.



Edwin Patricio Flores Montalvo,
Ingeniero Civil graduado en la
Universidad Central del Ecuador,
Constructor de Redes de Agua
Potable y Alcantarillado en obras
Publicas con la EPMAPSQ y
Privadas destacan la construcción de
la Red de Alcantarillado Para la
empresa BOPP del Ecuador en el
Sector de Yaruqui, construcción del
sistema de Agua potable para la

Empresa Casabaca, para las bodegas de autos ubicados en
Carapungo-Quito y Recientemente la construcción del Sistema
de Agua Potable, Alcantarillado y adoquinado en el Barrio 27
de Julio sector Pomasqui.



Marcia Katherine Orosco Tacuri,
Ingeniero Civil, Universidad Central
del Ecuador, profesional con 8 años de
experiencia laboral en Diseño
Hidrosanitario y de Infraestructura de
Alcantarillado y Agua Potable, en
proyectos públicos y privados del
Ecuador aplicados a Conjuntos
Habitacionales, Hospitales, Cuarteles
y Universidades. Residente
Hidrosanitario en Construcciones

Públicas en Obras de Rehabilitación de Establecimientos
Educativos, Campamentos Militares y Edificaciones.

