



Caracterización mecánica del concreto con resistencia a compresión $F'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ empleado en Ometepepec, Guerrero

Behavior of the stress-strain curve in concrete $F'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ used in Ometepepec, Guerrero

Galeana-Gómez, Gustavo

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Facultad de Ingeniería

E-mail: 22253290@uagro.mx

<https://orcid.org/0009-0002-8551-6374>

Altamirano de la Cruz, Gerardo

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Facultad de Ingeniería

E-mail: gerardocruz@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1180-5210>

Sánchez-Tizapa, Sulpicio

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Facultad de Ingeniería

E-mail: sstizapa@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6777-6984>

López-Valle, Imelda

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Facultad de Ingeniería

E-mail: 14672@uagro.mx

<https://orcid.org/0009-0005-4247-9616>

Arroyo-Matus, Roberto

Universidad Autónoma de Guerrero, México

Facultad de Ingeniería

E-mail: 08242@uagro.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8388-4299>

Resumen

El análisis y diseño de elementos de concreto reforzado requiere la curva esfuerzo-deformación ($f-\epsilon$) y el módulo elástico del concreto simple (E_c), este influye en el cálculo de desplazamientos y en las propiedades dinámicas. Con el objetivo de caracterizar mecánicamente el concreto simple $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, empleado en Ometepepec, Guerrero fabricado con agregados pétreos de los ríos Santa Catarina (arena y canto rodado) y Ometepepec (arena y agregado triturado) se elaboraron 105 probetas cilíndricas de $15 \times 30 \text{ cm}$ divididas en 4 combinaciones, el cemento utilizado fue CPC 30 R RS. Una vez conocidas las características físicas de los componentes del concreto, se diseñaron las mezclas mediante el método de volúmenes absolutos, obteniendo las cantidades de materiales requeridos. Usando el cabeceo con azufre, los especímenes fueron ensayados en una prensa automatizada a una velocidad constante, de acuerdo con la norma NMX-C-128-ONNCCE-2013. Las curvas esfuerzo-deformación ($f-\epsilon$) fueron graficadas y se obtuvo el factor numérico K (relación módulo elástico y resistencia a compresión), el promedio de éste fue superior a 14,000 y la deformación unitaria promedio resultó inferior a 0.003, ambos valores definidos por la NTC-DCEC-2023. Las curvas $f-\epsilon$ promedio de las combinaciones mostraron que el concreto elaborado con cantos rodados, presentaron un mayor E_c y una menor deformación (ϵ_o) comparado con las combinaciones, donde se empleó agregado triturado. El modelo de Hognestad representa adecuadamente la curva $f-\epsilon$ para concretos con cantos rodados con el parámetro B igual a 2.00, y 2.20 en agregados triturados. El valor medio del módulo elástico fue $241,556.44 \text{ kg/cm}^2$, mayor en 8 % al valor normativo para agregado de origen basáltico ($223,693.54 \text{ kg/cm}^2$) con una resistencia media a compresión de 255.30 kg/cm^2 .

Descriptores: Concreto, módulo, elasticidad, agregados, resistencia, deformación.

Abstract

The design of reinforced concrete elements requires the elastic modulus of simple concrete (E_c), which influences the calculation of displacements and the fundamental period of vibration. In order to determine the E_c and analyze the stress-strain curve ($f-\epsilon$) of the simple concrete $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ used in Ometepepec, Guerrero which is manufactured with aggregates from the Santa Catarina (sand and pebble gravel) and Ometepepec (sand and crushed gravel) rivers, 105 cylindrical specimens of $15 \times 30 \text{ cm}$ divided into 4 combinations were elaborated, the cement used was CPC 30 R RS. Using the physical characteristics of the concrete components, the mixes were designed using the absolute volume method, from which the proportions of materials required to achieve the specific strength were obtained. Using sulfur pitching, the test was carried out in an automated compression machine at a constant speed according to NMX-C-128-ONNCCE-2013. With the data collected, the curves ($f-\epsilon$) were plotted, the numerical factor K of the specimens was obtained, the average of this was higher than 14,000 and the average unit deformation of the concrete is less than 0.003, both parameters defined by the NTC-DCEC-2023. The average $f-\epsilon$ curves of the combinations showed that the concrete made with pebbles, presented higher E_c and lower deformation (ϵ_o) compared to the combinations where crushed aggregate was used. Hognestad's model adequately represents the $f-\epsilon$ curve for concretes with pebbles with parameter B equal to 2.00, and 2.20 in crushed aggregates. The average value of the elastic modulus was $241,556.44 \text{ kg/cm}^2$, 8 % higher than the normative value for aggregate of basaltic origin is ($223,693.54 \text{ kg/cm}^2$) considering an average compressive strength of 255.30 kg/cm^2 .

Keywords: Concrete, modulus, elasticity, aggregates, strength, deformation.

INTRODUCCIÓN

El concreto armado es uno de los elementos más empleados en la industria de la construcción (Nilson, 2004) por lo que es importante conocer las propiedades mecánicas de sus componentes (acero de refuerzo y concreto simple) para el análisis, diseño o revisión de estructuras de concreto reforzado. En este orden, la mecánica de materiales describe su comportamiento, del cual la elasticidad es un parámetro importante, donde se experimentan alargamientos ante la aplicación de fuerzas externas y recupera su forma original al retirarlas. Esta característica fue descubierta por Hooke (Beer, 2013) en el siglo XVII, quien a través de la curva esfuerzo-deformación (f - ϵ) observó que la mayoría de los materiales tienen una región lineal, donde el alargamiento experimentado es proporcional a las fuerzas aplicadas al material. Así mismo, el módulo elástico (E_c) del concreto simple se define como la pendiente que describe el rango lineal de la curva esfuerzo-deformación, establecido desde 0 hasta 40 % en la NTC-DCEC-2023 (Secretaría de obras y servicios, 2023) o 45 % (Comité ACI 318, 2019) del esfuerzo máximo experimentado y caracteriza la curva esfuerzo-deformación del concreto simple.

El diseño de elementos estructurales requiere del módulo elástico para el cálculo de desplazamientos y por consiguiente de elementos mecánicos, utilizar un parámetro diferente al real genera valores no confiables de secciones y armados de elementos influyendo en el costo de las construcciones. Adicionalmente, se tiene un impacto sobre los periodos de vibración de la estructura y en caso crítico el no detectar la posibilidad de resonancia con el suelo, así como la evaluación de fuer-

zas sísmicas cuando se utiliza el análisis dinámico modal espectral (Paz, 1992).

En este orden, la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto 2023, (NTC-DCEC-2023) estima el E_c en función del f'_c del concreto, con la expresión $14,000\sqrt{f'_c}$ y $11,000\sqrt{f'_c}$, dependiendo del origen del agregado empleado. Dichas expresiones tienen su procedencia en estudios para agregados pétreos de la ciudad de México por la diferencia de estratigrafía y tipo de suelos (Rodelo, 2020), estas expresiones no son aplicables a otras partes de la República Mexicana. Por ello, es importante conocer las propiedades físicas de los materiales utilizados. La Tabla 1 muestra un resumen de las expresiones del módulo elástico.

Por otro lado, Ometepepec Guerrero, fue epicentro de uno de los sismos más fuertes en la República Mexicana de los últimos 20 años, ocurrido el 20 de marzo de 2012 con magnitud 7.4 (Servicio Sismológico Nacional, 2012), donde muchas edificaciones resultaron afectadas. Estos desastres naturales muestran la importancia de un adecuado análisis y diseño de construcciones en esta zona, donde más de 70 % de las obras que se construyen son de concreto reforzado elaborado en obra (INEGI, 2020).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar el módulo elástico y analizar la curva esfuerzo-deformación del concreto simple con una resistencia a compresión de 250 kg/cm², fabricado con agregados provenientes del río Santa Catarina (arena y grava de canto rodado) y del río Ometepepec (arena y grava triturada) ubicados en Ometepepec (Figura 1).

Tabla 1. Expresiones matemáticas con relación en f'_c para el cálculo del módulo elástico (Rodelo, 2020)

(kg/cm ²)	Referencias y normas
8000 $\sqrt{f'_c}$	Mendoza (1985). Para concretos con grava y arena andesítica
11000 $\sqrt{f'_c}$	Mendoza (1985). Para concretos con grava basáltica y arena andesítica
6500 $\sqrt{f'_c}$	Mendoza (1985). Para grava ligera de arcilla expandida y arena andesítica
10600 $\sqrt{f'_c} + 70400$	(ACI-363, 1992). Concretos en Estado Unidos más un factor de ajuste por el peso volumétrico de los agregados de la muestra de concreto
0.14 $W_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$	(ACI-318, 2019). Concreto a 28 días de edad, afectando la raíz cuadrada del f'_c por el peso volumétrico del concreto, w_c
15000 $\sqrt{f'_c}$	(ACI-318, 2019). Para concretos de peso normal
14000 $\sqrt{f'_c}$	(NTC-2017). Para concretos con agregado grueso calizo. ($f'_c > 250$ kg/cm ²)
11000 $\sqrt{f'_c}$	(NTC-2017). Para concretos con agregado grueso basáltico. ($f'_c > 250$ kg/cm ²)
8000 $\sqrt{f'_c}$	(NTC-2017). Para concretos clase 2 ($f'_c < 250$ kg/cm ²)
15500 $\sqrt{f'_c}$	Soto (2004). Concreto de resistencia $f'_c=250$ kg/cm ² , Chilpancingo de los Bravo Gro



Figura 1. Extracción de agregados pétreos por medios mecánicos

DESARROLLO

MÉTODOS Y PRUEBAS REALIZADAS

Para determinar el valor del E_c , se realizaron 4 combinaciones con un total de 105 probetas cilíndricas de 15x30 cm (Tabla 2) para un $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. El cemento empleado fue Portland compuesto (CPC) clase resistente 30 R, RS. La Figura 2 muestra un resumen gráfico de la metodología desarrollada.

Ubicados los bancos, se procedió a realizar el muestreo de material almacenado extraído y cribado a la orilla del río, los cuales fueron trasladados al laboratorio de materiales donde se caracterizó para conocer sus propiedades físicas. Se ejecutaron pruebas de granulometría NMX-C-077-ONNCCE-2019 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C., 2019), cálculo de masa volumétrica en agregados NMX-C-073-ONNCCE-2004 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C., 2004) y cemento NMX-C-105-ONNCCE-2010 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C., 2010), humedad natural NMX-C-166-ONNCCE-2018 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C., 2018), absorción NMX-C-164-ONNCCE-2014 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C., 2014) densidad de agregados NMX-C-165-ONNCCE-2014 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación,

Tabla 2. Combinaciones de agregados

Nomenclatura	Combinación de agregados pétreos			Numero de especímenes
	Grava	+	Arena	
A	Santa Catarina	+	Santa Catarina	31
B	Ometepec	+	Ometepec	32
C	Santa Catarina	+	Ometepec	21
D	Ometepec	+	Santa Catarina	21
Total:				105

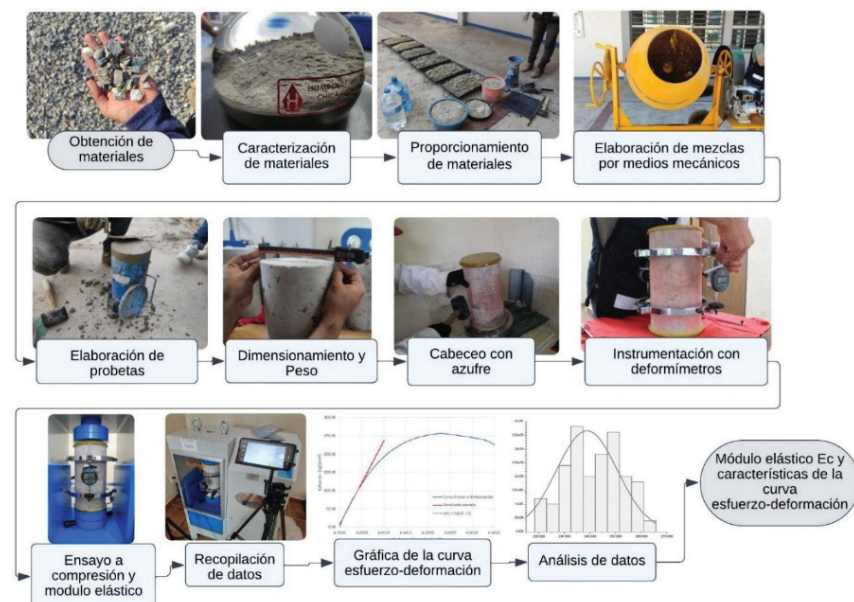


Figura 2. Metodología experimental

S. C., 2014) y densidad del cemento NMX-C-152-ONNCCE-2015 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C., 2015).

Posteriormente, se diseñaron las mezclas de concreto mediante el método de volúmenes absolutos (Kosmatka, 2004), del cual se obtuvieron las cantidades de materiales, mismas que fueron elaboradas con el uso de una revolvedora. Las pruebas en estado fresco fueron: revenimiento NMX-C-156-ONNCCE-2010 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2010), peso volumétrico NMX-C-162-ONNCCE-2014 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2014) y temperatura NMX-C-435-ONNCCE-2010 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2010). El llenado de los moldes y el curado de los especímenes por inmersión total se realizaron con la norma NMX-C-159-ONNCCE-2016 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2016), para mantener la humedad durante el proceso de hidratación del concreto, también se obtuvo la densidad promedio de las mezclas.

Los especímenes fueron cabeceados con azufre NMX-C-109-ONNCCE-2013 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2013), para garantizar una correcta carga axial y transferencia de carga. El ensayo a compresión NMX-C-083-ONNCCE-2014 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2014) fue en una máquina de compresión automatizada a una velocidad constante de 5 toneladas por minuto. La instrumentación se realizó con 2 deformímetros digitales y anillos para evaluar el módulo elástico, las deformaciones se registraron a cada 0.5 toneladas durante las primeras 5 toneladas y posteriormente a cada tonelada (NMX-C-128-ONNCCE-2013) (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2013). De esta manera se procedió a graficar la curva f - ϵ de cada probeta para posteriormente analizar el E_c característico de estos concretos (Figura 3).

CÁLCULOS Y MODELOS MATEMÁTICOS

El módulo elástico se obtuvo de acuerdo con la norma NMX-C-128-ONNCCE-2013, la cual establece como medida de seguridad para el equipo de medición, probar un mínimo de cuatro cilindros; dos especímenes para obtener el f'_c y dos para evaluar el E_c , estos últimos ensayados al 60 % de la resistencia promedio de los primeros especímenes. Sin embargo, en esta investiga-

ción, adicional al E_c se evaluó la curva f - ϵ , por lo cual, los especímenes con edad de 28 días se ensayaron hasta la falla. La expresión para calcular E_c es la siguiente:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.00005} \quad (1)$$

Donde:

E_c = módulo elástico

S_1 = esfuerzo a 0.00005 de deformación

S_2 = esfuerzo correspondiente al 40 % del esfuerzo máximo

e_2 = deformación a 40 % del esfuerzo máximo

En esta normativa ONNCCE al igual que la NTC-DCEC-2023 expresan el valor del módulo con la ecuación 2, de donde se obtiene la ecuación 3. El parámetro K es el coeficiente numérico del módulo de elasticidad.

$$E_c = K \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

$$K = \frac{E}{\sqrt{f'_c}} \quad (3)$$

Por otro lado, el estudio experimental fue comparado con el modelo de comportamiento de Hognestad mostrado en la Figura 3.

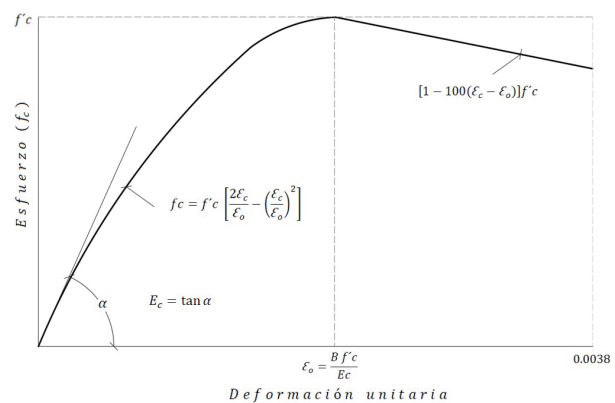


Figura 3. Modelo de Hognestad (Villagrán, 2013)

El modelo de Hognestad expresa la deformación asociada al esfuerzo máximo con la ecuación 4, la trayectoria que describe la curva f - ϵ se expresa con la ecuación 5 y el comportamiento lineal posterior al esfuerzo máximo con la ecuación 6:

$$\epsilon_o = \frac{Bf'_c}{E_c} \quad (4)$$

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$f_c = [1 - 100 (\varepsilon_c - \varepsilon_o)] f'_c \quad (6)$$

Donde:

B = 2

f'_c = esfuerzo máximo alcanzado

ε_c = deformación unitaria desde un esfuerzo nulo hasta alcanzar el f'_c

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las características físicas de los componentes del concreto se muestran en la Tabla 3. La Tabla 4 contiene las cantidades de materiales empleados para cada combinación definida en la Tabla 2. De la misma forma la Tabla 5 presenta el peso volumétrico en estado fresco y seco del concreto.

El análisis de datos permitió visualizar el comportamiento por combinación de materiales y en su conjunto, la Figura 4 muestra las curvas f - ε , en las cuales se observa un rango de comportamiento lineal entre 40 y 45 % de resistencia a compresión.

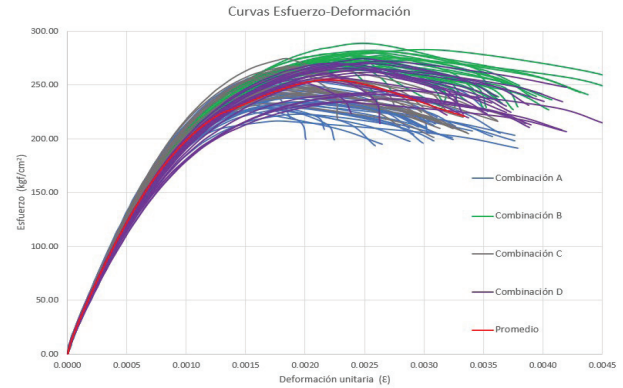


Figura 4. Conjunto de curvas esfuerzo- deformación

Empleando los datos de las curvas f - ε , con las ecuaciones 1 y 3 se obtuvo E_c del concreto simple y el factor

Tabla 3. Características físicas de los agregados

Material	Río Santa Catarina		Río Ometepec		Cemento
	Grava	Arena	Grava	Arena	
P.V.S.S (kg/m ³)	1651	1544	1400	1619	1515
P.V.V.S (kg/m ³)	1715	1661	1518	1715	--
Densidad (Ton/m ³)	2.61	2.55	2.64	2.56	3.02
Absorción (%)	1.03	2.00	1.01	1.38	--
Módulo de finura	--	2.80	--	3.37	--
T.M.A.	1"	--	1"	--	--

Tabla 4. Dosificación de materiales

Material	Peso de materiales por combinación (kg/m ³)			
	A	B	C	D
Cemento	334.39	364.25	334.39	364.25
Grava	1148.78	930.27	1051.04	1016.77
Arena	679.38	840.34	777.83	753.32
Agua	189.35	200.81	185.66	205.03

Tabla 5. Pesos volumétricos

Combinaciones	Peso volumétrico (ton/m ³)	
	Estado fresco	Estado endurecido
A.- Grava Santa C.+ Arena Santa C.	2.35	2.34
B.- Grava R. Ometepec + Arena R. Ometepec	2.36	2.34
C.- Grava Santa C.+ Arena R. Ometepec	2.38	2.36
D.- Grava R. Ometepec + Arena Santa C.	2.37	2.34

numérico K de cada espécimen, los valores medios y desviación estándar muestral de cada combinación se presentan en la Tabla 6. Como se observa, el promedio de K es superior a 14,000 y la deformación unitaria promedio del concreto es inferior a 0.003, ambos parámetros definidos por la NTC-DCEC-2023. Los resultados de la variable K y su valor medio (15,152) fueron comparados con la NTC-DCEC-2023 y ACI-318-19, se encontró que la primera subestima dicho parámetro, situación inversa con la segunda (Figura 5).

El valor K se relaciona con E_c la raíz cuadrada del f'_c , por esta razón, se analizó la frecuencia de ocurrencia de dichas variables mediante histogramas, observando un comportamiento normal asimétrico negativo para el f'_c y asimétrico positivo en E_c . Como se observa, las propiedades físicas y la morfología de los agregados tienen un alto impacto en la función de distribución, considerando la mezcla de agregados de dos bancos distintos (Figura 6).

Las Figuras 7 y 8 presentan el análisis de los resultados del E_c y del f'_c . Debido a la reducida dispersión de la

Tabla 6. Valores promedio y desviación estándar

	Combinación	Resistencia f'_c (kg/cm ²)	Deformación unitaria ϵ_c	Módulo E_c (kg/cm ²)	Factor K
A	Promedio	237.80	0.0019	251,243.27	16,301.78
	Desviación estándar	10.88	0.0002	7,517.40	530.98
B	Promedio	272.46	0.0025	235,270.02	14,259.31
	Desviación estándar	8.69	0.0003	4,971.34	408.63
C	Promedio	252.93	0.0020	249,301.08	15,682.36
	Desviación estándar	11.14	0.0001	4,965.03	287.79
D	Promedio	257.36	0.0025	229,091.48	14,287.60
	Desviación estándar	11.94	0.0002	6,226.75	377.05
Todas	Promedio	255.14	0.0022	241,226.46	15,132.76
	Desviación estándar	14.26	0.0003	10,774.55	1,024.02

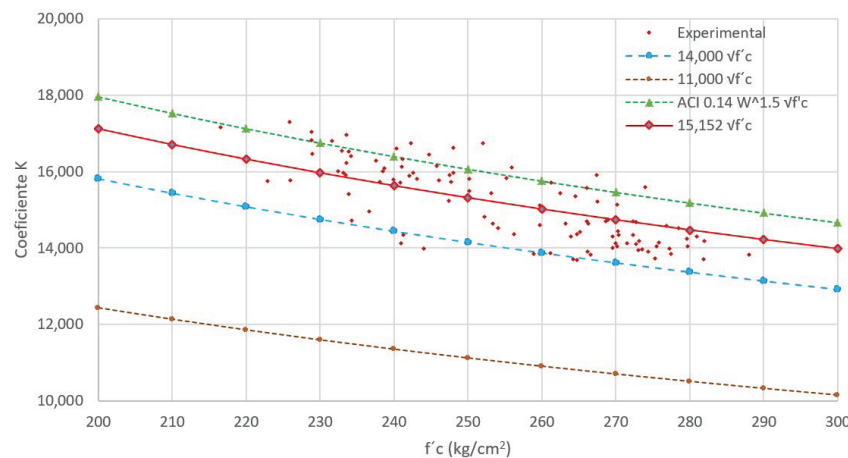


Figura 5. Comparativa de valores de rigidez K experimental-NTC-DCEC-2023 y ACI-318

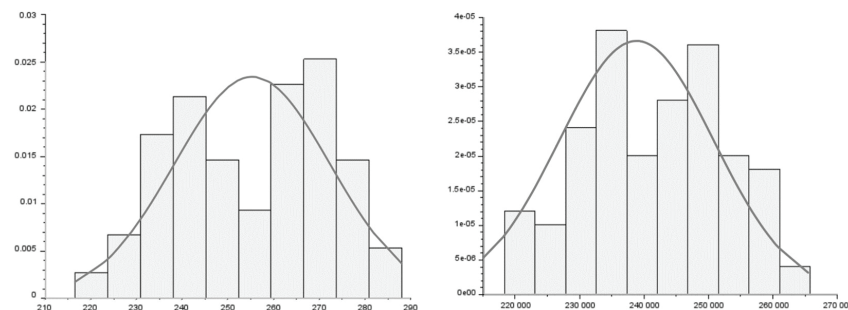


Figura 6. Histogramas de frecuencia de resistencia a compresión (f'_c) y modulo elástico (E_c), respectivamente

curva $f-\varepsilon$ en el rango lineal se observa que no existen valores anormales del E_c . Sin embargo, la variabilidad de la resistencia, muestra valores anómalos en los grupos A y B.

El análisis de varianza (ANOVA) muestra una diferencia entre todas las combinaciones, debido a que $F_{\text{Real}} > F_{\text{Crítico}}$ ($78.97 > 2.70$), (Tablas 7-8 y Figura 9). Con la idea de verificar los resultados se empleó el método de

Tukey, el cual muestra diferencia no significativa entre las combinaciones A y C elaboradas con cantos rodados, entre las restantes se observan diferencias (Tabla 9).

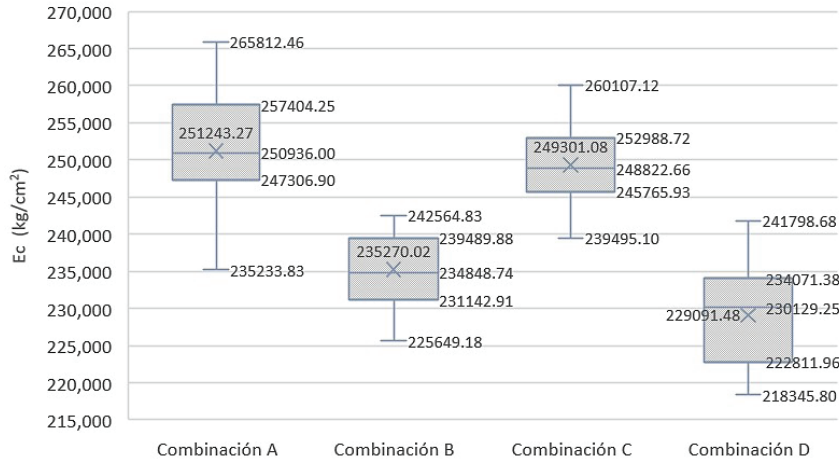


Figura 7. Diagrama de caja y bigote de resistencia a módulo elástico (f'_c)

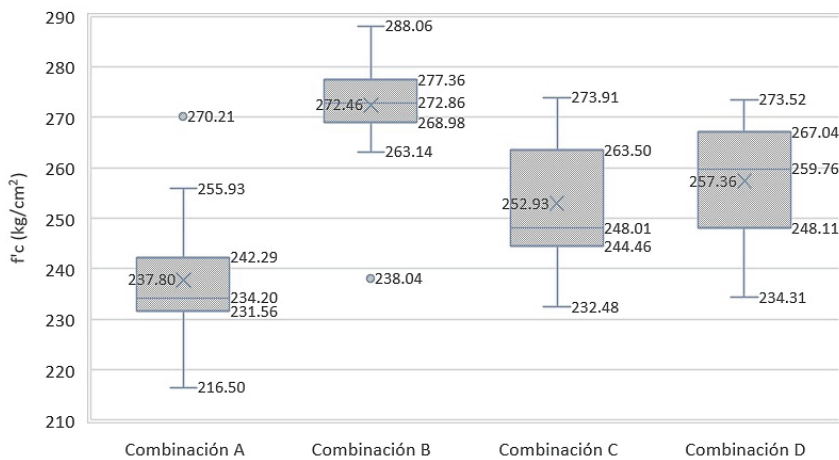


Figura 8. Diagrama de caja y bigote de resistencia a compresión (E_c)

Tabla 7. Tabla de análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8695937344	3	2898645781	78.9689	2.218E-26	2.6946
Dentro de los grupos	3707321209	101	36706150.6			
Total	1.2403E+10	104				

Tabla 8. Sumatoria, promedio y varianza del módulo elástico por combinaciones

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	31	7788541.42	251243.272	56511326.6
B	32	7528640.5	235270.016	23983949.4
C	21	5235322.73	249301.082	24651502.1
D	21	4810921.07	229091.48	38772446.9

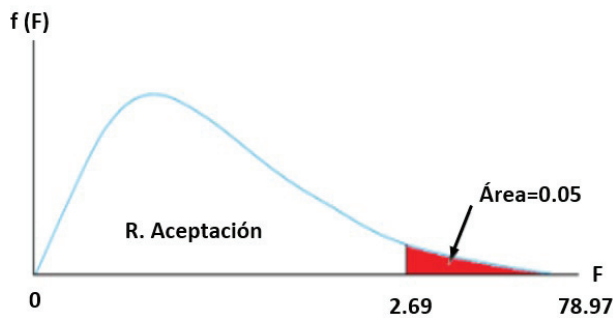


Figura 9. Valor F crítico

Las curvas $f-\varepsilon$ promedio de las combinaciones mostraron que el concreto elaborado con cantos rodados (combinación A y C) presentaron un mayor E_c y una menor ε_o comparado con las combinaciones donde se empleó agregado triturado. El fenómeno está ligado a las características del agregado, a la interacción mecánica y química con la matriz cementante (Figura 10).

En otro orden, la constante B de la ecuación 4 se calculó para la deformación asociada al $f'c$. En orden alfabético y para cada combinación los valores son: 1.97, 2.19, 1.94 y 2.24, respectivamente, mientras que para todo el conjunto es 2.22. Así mismo, en el modelo de Hognestad se observó que los especímenes elaborados con cantos rodados son representados adecuadamente

Tabla 9. Resumen de diferencias significativas (método de Tukey)

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Diferencia
$\mu A - \mu B$	15,973.26	Significativa
$\mu A - \mu C$	1,942.19	No Significativa
$\mu A - \mu D$	22,151.79	Significativa
$\mu B - \mu C$	14,031.07	Significativa
$\mu B - \mu D$	6,178.54	Significativa
$\mu C - \mu D$	20,209.60	Significativa

por la constante B del modelo original, en contraste para agregado triturado B es 2.20.

En la curva $f-\varepsilon$ experimental, el modelo subestima los esfuerzos asociados a la deformación unitaria longitudinal, a pesar de converger en el máximo valor del $f'c$ (Figura 11).

CONCLUSIONES

En la presente investigación se evaluaron los módulos elásticos y la curva esfuerzo deformación en 105 especímenes cilíndricos de concreto con una resistencia a compresión de diseño $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, elaborados con agregados de río utilizados en Ometepec Gro.

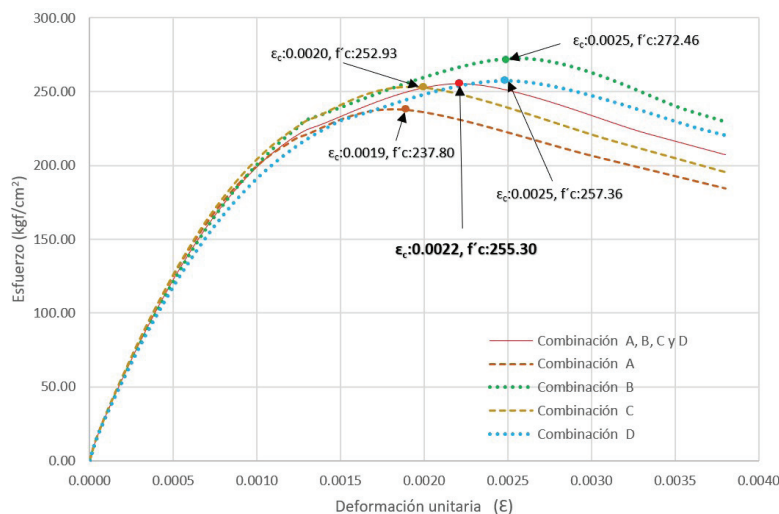


Figura 10. Curvas esfuerzo-deformación promedio

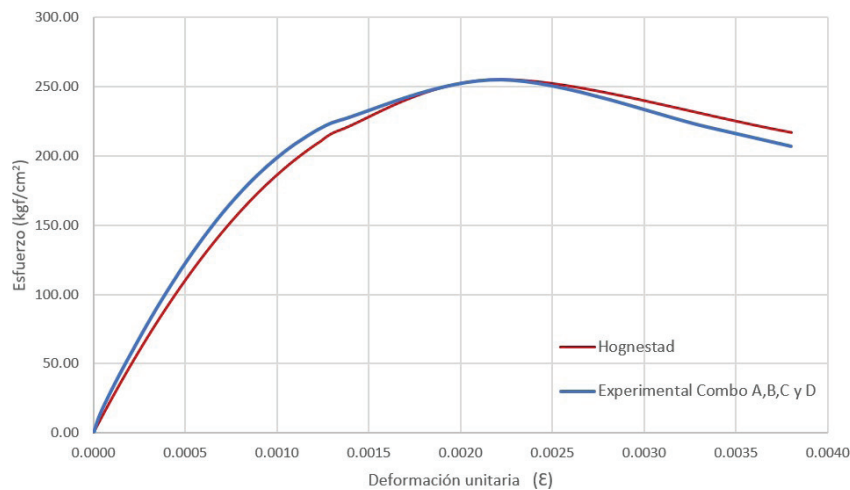


Figura 11. Curvas esfuerzo-deformación promedio vs modelo de Hognestad

Un total de cuatro combinaciones fueron elaboradas, A y C con cantos rodados, B y D con agregado triturados. El valor medio del módulo elástico fue 241,556.44 kg/cm², mayor en 8 % al valor normativo para agregado de origen basáltico (223,693.54 kg/cm²) con una resistencia media a compresión de 255.30 kg/cm².

Considerando la falta de control de la calidad del proceso de elaboración del concreto en la zona de estudio, se recomienda utilizar el menor valor del módulo elástico, 229,091.48 kg/cm² con el fin de garantizar la seguridad estructural de las edificaciones en el análisis y diseño. También se concluye que el modelo de Hognestad representa adecuadamente la curva f-ε para concretos con cantos rodados con el parámetro B igual a 2.00, y 2.20 en agregados triturados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico brindado para la realización del presente trabajo de investigación, al igual que a todos los que contribuyeron en la elaboración y ensayo de los especímenes de concreto.

REFERENCIAS

- Beer, F. P. (2013). *Mecánica de materiales*. 6a ed. McGraw-Hill.
- Comité ACI 318. (2019). Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318-19) y comentario. American Concrete Institute.
- Comité ACI 363. (1992). State-of-the-art report on high-strength concrete. Farmington Hills, MI, E.U, ACI.
- Consejería Jurídica y de Servicios Legales CDMX. (2017). Norma Técnica Complementaria 2017. Norma Técnica Complementaria Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Ciudad de México, DOF.
- INEGI. (2020). Vivienda en Guerrero. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gro/poblacion/vivienda.aspx?tema=me&e=12>
- Kosmatka, S. H. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.
- Mendoza-Escobedo, C. J. (1985). *Propiedades mecánicas de los concretos fabricados en el Distrito Federal*. Ciudad de México: Instituto de ingeniería de la UNAM.
- Nilson, A. H. (2004). *Diseño de estructuras de concreto armado*. 13a ed. McGraw-Hill.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2010). Industria de la construcción-Concreto hidráulico ligero para uso estructural-Determinación de la masa volumétrica (NMX-C-105-ONNCCE-2010). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2004). Industria de la construcción-Agregados-Masa volumétrica-Método de prueba (NMX-C-073-ONNCCE-2004). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2010). Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Determinación de la temperatura del concreto fresco (NMX-C-435-ONNCCE-2010). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2010). Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Determinación del revenimiento en el concreto fresco (NMX-C-156-ONNCCE-2010). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2013). Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Cabeceo de especímenes (NMX-C-109-ONNCCE-2013). ONNCCE.

- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2013). Industria de la construcción-Concreto sometido a compresión-Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson-Método de ensayo (NMX-C-128-ONNCCE-2013). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2014). Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico (NMX-C-162-ONNCCE-2014). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2014). Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino-Método de ensayo (NMX-C-165-ONNCCE-2014). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2014). Industria de la construcción-Agregados-Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso (NMX-C-164-ONNCCE-2014). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2014). Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes-Método de ensayo (NMX-C-083-ONNCCE-2014). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2015). Industria de la construcción-Cemento hidráulico-Determinación de la densidad (NMX-C-152-ONNCCE-2015). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2016). Industria de la construcción-Concreto-Elaboración y curado de especímenes de ensayo (NMX-C-159-ONNCCE-2016). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2018). Industria de la construcción-Agregados-Contenido de agua por secado-Método de ensayo (NMX-C-166-ONNCCE-2018). ONNCCE.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (2019). Industria de la construcción-Agregados para concreto-Análisis granulométrico-Método de ensayo (NMX-C-077-ONNCCE-2019). ONNCCE.
- Paz, M. (1992). *Dinámica estructural: teoría y cálculo*. 3a ed. Reverté.
- Rodelo, R. R. (2020). Parámetros relevantes de la curva esfuerzo-deformación en compresión de 268 concretos no confinados producidos en México. *Ingeniería Sísmica*, 103, 18-36. <https://doi.org/10.18867/ris.103.534>
- Secretaría de obras y servicios. (2023). Norma técnica complementaria para diseño y construcción de estructuras de concreto (NTC-DCEC-2023). CDMX. Recuperado de <https://www.isc.cdmx.gob.mx/directores-res/cursos-de-actualizacion-3012022/normas-tecnicas-complementarias-2023>
- Servicio Sismológico Nacional. (2012). *Sismo del 20 marzo de 2012 en Ometepec, Guerrero*. SSNMX. Recuperado de http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportesespeciales/2012/SSNMX_rep_esp_20120320_oaxaca-guerrero_M74.pdf
- Soto, G. A. (2004). *Determinación del módulo de elasticidad del concreto simple, con resistencia $f'c = 250$ kg/cm², para el municipio de Chilpancingo de los bravo, Guerrero*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo de los bravo, Guerrero. Repositorio RIUAGRO.
- Villagrán, A., Edgar, I., Vera, M. C., & Posada, A. E. (2013). Modelo esfuerzo-deformación para elementos de concretos reforzado que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF 2004. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 5(1), 32-39. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112013000200003&lng=es&tlng=es

How to cite:

Galeana-Gómez, G., Altamirano de la Cruz, G., Sánchez-Tizapa, S., López-Valle, I., & Arroyo-Matus, R. (2025). Caracterización mecánica del concreto con resistencia a compresión $F'c = 250$ kg/cm² empleado en Ometepec, Guerrero. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 26(03), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2025.26.3.018>