



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE FIBRAS DE YUTE COMO PARTE DE LOS AGREGADOS
DEL HORMIGÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Arcesio Laureano Guamán Ramírez
Diego Francisco Orozco González
TUTOR: Fernando Vinicio Ulloa López

Quito – Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Arcesio Laureano Guamán Ramírez con documento de identidad N° 1719265751 y Diego Francisco Orozco González con documento de identidad N° 1716514128, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir o reproducir de manera total parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de diciembre del 2022

Atentamente,



Arcesio Laureano Guamán Ramírez

1719265751



Diego Francisco Orozco González

1716514128

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Arcesio Laureano Guamán Ramírez con documento de identidad N° 1719265751 y Diego Francisco Orozco González con documento de identidad N° 1716514128, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Influencia de Fibras de Yute como parte de los Agregados del Hormigón para la determinación del Módulo Elástico”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de diciembre del 2022

Atentamente,



Arcesio Laureano Guamán Ramírez

1719265751



Diego Francisco Orozco González

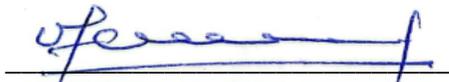
1716514128

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fernando Vinicio Ulloa López con documento de identidad N° 1706347539, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: INFLUENCIA DE FIBRAS DE YUTE COMO PARTE DE LOS AGREGADOS DEL HORMIGÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO, realizado por Arcesio Laureano Guamán Ramírez con documento de identidad N° 1719265751 y Diego Francisco Orozco González con documento de identidad N° 1716514128, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de diciembre del 2022

Atentamente,



Ing. Fernando Vinicio Ulloa López

1706347539

INFLUENCIA DE FIBRAS DE YUTE COMO PARTE DE LOS AGREGADOS DEL HORMIGÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO

INFLUENCE OF JUTE FIBERS AS PART OF CONCRETE AGGREGATES FOR THE DETERMINATION OF ELASTIC MODULUS

Arcesio Guamán-Ramírez¹, Diego Orozco-González², Fernando Ulloa López³

Resumen

A través de este trabajo se determinan propiedades físico-mecánicas de agregados provenientes de canteras ubicadas en la provincia de Pichincha, parroquias Pifo y San Antonio.

Se plantean dosificaciones para alcanzar resistencias a la compresión del concreto de 21 MPa y 28 MPa, al añadir fibra de yute en 3 porcentajes (0.0%, 0.2% y 0.4%) respecto al peso de la mezcla. La fibra de yute en estado natural proviene de la provincia de Cotopaxi.

Esta investigación obtiene el módulo de elasticidad del concreto basado en resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de edad del concreto, al utilizar expresiones propuestas en ACI 318, la NEC y un estudio hecho en el país. Se realizó ensayos para la determinación del módulo de elasticidad basados en la metodología de la norma ASTM 469, donde se utilizó galgas extensiométricas para medir las deformaciones de las probetas, para poder así comparar los resultados y conocer que la ecuación propuesta en la NEC presenta valores menores a lo experimental en un rango entre el 4 y 25%.

Palabras Clave: Fibra de yute, Resistencia a la Compresión, Módulo de Elasticidad.

Abstract

Through this work, physical-mechanical properties of aggregates from quarries located in the Pichincha province, Pifo and San Antonio parishes are determined.

Dosages are proposed to achieve concrete compressive strength of 21 MPa and 28 MPa, adding jute fiber in 3 percentages (0.0%, 0.2% and 0.4%) with respect to the weight of the mixture. Jute fiber in its natural state from the province of Cotopaxi.

This research obtains the modulus of elasticity of concrete based on results of compressive strength at 28 days of concrete age, using expressions proposed in ACI 318, the NEC and a study done in the country. Tests were carried out to determine the modulus of elasticity based on the methodology of ASTM 469, where strain gauges were used to measure the deformations of the specimens, in order to compare the results and to know that the equation proposed in the NEC presents values lower than the experimental values in a range between 4 and 25%.

Keywords: Jute fiber, Compressive Strength, Modulus of Elasticity.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador.

³ Docente de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador.

1. Introducción

El propósito de incorporar fibras naturales a los agregados en el concreto es reducir el costo de producción, puesto que se estima que los agregados pétreos representan entre el 70% y 80% del volumen de hormigón total [1].

El utilizar fibras naturales entre los agregados del concreto es una actividad que busca modificar para bien el comportamiento y desempeño del hormigón, al apoyar la sustentabilidad de recursos.

El estudio realizado por César Juárez [2] produce un material compuesto a base de cemento portland, arena y fibras naturales de lechuguilla, para relaciones agua/cemento de 0.65 y 0.35, con porcentajes de fibra respecto al volumen total de la mezcla de 0.5, 1, 1.5 y 2% con longitudes de 20 a 30 mm, las cuales recibieron tratamiento protector de parafina. Al establecer que dicha fibra permite un comportamiento dúctil del concreto después del agrietamiento de la matriz. Las fibras largas cubiertas con parafina y con 0.5% en volumen del concreto, mejoran su capacidad para soportar cargas de tracción y flexión en comparación con el concreto simple.

Por otro lado, el estudio realizado por González, Quintero [3] produce morteros reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 0.5 y 1.5% y longitudes de 2 y 5 cm. Concluyen que los refuerzos de fibra mejoran la tenacidad de la matriz del compuesto.

Mientras que la investigación realizada por Augusto Ramón [4], compara el desempeño mecánico de un hormigón ordinario versus un concreto diseñado con diferentes porcentajes de fibra de yute (0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.4%) y cortada a una longitud de 3 centímetros. Ensayándolos a compresión y flexión; se llegó a determinar un incremento de las resistencias generadas a compresión y flexión cuando la fibra de yute se incluye en un porcentaje de 0.2% en el concreto.

Otros autores como Castillo, Farinango [5] estudiaron la durabilidad del hormigón con fibras de yute con longitud de 2,5 cm. Elaboraron probetas donde se incluye fibra vegetal de yute con resistencias de 21 MPa, las cuales fueron sometidas a ciclos de inmersión en sulfato de sodio y secadas al horno, para luego realizarles ensayos mecánicos. Se obtuvo como resultado que, el módulo de elasticidad se incrementó un 2.24% entre el hormigón sin yute expuesto a sulfatos y el concreto con yute.

El código del Instituto Americano del Concreto, ACI 318-19 [6], propone las siguientes ecuaciones para obtener el módulo de elasticidad del hormigón (E_C)[MPa] a partir del esfuerzo de compresión simple (f'_c)[MPa] y el peso específico del agregado (W_C)[kg/m³].

Para concreto de peso normal:

$$E_C = 4700 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Eq (1)}$$

Para valores de W_C entre 1440 y 2560 kg/m³:

$$E_C = W_C^{1,5} * 0,043 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Eq (2)}$$

La NEC-SE-HM [7] plantea estimar el módulo de elasticidad del hormigón (E_C)[GPa] a partir de la resistencia a la compresión simple del concreto (f'_c)[MPa] y módulo de elasticidad de los agregados (E_a)[GPa], basándonos en la siguiente ecuación:

$$E_C = 1,15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'_c} \quad \text{Eq (3)}$$

La ecuación Eq (3) se complementa con la tabla de valores típicos del módulo de elasticidad de agregados que se encuentran en nuestro país. Siendo nuestro sector de estudio la provincia de Pichincha (Pifo) con un valor de 27,2 GPa.

El estudio realizado por Paucar, Sacasari [8] donde se determina el módulo estático de elasticidad del hormigón a partir de pruebas a compresión simple ($f'c$)[MPa] en probetas cilíndricas con diferentes agregados de canteras del cantón Quito, estima que el módulo estático de elasticidad del hormigón (E_c)[MPa], cuando se utiliza material del sector de San Antonio de Pichincha y cemento tipo GU, se puede calcular con la expresión:

$$E_c = 3074,63 * \sqrt{f'c} \quad \text{Eq (4)}$$

Por otro lado, Yanca A. [9] estudió las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos de la mina San Ramón, ciudad Latacunga, y cemento Chimborazo. Estableciendo una mezcla que cumpla con la resistencia de 28 MPa y obtuvo su módulo estático de elasticidad en base a la compresión simple; y determinó que los resultados calculados al aplicar las ecuaciones planteadas por el ACI son mayores en un 26% respecto a los obtenidos experimentalmente, ASTM C 469.

El estudio realizado por José Serpa y Diana Vásquez [10] determina el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión para las diferentes dosificaciones al emplear la norma ASTM C-469 y ASTM C-39, para proponer coeficientes de modificación de la ecuación de elasticidad del hormigón propuestos por la NEC-SE-DS que se ajusten a datos experimentales. Para eso elaboraron especímenes de concreto de diferentes propiedades, modificando factores que pueden influir en lo estudiado. Concluyen que de acuerdo a los resultados del módulo de elasticidad con el ensayo ASTM C-469 no es necesario establecer coeficientes de modificación en la ecuación propuesta por la NEC para hormigones de peso normal, con agregados que cumplan con especificaciones presentadas en la INEN 872; respecto a la resistencia del hormigón a la compresión simple, el análisis estadístico realizado, indica que el único factor que influye significativamente es la relación agua-cemento.

2. Materiales y Métodos

2.1. Agregados para elaboración del concreto

▪ Áridos finos y gruesos

Obtenidos de canteras ubicadas en las parroquias de Pifo y San Antonio, de la provincia de Pichincha, Quito-Ecuador.

Su caracterización fue dada mediante los ensayos de laboratorio propuestos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en la Norma Técnica Ecuatoriana. Determinando así: granulometría NTE INEN 696 [11], peso específico y absorción en agregado fino NTE INEN 856 [12] y grueso NTE INEN 857 [13], peso unitario NTE INEN 858 [14], desgaste por abrasión NTE INEN 860 [15], humedad natural NTE INEN [16] colorimetría NTE INEN 855 [17] y equivalente de arena ASTM D2419 [18].

La tabla 1 muestra los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a los agregados de las canteras.

Tabla 1. Características de los áridos obtenidas por ensayos de laboratorio a los agregados finos y gruesos.

CARACTERÍSTICA	CARACTERÍSTICAS DE AGREGADOS			
	SAN ANTONIO		PIFO	
	Fino	Grueso	Fino	Grueso
Peso específico (g/cm ³)	2.72	2.67	2.74	2.51
Peso unitario suelto (g/cm ³)	1.57	1.44	1.57	1.26
Peso unitario varillado (g/cm ³)	1.80	1.51	1.78	1.37
Tamaño máximo nominal (mm)	-	19.05	-	19.05
Módulo de finura	3.00	-	2.90	-
Desgaste por abrasión (%)	-	52.52	-	24.76
Humedad natural (%)	5.02	3.10	2.73	3.44
Absorción (%)	0.56	3.95	0.38	3.26
Colorimetría	Color 3	-	Color 1	-
Equivalente de arena (%)	79.27	-	72.95	-

▪ Agua

Agua potable, obtenida directamente del sistema de distribución del Distrito Metropolitano de Quito.

Guamán, Orozco, Ulloa / Influencia de fibras de yute como parte de los agregados en hormigón para la determinación del módulo elástico

▪ **Cemento**

Se utilizó cemento de uso general, tipo GU, marca Chimborazo, que de acuerdo con su ficha técnica cumple la norma técnica INEN 490, su peso específico varía entre 2,9 y 3,15 g/cm³ [8]. Para nuestro trabajo se selecciona el mayor.

▪ **Fibra**

Adquirida en estado de fibra natural en la provincia de Cotopaxi, Cantón Saquisilí; la cual fue tratada tomando como referencia el trabajo previo de Augusto Ramón [4], lo cual fue lavada, cepillada, secada al ambiente y cortada a una longitud de 3,00 centímetros, para ser añadida a la mezcla.

En la figura 1 se observa la fibra de yute lista para ser añadida a la mezcla.



Figura 1. Fibra de yute lista para incorporar a la mezcla.

2.2. Diseño y elaboración de mezclas de hormigón.

Para el diseño de la mezcla se utilizó el método ACI 211 [19], tanto para 21 MPa como para 28 MPa.

Previo a la elaboración del diseño y mezclas definitivas se realizaron especímenes de prueba, los cuales fueron ensayados a los 7 días de su creación, alcanzando una resistencia del 60% del valor de diseño, lo cual permitió confiabilidad en el diseño realizado, y así obtener la dosificación definitiva para el moldeo de probetas a ensayarse.

El moldeo de las probetas cilíndricas fue realizado bajo la norma técnica ecuatoriana INEN 3124 [20].

Para cumplir con los objetivos propuestos de la investigación fueron moldeados 3 cilindros para cada edad del hormigón (7, 14 y 28 días), cumpliendo en cada una de estas edades con 3 porcentajes diferentes de fibra de yute entre sus agregados (0.0%, 0.2% y 0.4%).

Las dimensiones de las probetas cilíndricas para el moldeo de las mezclas fueron dos: 300mm de altura por 150mm de diámetro y 200mm de altura por 100mm de diámetro.

La nomenclatura utilizada para la identificación de las probetas cilíndricas fue la siguiente:

M: Áridos del sector de San Antonio.

P: Áridos del sector de Pifo.

0: No contiene fibra de yute.

Y2: Porcentaje de fibra de yute es 0.2%.

Y4: Porcentaje de fibra de yute es 0.4%.

210: Resistencia de diseño es 21 MPa.

280: Resistencia de diseño es 28 MPa.

En la tabla 2 se observa la resistencia de diseño, el sector de la cantera de los agregados, la nomenclatura utilizada para identificar los cilindros y el porcentaje de fibra de yute añadido en base al peso total de cada mezcla.

Tabla 2. Identificación del sector de procedencia de los agregados, resistencia de diseño y porcentaje de fibra de yute añadido en base al peso total de cada mezcla.

Sector de cantera	Nomenclatura	Fibra de yute añadida a la mezcla (%)
RESISTENCIA 21 MPa		
San Antonio de Pichincha	M-0-210	0.0
	M-Y2-210	0.2
	M-Y4-210	0.4
Pifo	P-0-210	0.0
	P-Y2-210	0.2
	P-Y4-210	0.4
RESISTENCIA 28 MPa		
San Antonio de Pichincha	M-0-280	0.0
	M-Y2-280	0.2
	M-Y4-280	0.4
Pifo	P-0-280	0.0
	P-Y2-280	0.2
	P-Y4-280	0.4

La dosificación de peso por metro cúbico se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Peso de agregados para fabricación de un metro cúbico, asentamiento, resistencia a compresión y coeficiente de variación.

Dosificación para 1 m ³ de hormigón (kg)				
Agregados	21 MPa		28 MPa	
	San Antonio	Pifo	San Antonio	Pifo
Árido grueso	934.09	883.38	934.09	883.38
Árido fino	912.55	890.70	845.59	825.54
Cemento	310.62	332.89	379.38	401.26
Agua	173.95	183.09	176.79	184.58
A/C	0.56	0.55	0.47	0.46
Asentamiento (cm)	6.50	6.00	6.10	6.20
f'c (MPa)	23.44	26.55	31.59	36.73
Coefficiente de variación (%)	(2.9)	(3.8)	(2.1)	(2.6)

El peso de fibra de yute añadido fue calculado en base al peso total de cada mezcla realizada, siendo esta cantidad los porcentajes propuestos de estudio (0.0%, 0.2% y 0.4%).

El peso de la fibra de yute está expresado en la tabla 4.

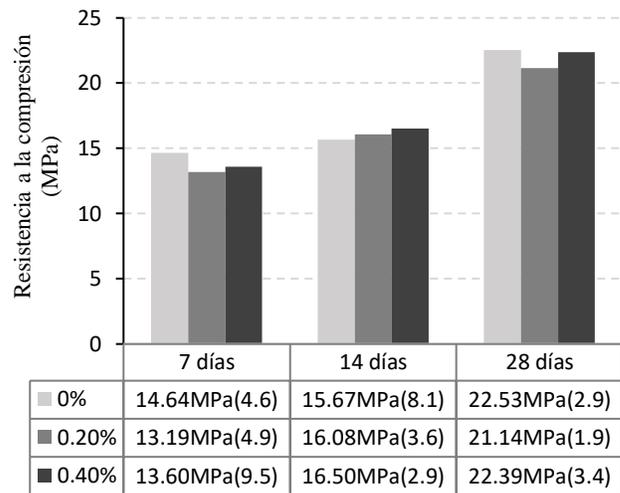
Tabla 4. Peso de fibra de yute para fabricación de un metro cúbico.

Fibra de yute (kg) para 1 metro cúbico de concreto				
Porcentaje de fibra de yute (%)	21 MPa		28 MPa	
	San Antonio	Pifo	San Antonio	Pifo
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	4.66	4.58	4.67	4.60
0.4	9.32	9.16	9.34	9.18

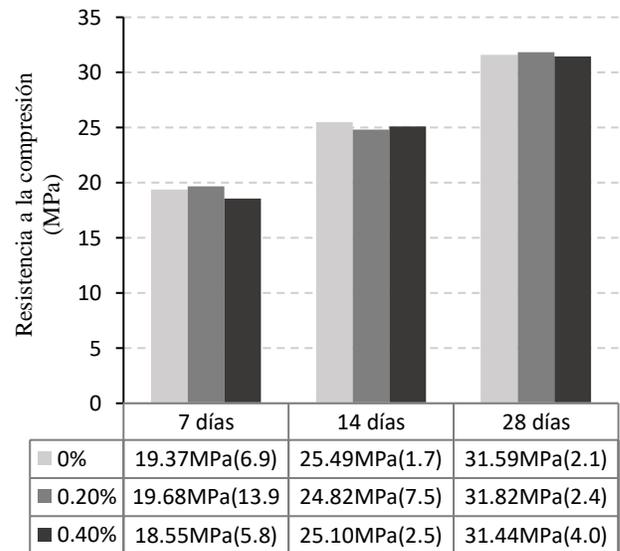
Las probetas cilíndricas permanecieron en reposo por 24 horas, para luego ser desencofradas y llevadas a la piscina de curado, donde permanecieron sumergidas hasta el día de su ensayo.

2.3. Ensayo de compresión simple.

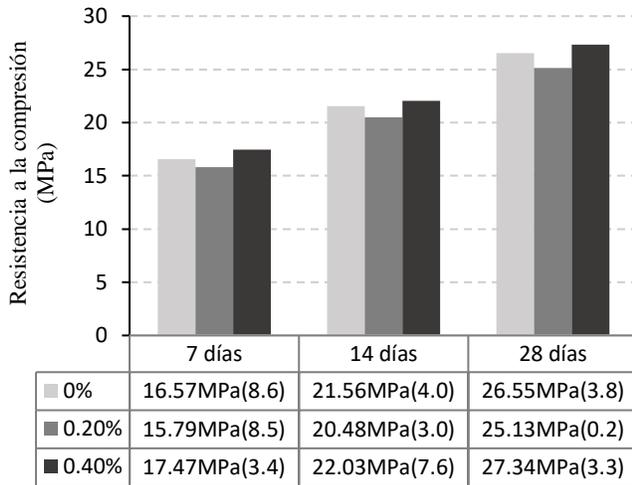
Este ensayo fue realizado a probetas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30cm de altura, bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 573 [21], a las edades de 7, 14 y 28 días, obteniéndose los siguientes resultados de resistencia, los cuales son mostrados en la figura 2, donde se relaciona la edad del concreto con la resistencia, y junto al resultado se encuentra su coeficiente de variación.



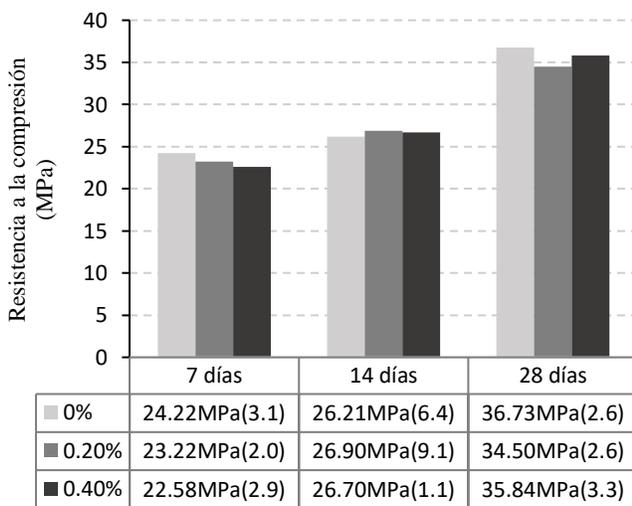
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. Resistencia a la compresión del concreto con diferentes porcentajes de fibra de yute y sus respectivos coeficientes de variación.

(a) y (b) cantera de San Antonio de Pichincha,
(c) y (d) Cantera de Pifo.

2.4. Ensayo de módulo de elasticidad.

El ensayo se basa en la norma ASTM 469 [22], el cual determina una prueba triaxial con celda constante de presión, asignando una carga de confinamiento continua y cargando la probeta hasta la falla.

Para el presente ensayo, la presión de celda fue cero (0), se emplearon dos galgas extensiométricas en cada cilindro, que trabajan a 2 voltios, con una resistividad de 120 ohmios y un factor de ajuste de 2,12, el tamaño de la galga es de 60 milímetros. La velocidad de carga a la que se realizó el ensayo fue de 0,3 MPa/s, la cual se establece en la norma de este ensayo [22].

El ensayo fue a probetas cilíndricas con diámetro de 10 cm y 20 cm de altura y 160 días de edad. Los datos del ensayo fueron recopilados automáticamente por la computadora conectada a las galgas extensiométricas, las cuales fueron adheridas a cada cilindro siguiendo el procedimiento descrito en el trabajo de Pablo Idrovo y Luis Quintanilla [23], con estos datos se obtuvo el valor promedio de deformación medido por las dos galgas en cada cilindro, y se calculó el módulo de elasticidad aplicando la siguiente ecuación establecida en la norma del ensayo.

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{0.4\sigma_{max} - \sigma_1}{\varepsilon_x - 0.00005} \quad Eq (5)$$

Siendo, E_c , el módulo elástico del concreto en GPa, mientras que σ_{max} y σ_1 representan el esfuerzo máximo y el esfuerzo respecto a la 50 millonésima deformación, en MPa, respectivamente, y ε_x representa la deformación unitaria respecto al 40% del esfuerzo máximo.



Figura 3. Cilindro preparado para ensayo. Conectado a equipo para lectura de esfuerzos y deformaciones mediante galgas extensiométricas.

3. Resultados y Discusión

La siguiente figura muestra los resultados de los ensayos realizados para la determinación del módulo de elasticidad del concreto con los agregados de las dos canteras.

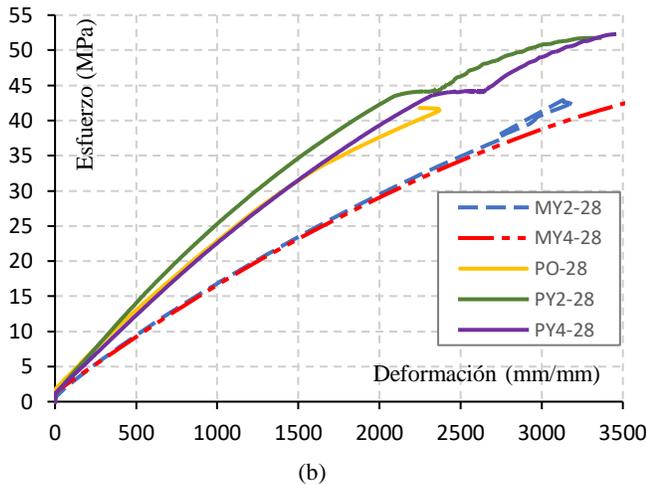
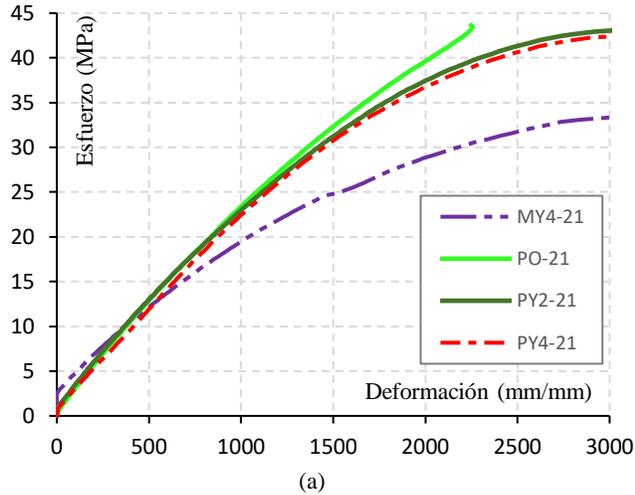


Figura 4. Curvas Esfuerzo vs Deformación con agregados de las dos canteras.
 (a) Resistencia de diseño 21 MPa.
 (b) Resistencia de diseño 28 MPa.

Es a partir de estas curvas donde se determina el módulo de elasticidad del hormigón (E_c) empleando la *Eq* (5), conociendo que es la pendiente de la recta formada desde la 50 millonésima deformación hasta el 40% del esfuerzo máximo alcanzado por la resistencia de la probeta. Metodología descrita en la norma ASTM 469 [22].

La figura 5 muestra gráficamente el procedimiento realizado con todas y cada una de las curvas para calcular el módulo de elasticidad del concreto.

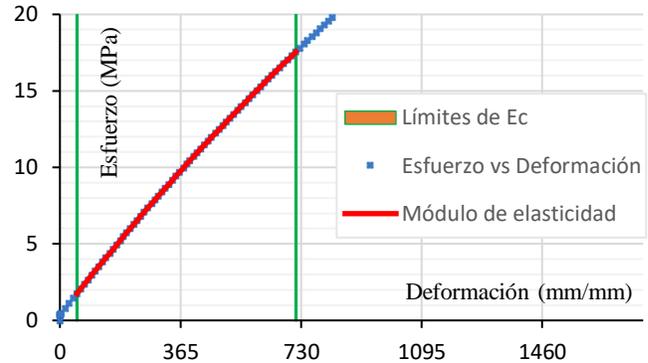


Figura 5. Procedimiento para cálculo del módulo de elasticidad experimental aplicando la *Eq* (5).

La tabla 5 presenta los resultados del módulo de elasticidad calculados de manera teórica con todas las ecuaciones propuestas.

Teniendo en cuenta que los valores de resistencia a compresión simple (f'_c) utilizados para el cálculo teórico son los presentados en la figura 2 a los 28 días de edad.

En el caso de la *Eq* (2), los valores de peso específico de los agregados que se utilizaron para el cálculo, son los presentados en la tabla 1.

El agregado que cumple la condición para aplicabilidad de la ecuación es el material del sector de Pifo.

Los resultados obtenidos al aplicar la *Eq* (3) son calculados con el valor típico del módulo de elasticidad del agregado de Pifo que indica la NEC [7], y es 27.2 GPa.

La *Eq* (4) es propuesta directa y exclusivamente para agregados del sector de San Antonio de Pichincha.

Tabla 5. Resultados teóricos y experimentales del módulo de elasticidad del hormigón empleando las ecuaciones propuestas.

Resistencia a la compresión (MPa)	Porcentaje de fibra de yute (%)	Módulo de Elasticidad (GPa)					Experimental
		ACI 318-19 Eq (1)	ACI 318-19 Eq (2)	NEC-SE-HM Eq (3)	Paucar, Sacasari Eq (4)	ASTM 469 Eq (5)	
		Teórico					
Sector San Antonio	0.00	22.31	-	-	14.59	18.56	
	21	0.20	21.61	-	-	14.14	19.01
		0.40	22.24	-	-	14.55	18.28
		0.00	26.42	-	-	17.28	15.52
	28	0.20	26.51	-	-	17.34	15.85
		0.40	26.35	-	-	17.24	14.99
Sector Pifo		0.00	24.22	27.86	17.82	-	23.75
	21	0.20	23.56	27.11	17.34	-	23.10
		0.40	24.58	28.27	18.08	-	22.18
		0.00	28.48	32.77	20.96	-	21.71
	28	0.20	27.61	31.76	20.31	-	24.87
		0.40	28.14	32.37	20.70	-	21.48

4. Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos de los ensayos de compresión simple (sin fibra de yute), el concreto fabricado con agregados del sector de Pifo presenta una resistencia más alta respecto al hormigón fabricado con los agregados del sector de San Antonio de Pichincha, presentando un valor mayor de 12.54% en el diseño de 21 MPa y 14.50% para el diseño de 28 MPa.

El agregar fibra de yute en los porcentajes propuestos para este estudio (0.0%, 0.2% y 0.4%) modificó la resistencia a la compresión del concreto. Con los agregados del sector de San Antonio de Pichincha en el diseño de 21 MPa y porcentaje de fibra del 0.2% del peso total de la mezcla, disminuyó 6.25%, mientras que con el porcentaje de 0.4% de fibra, disminuyó 0.62%. Mientras que con los agregados del sector de Pifo disminuyó 5.35% y aumentó 2.90%, respectivamente. Para el diseño de 28 MPa con los agregados del sector de San Antonio de Pichincha y porcentaje de fibra de 0.2% del peso total de la mezcla, aumentó 0.73%, en tanto que para el 0.4% de fibra disminuyó 0.47%. Con agregados de Pifo y adición de la fibra en 0.2% y 0.4% disminuyó 6.07% y 2.42%, respectivamente.

Realizados los ensayos y cálculos correspondientes para la determinación del módulo de elasticidad se concluye que, los valores del módulo de elasticidad obtenidos de manera experimental son menores a los calculados con las expresiones propuestas por el ACI 318-19, en un rango entre el 2 y 43%. Siendo más cercanos a lo experimental cuando se utiliza agregados del sector de Pifo. Los obtenidos con la Eq (1) con un rango de 2 a 24%, mientras que la Eq (2) tiene un rango del 15 al 34%; y para los agregados del sector de San Antonio, varía entre el 17 y 43%.

Los valores del módulo de elasticidad calculados con la expresión propuesta por la NEC,

son de menor valor. Al estar entre un rango del 4 al 25% menor que lo experimental.

Con los resultados de la Eq (4), aplicada únicamente al utilizar agregados del sector de San Antonio de Pichincha, se puede concluir que ofrece resultados menores a los experimentales, su variación promedio es del 20%.

Las ecuaciones Eq (3) y Eq (4) son las más apropiadas para aplicarlas en el país, y específicamente en la ciudad de Quito, ya que son propuestas que consideran agregados comunes en nuestro medio y no sobreestiman los valores experimentales.

Para futuras investigaciones que tengan en cuenta añadir fibras naturales, se recomienda evaluar las propiedades del concreto a lo largo del tiempo, ya que un factor a tener en cuenta es la degradación de las fibras naturales.

Referencias

- [1] A. Ortega, "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la Resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles" Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2013.
- [2] C. Juárez, "Concretos Base Cemento Portland Reforzados con Fibras Naturales (Agave Lecheguilla), como Materiales para Construcción en México" Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, 2002.
- [3] S. Quintero y L. González, "Uso de Fibra de Estopa de Coco para Mejorar las Propiedades Mecánicas del Concreto," *Ingeniería y Desarrollo*, Vols. julio-diciembre, nº 20, pp. 134-150, 2006.

- [4] A. Ramón, "Influencia de la fibra de yute en el diseño de hormigones para resistencia a la compresión de 21 a 35 MPa con agregados de la cantera de Pifo" Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2017.
- [5] M. Castilo y C. Farinango, "Durabilidad del hormigón con fibras de yute" Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2019.
- [6] ACI-318-19, "Requisitos de reglamento para concreto estructural, American Concrete Institute", Detroit, 2019.
- [7] NEC-SE-HM, "Estructuras de Hormigón Armado, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda", Quito, 2015.
- [8] M. Paucar y L. Sacasari, "Caracterización del módulo estático de elasticidad del hormigón a partir de pruebas a compresión simple en probetas cilíndricas con diferentes agregados del cantón Quito, provincia de Pichincha" Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2017.
- [9] A. Yanca, "Módulo Estático de Elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f'_c=28\text{MPa}$), fabricado con material de la mina San Ramón, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento chimborazo" Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013.
- [10] J. Serpa y D. Vázquez, "Determinación del módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados" Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2018.
- [11] N. INEN-696, "Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2011.
- [12] N. INEN-856, "Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.
- [13] N. INEN-857, "Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.
- [14] N. INEN-858, "Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.
- [15] N. INEN-860, "Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de las ángeles", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2011.
- [16] N. INEN-862, "Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2011.
- [17] N. INEN 855, "Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.
- [18] ASTM-D2419, "Método de Ensayo Estándar para Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino, American Society for Testing and Materials", Pensilvania, 2009.
- [19] ACI-211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete",

- American Concrete Institute, EEUU, 2002.
- [20] INEN-3124, "Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2017.
- [21] INEN-1-573, "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico", Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2010.
- [22] ASTM-C469, "Standard Test Method for Static Modulus of Concrete in Compression, American Society for Testing and Materials", Pensilvania, 2002.
- [23] P. Idrovo y L. Quintanilla, "Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas" Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2010.