

Comportamiento de anclajes posinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte

Behavior of post-installed anchors in high resistance concrete, subject to shear and tensile stress

HUMBERTO MORALES MONROY¹ - PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA²

1. Magíster en Ingeniería Civil.

2. Profesor del Programa de Ingeniería Civil y la Maestría en Ingeniería Civil.

humberto.morales@mail.escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/11/2018 Aceptado: 22/11/2018

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Se elaboró un programa experimental para determinar el comportamiento de anclajes posinstalados en concreto de alta resistencia. Se ensayaron un total de 78 barras a tensión y 36 a cortante, variando diámetros y profundidades de embebido. Se compararon los resultados obtenidos con las ecuaciones descritas en el reglamento colombiano NSR-10, así como en el reglamento americano ACI 318-14, y se concluyó que los anteriores predicen equivocadamente la modalidad de falla de los anclajes adheridos.

Palabras claves: alta resistencia, anclajes, concreto, cortante, ensayos, posinstalados, tensión.

Abstract

An experimental program to determine the behavior of post-installed anchors in high resistance concrete was developed. Stress was tested on 78 (tensile) and 36 (shear) rods, varying diameters and embedding depths. The results were compared with the equations found in the Colombian regulation NSR-10, as well as the American guideline ACI 318-14, concluding that these regulations wrongly predict the failure mode of attached anchors.

Keywords: high resistance, anchors, concrete, shear, tests, post-installed, tensile.

INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha se han desarrollado numerosas investigaciones acerca del comportamiento de los anclajes posinstalados sometidos a cargas de tensión, corte o la combinación de éstas, así como también ante cargas sostenidas, cíclicas o aplicadas rápidamente. A continuación se presenta un resumen de las más relevantes.

Ruda Arias y Páez Moreno concluyen que a menor diámetro de la barra, el sistema de anclaje posinstalado desarrolla mayor resistencia a tracción; también identificaron que la longitud efectiva de anclaje para dos diámetros de varilla corrugada, en dos concretos de resistencia alta, 5000 y 6000 psi, mediante ensayos a tracción directa, es once veces el diámetro de la varilla; en comparación con esto, al utilizar una longitud de anclaje de seis veces el diámetro de la varilla, la resistencia efectiva a tracción desarrolla entre un 50 % y un 60 % de la carga máxima de fluencia del acero de refuerzo.

Epackachi, Esmaili, Mirghaderi y Behbahani ensayaron barras de 20 mm de diámetro en concreto de 52 MPa, y concluyeron que el espaciamiento o separación de los anclajes tenía un impacto significativo en los ensayos a tensión, ya que a mayor separación se alcanzaba una mayor resistencia, mientras que para los de cortante el efecto era mínimo.

Islam, Afefy, Sennah y Azimi ensayaron barras de GFRP para sustituir las barras de acero convencionales, aprovechándose de la gran resistencia que proporcionan este tipo de barras, utilizando concreto de 68 MPa. Los resultados obtenidos demuestran que la carga de falla promedio se incrementa proporcionalmente con la profundidad de embebido, pero el incremento era significativamente mayor para las barras rectas que para las barras con cabeza. Para estas últimas, no había mucha diferencia entre la resistencia obtenida para distintas profundidades de embebido.

De estas investigaciones, existen muy pocas desarrolladas sobre concretos de alta resistencia, el cual es el enfoque principal de esta investigación. Además, el reglamento colombiano NSR-10, así como el código americano ACI 318-14, limitan el uso de anclajes posinstalados en concretos con resistencias superiores a 55 MPa, a menos que se realicen los ensayos correspondientes. Por lo anterior surge la necesidad de avanzar en esta investigación debido al reciente auge de construir edificaciones cada vez más altas, en las cuales se requiere

el uso de concretos de alta resistencia en los elementos resistentes de los primeros niveles.

FASE EXPERIMENTAL

Para investigar el comportamiento de los anclajes posinstalados se planteó un programa experimental para determinar sus capacidades a tensión y cortante en concreto de alta resistencia, para lo cual se construyeron trece losas de concreto de alta resistencia de 0,60 x 0,90 m, con espesor variable. Nueve de éstas se fundieron sobre terreno para ensayar las barras a tensión y las cuatro restantes se fundieron de manera independiente para ensayar las barras a cortante. El concreto alcanzó una resistencia promedio de 72,9 MPa o 10.570 psi, obtenida a los 28 días.

Se ensayaron dos tipos de barras roscadas. Las primeras, de especificación AISI 1020, presentaron un esfuerzo de fluencia cercano a 290 MPa o 42 ksi y un esfuerzo último cercano a 340 MPa o 50 ksi, y las segundas, de especificación ASTM A-193 B7, presentaron un esfuerzo de fluencia cercano a 720 MPa o 105 ksi, así como un esfuerzo último cercano a 860 MPa o 125 ksi.

Por último, el adhesivo epóxico utilizado en todos los ensayos es el producto Sika AnchorFix-3001, el cual cuenta con un esfuerzo de adherencia en concreto no fisurado de 9,30 MPa o 1350 psi (ICC-ESR-3608).

Montaje para los ensayos

En la figura siguiente se muestra el montaje utilizado para ensayar los anclajes a tensión no confinada (figura 1). El montaje final está compuesto por cuatro vigas metálicas, una platina metálica, una celda de carga, un cilindro de émbolo hueco, tuercas, arandelas y los anclajes por ensayar. Las vigas metálicas se separan a una distancia de cuatro veces la profundidad de embebido del anclaje ($4h_{ep}$).

A continuación se muestra el montaje para los ensayos confinados a tensión (figura 2). Está compuesto por una platina metálica, una celda de carga, un cilindro de émbolo hueco, una platina, tuercas, arandelas y los anclajes que se van a ensayar.

Así mismo, se presenta el montaje para los ensayos de anclajes a cortante; es el más sencillo, pues únicamente está compuesto por la máquina universal de ensayos, un ángulo metálico de alas iguales, una tuerca y los anclajes que se van a ensayar (figura 3).



Figura 1. Montaje final para ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor.



Figura 2. Montaje final para ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor.



Figura 3. Montaje final para ensayos a cortante.

Fuente: Autor.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Ensayos confinados a tensión

Se realizaron seis ensayos para cada diámetro y profundidad de embebido para un total de 54 ensayos, en los cuales el comportamiento de falla fue el esperado; la falla del acero se presentó únicamente en todos los anclajes.

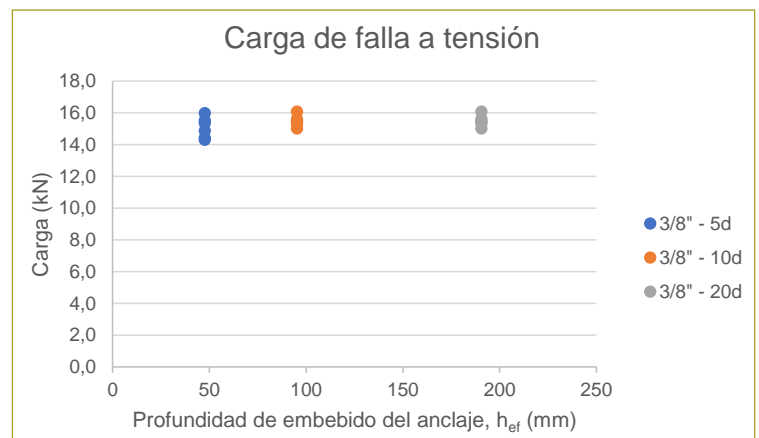


Figura 4. Cargas de falla para barras $\phi 3/8''$ AISI 1020.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1
Carga promedio de falla para barras $\phi 3/8''$ AISI 1020

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Desviación estándar	Coefficiente de variación
$\phi 3/8''$	5 d_b	47,7	15,1	Acero	0,658	4,4%
$\phi 3/8''$	10 d_b	95,3	15,2	Acero	0,541	3,6%
$\phi 3/8''$	20 d_b	190,6	15,5	Acero	0,353	2,3%

Fuente: Autor.

Tabla 2
Carga promedio de falla para barras $\phi 1/2''$ AISI 1020

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Desviación estándar	Coefficiente de variación
$\phi 1/2''$	5 d_b	63,5	27,3	Acero	1,448	5,3%
$\phi 1/2''$	10 d_b	127,0	35,5	Acero	0,708	2,0%
$\phi 1/2''$	20 d_b	254,0	36,0	Acero	1,343	3,7%

Fuente: Autor.

Tabla 3
Carga promedio de falla para barras $\phi 5/8''$ AISI 1020

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Desviación estándar	Coefficiente de variación
$\phi 5/8''$	5 d_b	79,4	40,3	Acero	0,305	0,8%
$\phi 5/8''$	10 d_b	158,8	44,2	Acero	1,501	3,4%
$\phi 5/8''$	20 d_b	317,6	49,8	Acero	1,234	2,5%

Fuente: Autor.

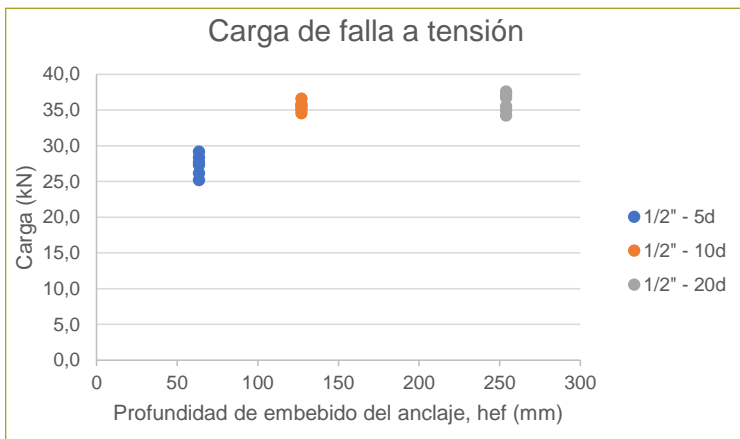


Figura 5. Cargas de falla para barras $\phi 1/2''$ AISI 1020.

Fuente: Elaboración propia.

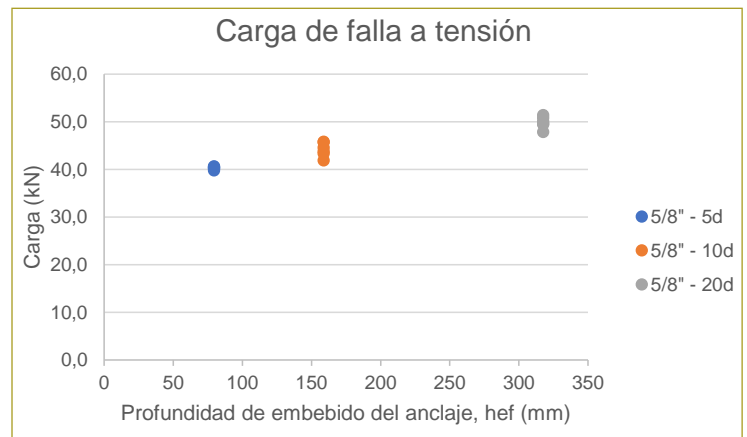


Figura 6. Cargas de falla para barras $\phi 5/8''$ AISI 1020.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Anclaje $\phi 3/8''$ después de ensayo confinado a tensión. Falla del acero.

Fuente: Autor.

Ensayos a cortante

Se realizaron seis ensayos para cada diámetro y profundidad de embebido, para un total de 24 ensayos, en los cuales el comportamiento de falla fue el esperado; la falla del acero se presentó únicamente en todos los anclajes.

Tabla 4
Carga promedio de falla para barras $\phi 3/8''$

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Desviación estándar	Coefficiente de variación
$\phi 3/8''$	5 d_b	47,7	14,1	Acero	0,651	4,6%
$\phi 3/8''$	10 d_b	95,3	15,1	Acero	0,526	3,5%

Fuente: Autor.

Tabla 5
Carga promedio de falla para barras $\phi 1/2''$

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Desviación estándar	Coefficiente de variación
$\phi 1/2''$	5 d_b	63,5	25,8	Acero	1,083	4,2%
$\phi 1/2''$	10 d_b	127,0	26,4	Acero	0,576	2,2%

Fuente: Autor.

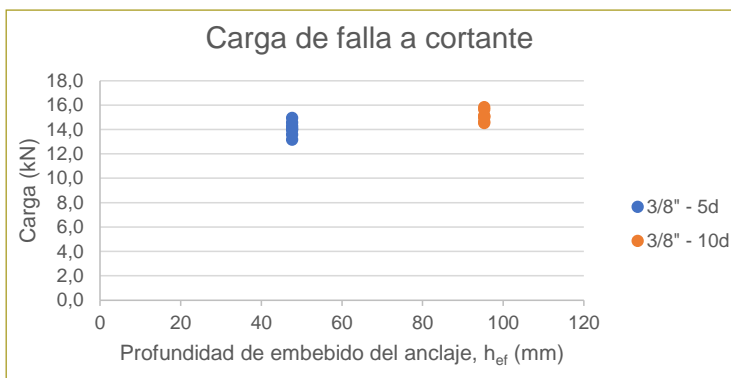


Figura 8. Cargas de falla para barras $\phi 3/8''$.

Fuente: Elaboración propia.

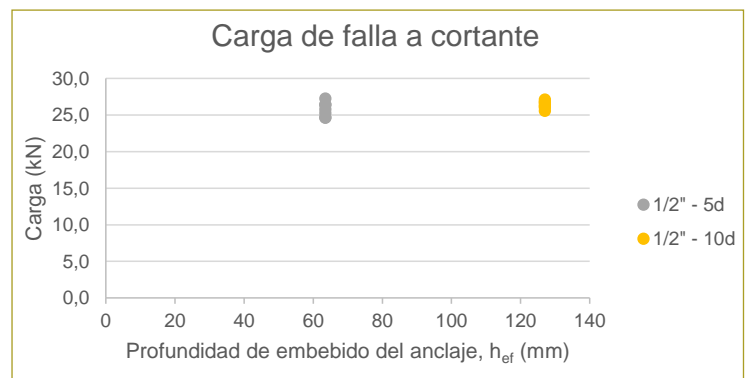


Figura 9. Cargas de falla para barras $\phi 1/2''$.

Fuente: Elaboración propia.

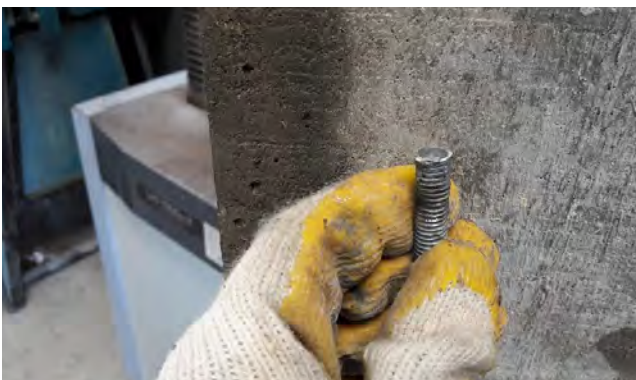


Figura 10. Anclaje $\phi 1/2''$ después de ensayo a corte. Falla del acero.

Fuente: Autor.

Ensayos no confinados a tensión

Se realizaron tres ensayos para cada diámetro y profundidad de embebido para un total de 24 ensayos, en los cuales el comportamiento de falla fue el esperado; la falla del acero se presentó únicamente en los anclajes.

En estos ensayos se presentaron tres modalidades de fallas: falla del acero, arrancamiento del concreto y falla de adherencia.

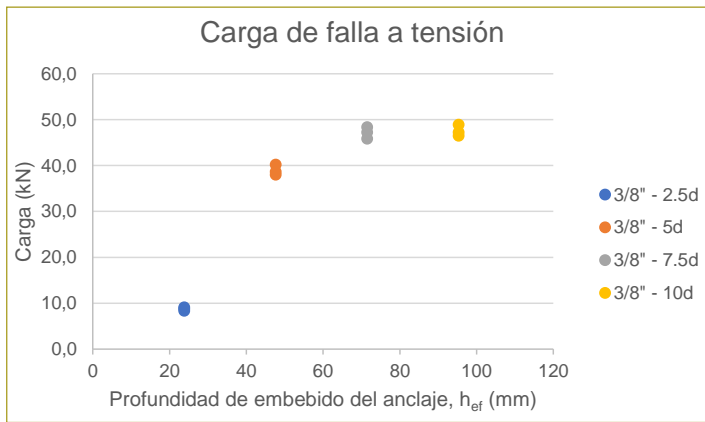


Figura 11. Cargas de falla para barras $\phi 3/8''$.

Fuente: Elaboración propia.

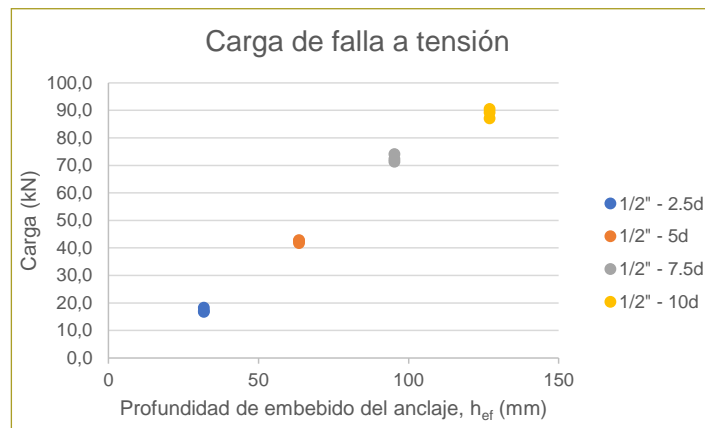


Figura 12. Cargas de falla para barras $\phi 1/2''$.

Fuente: Elaboración propia.

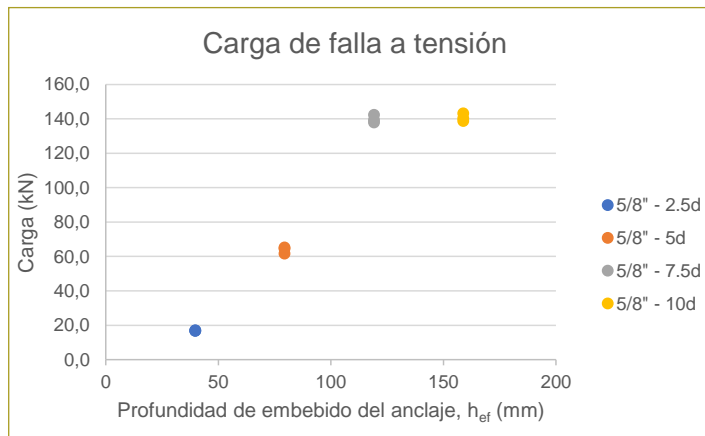


Figura 13. Cargas de falla para barras $\phi 5/8''$.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Falla por adherencia de anclaje $\phi 3/8''$ a profundidad de embebido igual a 2,5 veces el diámetro.

Fuente: Autor.



Figura 15. Falla por arrancamiento del concreto sin extracción de anclaje $\phi 1/2''$ a profundidad de embebido igual a 2,5 veces el diámetro.

Fuente: Autor.



Figura 16. Falla por arrancamiento del concreto con extracción de anclaje $\phi 5/8''$ a profundidad de embebido igual a 5 veces el diámetro.

Fuente: Autor.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con los valores de resistencia teórica obtenidos de las ecuaciones de los reglamentos, y los valores de resistencia real obtenidos de los ensayos ejecutados, se procede a hacer una comparación de los dos, calculando el coeficiente de reducción de resistencia producto de esta comparación.

Ensayos confinados a tensión

Para los ensayos confinados a tensión con barras AISI 1020 se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 6

Coefficientes de reducción para ensayos confinados a tensión

Barra	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Carga teórica (kN)
$\phi 3/8''$	47,7	15,1	17,0
$\phi 3/8''$	95,3	15,2	17,0
$\phi 3/8''$	190,6	15,5	17,0
$\phi 1/2''$	63,5	27,3	31,3
$\phi 1/2''$	127,0	35,5	31,3
$\phi 1/2''$	254,0	36,0	31,3
$\phi 5/8''$	79,4	40,3	49,6
$\phi 5/8''$	158,8	44,2	49,6
$\phi 5/8''$	317,6	49,8	49,6

Fuente: Elaboración propia.

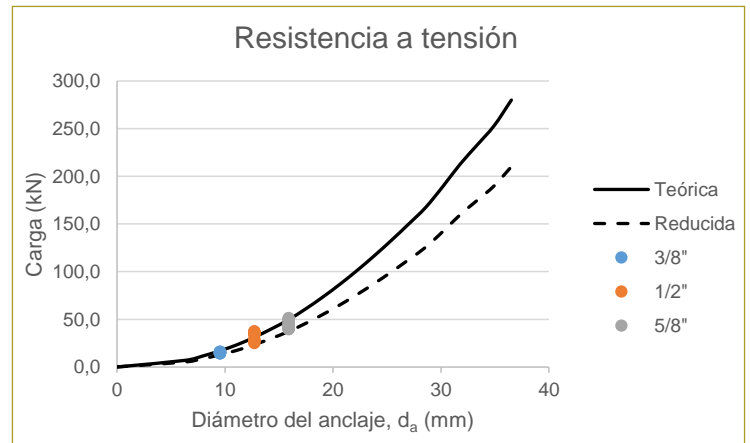


Figura 17. Cargas de ensayos, resistencia teórica y reducida de ensayos confinados a tensión.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos no confinados a tensión

Para los ensayos no confinados a tensión con barras ASTM A-193 B7 se aprecia que las modalidades de falla obtenidas en los ensayos discrepan de la modalidad de falla teórica. Por esto no se realiza el cálculo del coeficiente de reducción. Estos resultados se muestran en las tablas 7 a 9, en las que se puede ver que en algunos casos el tipo de falla esperado es diferente al que se presentó, razón por la cual no se calculó el coeficiente de reducción.

Tabla 7

Comparación de carga y modalidad de falla real y teórica para ensayos no confinados a tensión

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Carga teórica (kN)	Modalidad de falla teórica
$\phi 3/8''$	$2.5 d_b$	23,8	8,8	Adherencia	6,6	Adherencia
$\phi 3/8''$	$5 d_b$	47,7	39,0	Arrancamiento	13,2	Adherencia
$\phi 3/8''$	$7.5 d_b$	71,5	47,2	Acero	19,8	Adherencia
$\phi 3/8''$	$10 d_b$	95,3	47,6	Acero	26,4	Adherencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Comparación de carga y modalidad de falla real y teórica para ensayos no confinados a tensión

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Carga teórica (kN)	Modalidad de falla teórica
$\phi 1/2''$	$2.5 d_b$	31,8	17,4	Arrancamiento	11,8	Adherencia
$\phi 1/2''$	$5 d_b$	63,5	42,4	Arrancamiento	23,6	Adherencia
$\phi 1/2''$	$7.5 d_b$	95,3	72,5	Arrancamiento	35,3	Adherencia
$\phi 1/2''$	$10 d_b$	127,0	88,9	Acero	47,1	Adherencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Comparación de carga y modalidad de falla real y teórica para ensayos no confinados a tensión

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Modalidad de falla	Carga teórica (kN)	Modalidad de falla teórica
$\phi 5/8''$	$2.5 d_b$	39,7	16,9	Arrancamiento	18,5	Adherencia
$\phi 5/8''$	$5 d_b$	79,4	63,8	Arrancamiento	36,9	Adherencia
$\phi 5/8''$	$7.5 d_b$	119,1	139,9	Acero	55,4	Adherencia
$\phi 5/8''$	$10 d_b$	158,8	140,7	Acero	73,9	Adherencia

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos a cortante

Para los ensayos a cortante con barras AISI 1020 se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 10

Coeficientes de reducción y factores de seguridad para ensayos a cortante

Barra	Profundidad	Profundidad (mm)	Carga prom. (kN)	Carga teórica (kN)
$\phi 3/8''$	$5 d_b$	47,7	14,1	10,1
$\phi 3/8''$	$10 d_b$	95,3	15,1	10,1
$\phi 1/2''$	$5 d_b$	63,5	25,8	18,7
$\phi 1/2''$	$10 d_b$	127,0	26,4	18,7

Fuente: Elaboración propia.

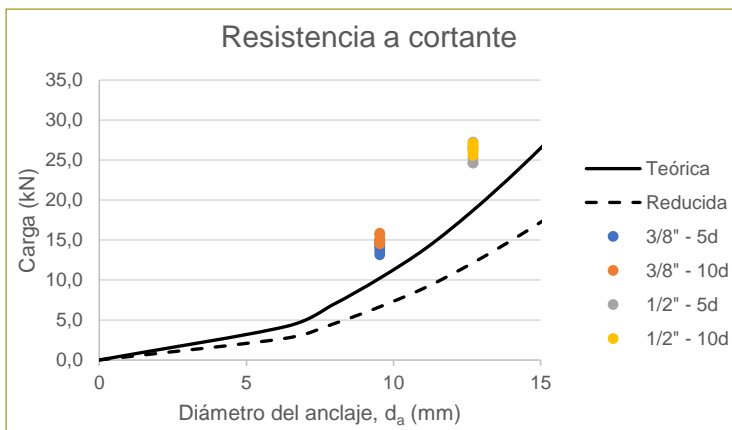


Figura 18. Cargas de ensayos, resistencia teórica y reducida para ensayos a cortante.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados experimentales se puede concluir lo siguiente:

- A medida que se incrementa la profundidad de embebido aumenta proporcionalmente la carga de falla del anclaje, y así mismo cambia la modalidad de falla.
- Los resultados obtenidos a través de los ensayos a tensión muestran que para la barra de $3/8''$ y profundidades de embebido menores o iguales que $2,5 d_b$ la falla predominante es por adherencia del anclaje.
- Para profundidades mayores que $2,5$ veces el diámetro y menores que $7,5$ veces el diámetro, la falla predominante es por arrancamiento del concreto, presentándose para barras de $5/8''$ hasta profundidades de 5 veces su diámetro. Finalmente, para profundidades superiores a las descritas predomina la falla del acero.
- Por último, se evidenció que para ensayos no confinados, las ecuaciones de los reglamentos predicen modalidades de falla que discrepan con las detectadas mediante los ensayos.

REFERENCIAS

- ACI Comitee 318 (2015). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary*. Michigan: American Concrete Institute.
- ACI Comitee 355 (2011). *Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete (ACI 355.4-11) and Commentary*. Michigan: American Concrete Institute.
- ACI Comitee 363 (2010). *Report on High Strength Concrete (ACI 363R-10)*. Michigan: American Concrete Institute.
- AS Comite 100 (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- ASTM E488 (2015). *Standard test methods for Strength of Anchors in Concrete Elements*. ASTM International.
- Baker, W. F., Korista, D. S., & Novak, L. C. (2008, March). Engineering the world's tallest – Burj Dubai. *Proceedings of CTBUH*

- 8th World Congress "Tall & green: typology for a sustainable urban future", 1–10.
- Caldarone, M. A. (2009). *High-strength concrete. A practical guide*. New York: Taylor & Francis.
- Cattaneo, S., & Muciaccia, G. (2016). Adhesive anchors in high performance concrete. *Materials and Structures*, 2689-2700.
- Epackachi, S., Esmaili, O., Mirghaderi, S. R., & Behbahani, A. T. (2015). Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads. *Journal of Constructional Steel Research*, 114, 269–280.
- González, F. J. (2014). *Influencia de las condiciones de ejecución en la resistencia de anclajes en hormigón convencional y autocompactante* (tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.
- González-Isabel, G. (1993). *Hormigón de alta resistencia*. Madrid: Intemac.
- ICC-ESR-3608 (n.d.). *Table 19 – Example of allowable stress design (ASD) tension values for illustrative purposes*.
- Islam, S., Afefy, H. M., Sennah, K., & Azimi, H. (2015). Bond characteristics of straight and headed-end, ribbed-surface, GFRP bars embedden in high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 83, 283–298.
- Ruda Arias, Y. M., & Páez Moreno, D. F. (2017). Anclajes posinstalados en concretos de alta resistencia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 137-156.
- Wang, D., Wu, D., Ouyang, C., & Zhai, M. (2016). Performance and design of post-installed large diameter anchors in concrete. *Construction and Building Materials*, 114, 142-150.
- Yilmaz, S., Özen, M., & Yardim, Y. (2013). Tensile behavior of post-installed chemical anchors embedded to low strength concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 861-866.