

# **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE ANCLAJES CON CABEZA PARA BARRAS CORRUGADAS SOMETIDAS A TENSIÓN EMBEBIDAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO.**

## **EVALUATION OF DIFFERENT TYPES OF HEADED ANCHORS FOR STRESSED CORRUGATED BARS EMBEDDED IN CONCRETE STRUCTURES.**

CAMILO ANDRES ESCOBAR CAICEDO<sup>1</sup>, PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA<sup>2</sup>

[camilo.escobar@mail.escuelaing.edu.co](mailto:camilo.escobar@mail.escuelaing.edu.co) - [pedro.quiroga@escuelaing.edu.co](mailto:pedro.quiroga@escuelaing.edu.co)

Recibido \_\_\_\_\_

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### **Resumen**

En la ingeniería estructural nos encontramos con una gran problemática en zonas como los nudos viga-columna extremos, donde las barras de refuerzo de las vigas se anclan mediante ganchos, los cuales pueden generar una gran congestión de refuerzo. Esto puede no solo dificultar la colocación del refuerzo sino impedir una adecuada colocación y consolidación del concreto con la consecuente pérdida de capacidad del nudo. El uso de barras con cabeza logra ofrecer menor congestión del refuerzo debido a su disminución en el área y hacen posible el uso de barras de refuerzo más grandes. Esto permite una mejor consolidación del concreto debido a que se tiene un mayor espacio entre barras para el vertido y la vibración proporcionarán una mejora en la calidad de este.

Al evaluar la teoría descrita sobre el uso de estos anclajes en la normativa vigente (American Concrete Institute ACI 318S-19, y Norma Colombiana de Construcción Sismo-Resistente NSR 10) se establecen los límites de profundidad de anclaje y las dimensiones necesarias para el adecuado funcionamiento de estas barras, pero no se

### **Abstract**

In structural engineering we had found problems in areas such as external beam-column nodes, where the reinforcing bars of the beams are anchored by hooks, which can generate a large reinforcement congestion. This can not only make it difficult to place the reinforcement but also prevents adequate concrete placement and consolidation with the consequent loss of node capacity. The use of headed bars manages to offer less congestion of the reinforcement due to its reduction in area and makes it possible to use larger reinforcement bars. This allows a better consolidation of concrete due to the fact that there is a greater space between bars for pouring and the vibration will provide an improvement in the quality of this.

Evaluating the theory described on the use of these anchors in the current regulations (American Concrete Institute ACI 318S-19, and Norma Colombiana de Construcción Sismo-Resistente NSR 10), the anchor depth limits are established for the adequate operation of these bars, but there are no experimental analyzes carried out in Colombia where

---

<sup>1</sup> Ingeniero civil.

<sup>2</sup> Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

tienen análisis experimentales realizados en Colombia en donde su uso y diseño sea validado para las características de los concretos realizados en nuestro país.

Es por esto que se evaluó el comportamiento de barras con cabeza en concreto sometidas a tensión embebidas a diferentes profundidades. Se plantearon dos geometrías (circular y cuadrada) de la cabeza (aditamento que se encuentra unido al extremo de la barra) y se midieron las resistencias a tensión para varilla de 3/4" y de 7/8" para un concreto de 35 MPa (5000 psi).

Se utilizaron las profundidades calculadas de acuerdo con el ACI 318S-19, y así mismo dos profundidades inferiores para cada tipo de barra y se determinó un intervalo de la profundidad adecuada para su uso en la construcción, lo cual se encuentra contemplado en un total de 32 ensayos a tracción mediante un gato hidráulico; 4 ensayos dinámicos en donde se realizó una comparación entre el uso de estos anclajes y las barras con gancho utilizadas convencionalmente.

Palabras Clave: Barra con cabeza, Longitud de anclaje, Esfuerzos, Tensión, Extracción.

their use and design could be validated for the characteristics of the concretes made in our country.

This is why the behavior of concrete-headed bars subjected to embedded tension at different depths was evaluated. Two geometries (circular and square) of the head (an attachment that is attached to the end of the bar) were proposed and the tensile strengths for 3/4 "and 7/8" rebar for a concrete of 35 MPa were measured. (5000 psi).

The depths calculated in accordance with ACI 318S-19, as well as two lower depths for each type of bar, and a suitable depth interval was determined for use in construction, which is contemplated in a total of 32 tensile tests using a hydraulic jack; 4 dynamic tests in which a comparison was made between the use of these anchors and the conventionally used hook bars.

Keywords: Headed bars, Anchor Length, Stresses, Tension, Extraction.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una barra con un sistema de anclaje mecánico consiste en un aditamento unido al extremo de una barra de refuerzo que para este caso en estudio será una cabeza la cual será utilizada para obtener mejores resultados en la longitud de embebido que se requiere y lograr disminuir la congestión de refuerzo. Estas cabezas logran confinar el concreto alrededor de ellas, evitando así una concentración de refuerzo en un área local, como las uniones de columna y vigas, losa de entre piso con escaleras, entre otros.

En estructuras de concreto, las barras con cabeza se utilizan para anclar el acero de refuerzo, esto cuando la geometría de la estructura de concreto es insuficiente para el desarrollo completo de barras rectas; el uso de longitudes de desarrollo más cortas y con una menor área de refuerzo reducen la congestión de dicho refuerzo, en conexiones de viga columna es muy común, en donde tenemos el refuerzo transversal y longitudinal que de por sí abarca una gran parte de la estructura, por lo cual una reducción de refuerzo en esta zona mediante el uso de anclajes con cabeza es de gran interés constructivo.

Los esfuerzos máximos en el refuerzo de la sección de concreto deben desarrollarse en ambos lados de la sección, para generar una transmisión de dichos esfuerzos, el refuerzo requiere una longitud mínima de desarrollo. La longitud mínima requerida por el código colombiano de construcción NSR 10 para anclajes está determinada a partir de la resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, la resistencia a la compresión del concreto y el diámetro de la barra de refuerzo en estudio. Esto con la finalidad de lograr que los esfuerzos sean transmitidos entre los materiales que componen la estructura.

Las barras con cabeza no requieren un amplio trabajo en campo, ya que no se debe realizar ningún doblez en las barras lo cual para los anclajes convencionales de gancho podían tener inconvenientes en diámetros grandes debido a la fuerza necesaria para poder doblarlos. Por consiguiente, el uso de barras con cabeza facilita los procesos constructivos y dan como resultado

menor congestión de acero que las barras de gancho. La cabeza de la barra puede variar en tamaño, forma y proceso de fabricación, y deben cumplir con los requisitos en ASTM A970.

Dicho lo anterior procederemos a evaluar el comportamiento de las barras con cabeza variando su geometría teniendo en cuenta los espesores comerciales en Colombia, realizando simulaciones de extracción con la finalidad de obtener la geometría de mejor desempeño.

## 2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener conocimientos de varios conceptos en el diseño de estructuras.

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener conocimientos de varios conceptos en el diseño de estructuras.

### Longitud de desarrollo de barras con cabeza:

La longitud de desarrollo en tracción de las barras corrugadas con cabeza debe ser determinada en la ACI 318S-19.

$$\ell_{dt} = \left( \frac{f_y \Psi_e \Psi_p \Psi_o \Psi_c}{31 \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5} \quad (S.I)$$

Donde:

$\ell_{dt}$  = Longitud de desarrollo.

$f_y$  = Resistencia a la fluencia del refuerzo.

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto.

Factor de modificación	Condición	Valor del factor
$\Psi_e$	Refuerzo con recubrimiento epoxico o zinc y barras con recubrimiento dual del zinc y epoxico.	1.2
	Refuerzo sin recubrimiento o refuerzo recubierto con zinc (galvanizado).	1.0
Refuerzo de estribos paralelos $\Psi_p$	Para barras No. 36 y menores con $A_{tr} \geq 0.3 A_{bc}$ o $s \geq 6 d_b$	1.0
	Otros	1.6
Ubicación $\Psi_o$	Para barras con cabeza	1.0
	-Que terminan dentro del núcleo de la columna con recubrimiento lateral normal al plano de la barra con cabeza $\geq 60$ mm, o con recubrimiento lateral $\geq 6 d_b$	
	Otros	1.25
Resistencia del concreto $\Psi_c$	Para $f'_c < 42$ Mpa	$\frac{f}{105} + 0.6$
	Para $f'_c \geq 42$ Mpa	1.0

Tabla 1 Factor de modificación longitud de desarrollo ACI 318S-19

### Ductilidad:

En el diseño de estructuras de concreto se deben tener en cuenta los factores que logran proveer un buen comportamiento sísmico, entre

estos se encuentra la resistencia, rigidez y ductilidad; un diseño competente es aquel que logra una combinación de estas propiedades.

Una estructura sísmo resistente debe tener una resistencia lo suficientemente alta para soportar cargas laterales y a su vez debe tener un comportamiento dúctil para evitar que suceda un colapso total de la estructura.

#### Adherencia:

La adherencia es la interacción física que se produce entre el concreto y las barras de acero que se encuentran embebidas en este, lo cual permite una continuidad de esfuerzos y fuerzas entre ellos. Según Domínguez (2005) existen tres fases. La primera es la pseudo-adherencia perfecta, asociada a la adherencia química. La segunda es la etapa de deslizamiento de transición, provocado por el micro agrietamiento que provocan las nervaduras de la varilla corrugada. Por último, la fase de grandes deslizamientos, provocado por la fricción entre las dos superficies en contacto.

#### Tipos de falla:

**Falla de acero de anclaje:** La resistencia del acero de anclaje controla la falla cuando la profundidad de embebido es suficiente para que no se presente la falla en el concreto. Esta falla se presenta por rotura del acero y depende de la ductilidad del mismo.

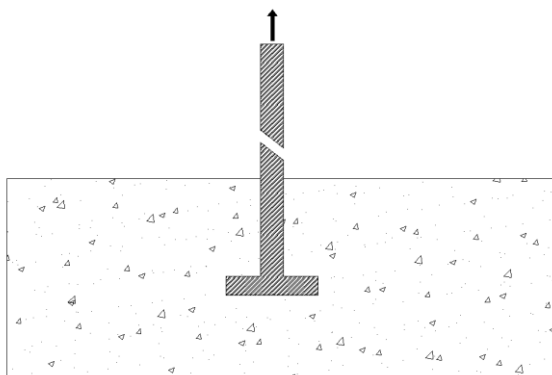


Ilustración 1 Falla del acero de anclaje. Elaboración propia

#### Falla por arrancamiento del concreto:

Este tipo de falla es presentado cuando el anclaje no tiene la suficiente profundidad de embebido para poder desarrollar una adecuada resistencia a la extracción del concreto. Se obtiene una falla en

el concreto con un ángulo de falla aproximado de  $35^\circ$ . Dicha resistencia puede aumentar teniendo un refuerzo de confinamiento.

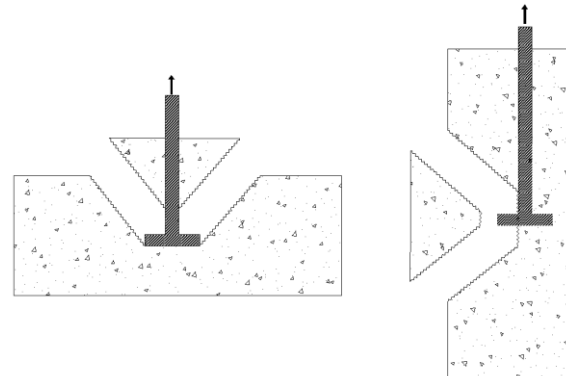


Ilustración 2 Falla por arrancamiento del concreto y desprendimiento lateral. Elaboración propia

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo general:

Evaluar el comportamiento de anclajes con cabeza de diferentes geometrías para barras de refuerzo de concreto sometidas a cargas de tensión estáticas y cíclicas.

#### Objetivos específicos:

- Evaluar experimentalmente el comportamiento y determinar las resistencias a tensión de anclajes con cabeza de geometría cuadrada y circular para varilla de 3 / 4" y 7 / 8" para un concreto de 35 MPa.
- Evaluar el comportamiento de anclajes con cabeza mediante ocho ensayos a tensión directa, para verificar que se presente falla dúctil en la barra.
- Determinar la longitud en la cual se genera la falla del concreto en anclajes de diferentes geometrías en resistencia a tracción realizando 32 ensayos mediante un gato hidráulico.
- Comparar experimentalmente el comportamiento ante carga cíclica de barras con anclaje en una conexión viga columna, mediante dos ensayos para barras con cabeza y dos ensayos para barras con gancho.

## 4. RESULTADOS

### Ensayo de tracción:

Se presenta de manera ilustrativa la configuración del ensayo de tracción en donde el elemento a utilizar es la maquina universal para poder garantizar una adherencia entre la barra y la cabeza:



Ilustración 3 Montaje ensayo a tracción. Elaboración propia

Los ensayos de tracción directa dieron como esfuerzo de fluencia los siguientes resultados:

# varilla	Carga Fluencia (kgf)	Carga Fluencia (kN)	Esfuerzo fluencia (Mpa)	Carga ruptura (kgf)	Carga Fluencia (kN)	Esfuerzo falla (Mpa)
6	13250	129,93	448,76	17762	174,17	601,58
	13132	128,77	448,76	17780	174,35	601,58
	13450	131,89	450,83	18669	183,07	625,79
<b>Promedio</b>	<b>13277</b>	<b>130,20</b>	<b>449</b>	<b>18070</b>	<b>177,20</b>	<b>610</b>
7	19810	194,26	445,53	25160	246,72	615,38
	19750	193,67	412,05	25850	253,49	523,34
	19794	194,10	410,81	25324	248,33	537,69
<b>Promedio</b>	<b>19785</b>	<b>194,01</b>	<b>423</b>	<b>25445</b>	<b>249,51</b>	<b>531</b>

Tabla 2 Esfuerzo de fluencia en barras. Elaboración propia

Estos valores de esfuerzo de fluencia son utilizados para determinar si las barras con cabeza logran entrar en fluencia a la profundidad de embebido determinada según la ACI 318S-19.

### Ensayo de extracción:

Se construyeron treinta y dos (32) especímenes de concreto convencional de 35 MPa; las cuales fueron utilizadas para ensayar las barras a extracción y evaluar su comportamiento ante profundidad de embebida variable.

Adicionalmente se realizó una comparación entre el uso de geometría cuadrada y circular para la cabeza.

El área mínima presentada es estipulada por la ASTM A970 en el anexo 1.

“A1.1.1.4 The net bearing area of a bar with an obstruction meeting the requirements of this annex is the gross area of the head minus the maximum area of the obstruction and shall not be less than four times the nominal cross-sectional area of the bar.”

En español, el área de apoyo neta de una barra con cabeza que cumpla con los requisitos de este anexo es el área bruta de la cabeza menos el área máxima de la cabeza y no debe ser menor de cuatro veces el área nominal de la sección transversal de la barra.

Barra # 6

$$\ell_{dt} = \left( \frac{420 \text{ Mpa} * 1 * 1 * 1 * 0.933}{31\sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) (19.1 \text{ mm})^{1.5}$$

$$\ell_{dt} = 178 \text{ mm}$$

Barra # 7

$$\ell_{dt} = \left( \frac{420 \text{ Mpa} * 1 * 1 * 1 * 0.933}{31\sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) (22.2 \text{ mm})^{1.5}$$

$$\ell_{dt} = 224 \text{ mm}$$

Se realizaron ocho (8) vigas en las cuales se ubicó la barra a la longitud de anclaje según la normativa, estas vigas fueron construidas de 0.25 m x 0.25 m x 1.2m. En las tablas #3 y #4 se presentan las dimensiones de la cabeza utilizada junto con el número de ensayos realizado.

Barra # Geometría Base (mm) Ancho (mm) # ensayos Ldt (mm)

6	Cuadrada	35	35	2	178
6	Circular		40	2	178

7	Cuadrada	40	40	2	224
7	Circular		45	2	224

Tabla 3 Especimen con longitud de anclaje según normativa. Elaboración propia

Adicionalmente se realizaron veinte y cuatro (24) especímenes variando la longitud de anclaje a una longitud inferior a la estipulada en la normativa; construidas de 0.25 m x 0.25 m x 1.0m.

Barra #	Geometría	Base (mm)	Ancho (mm)	# Ensayos	$L_{et}$ (mm)
6	Cuadrada	35	35	3	100
6	Circular		40	3	100
6	Cuadrada	35	35	3	150
6	Circular		40	3	150
7	Cuadrada	40	40	3	150
7	Circular		45	3	150
7	Cuadrada	40	40	3	180
7	Circular		45	3	180

Tabla 4 Especímenes con longitud de anclaje variable.  
Elaboración propia

El montaje utilizado consta de un gato hidráulico de embolo hueco junto con dos (2) vigas de apoyo.



Tabla 5 Ensayo de extracción. Barra # 6 profundidad 18 cm.  
Fuente propia

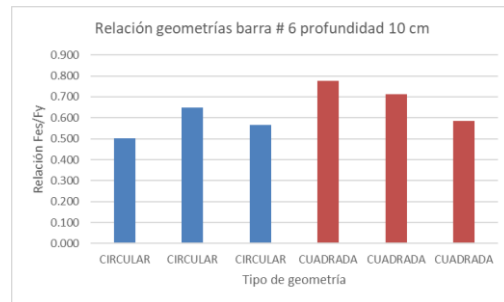
Se presenta a continuación los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación.

Los valores se compararon con la carga de fluencia para la barra en estudio (#6) obtenida en el ensayo de tensión con un valor promedio de 130.19 kN. (Tabla #2).

### Profundidad 10 cm barra #6.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
12	6	10	CIRCULAR	65,18	0,501
18	6	10	CIRCULAR	84,34	0,648
21	6	10	CIRCULAR	73,85	0,567
3	6	10	CUADRADA	101,19	0,777
16	6	10	CUADRADA	92,59	0,711
31	6	10	CUADRADA	76,34	0,586

Tabla 6 Relación Fes/Fy barra #6 profundidad 10 cm.  
Elaboración propia

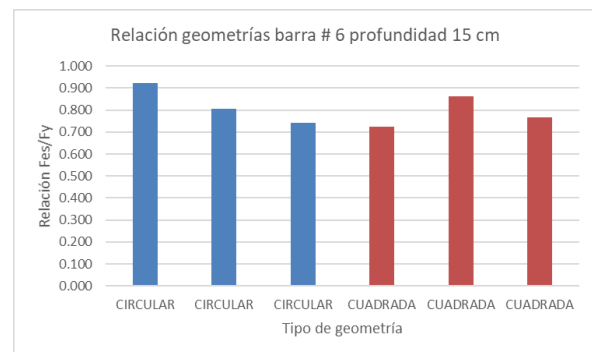


Gráfica 1 Relación geometrías barra #6 profundidad 10 cm.  
Elaboración propia

### Profundidad 15 cm barra #6.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
13	6	15	CIRCULAR	120,36	0,924
23	6	15	CIRCULAR	105,07	0,807
5	6	15	CIRCULAR	96,77	0,743
2	6	15	CUADRADA	94,41	0,725
27	6	15	CUADRADA	112,09	0,861
32	6	15	CUADRADA	99,90	0,767

Tabla 7 Relación Fes/Fy barra #6 profundidad 15 cm.  
Elaboración propia

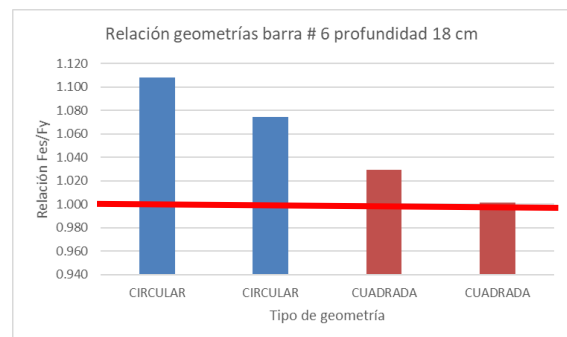


Gráfica 2 Relación geometrías barra #6 profundidad 15 cm.  
Elaboración propia

### Profundidad 18 cm barra #6.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
10	6	18	CIRCULAR	144,25	1,108
24	6	18	CIRCULAR	139,91	1,075
7	6	18	CUADRADA	134,06	1,030
8	6	18	CUADRADA	130,43	1,002

Tabla 8 Relación Fes/Fy barra #6 profundidad 18 cm.  
Elaboración propia



Gráfica 3 Relación geometrías barra #6 profundidad 18 cm.  
Elaboración propia



Se observa en la gráfica #1 para la barra #6 a una profundidad de 10 cm que la geometría cuadrada tiene una mayor resistencia a la extracción respecto a la circular. Lo cual a medida que se aumenta la profundidad de anclaje se obtiene un cambio en el cual la resistencia para los anclajes circulares es superior a los cuadrados.

Al tener el anclaje en una profundidad de 15 cm se logró observar que la resistencia para las geometrías tiende a ser muy similar, pero la geometría circular tiene un mejor comportamiento. Adicionalmente se evidencio que las barras están en un 70% del esfuerzo de fluencia, lo cual aún indica que esta profundidad de anclaje no es la ideal para el uso en la construcción.

De acuerdo con el ACI 318S-19, la profundidad de anclaje para barras con cabeza #6 es de 18 cm. En la gráfica #3 se evidencia que la carga resistente para esta profundidad es superior al esfuerzo de fluencia. La relación entre la fuerza resistente vs la fuerza de fluencia es superior a 1 en todos los ensayos cuya profundidad fue de 18 cm. Lo cual permite que las ecuaciones de la ACI predicen correctamente la carga de falla. **Nota: aunque se logró llegar al esfuerzo de fluencia en las barras utilizadas, se presentó falla por flexión en el elemento, por lo cual no se pudo presentar ruptura en la barra. Se presentan el resultado en un ensayo adicional más adelante.**



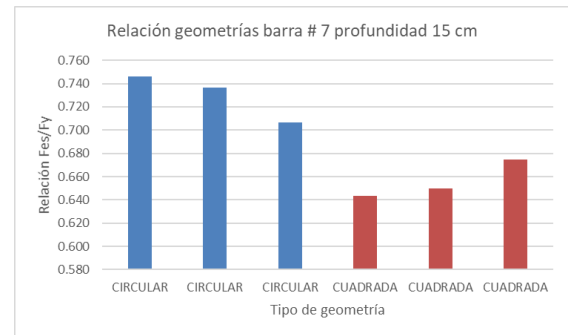
Ilustración 4 Falla flexión barra #6 (a). Fuente propia

Los valores se compararon con la carga de fluencia para la barra en estudio (#7) obtenida en el ensayo de tensión con un valor promedio de 194 kN.

### Profundidad 15 cm barra #7.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
14	7	15	CIRCULAR	144,70	0,746
17	7	15	CIRCULAR	142,90	0,737
30	7	15	CIRCULAR	137,02	0,706
9	7	15	CUADRADA	124,87	0,644
20	7	15	CUADRADA	126,07	0,650
28	7	15	CUADRADA	130,89	0,675

Tabla 9 Relación Fes/Fy barra #7 profundidad 15 cm. Elaboración propia

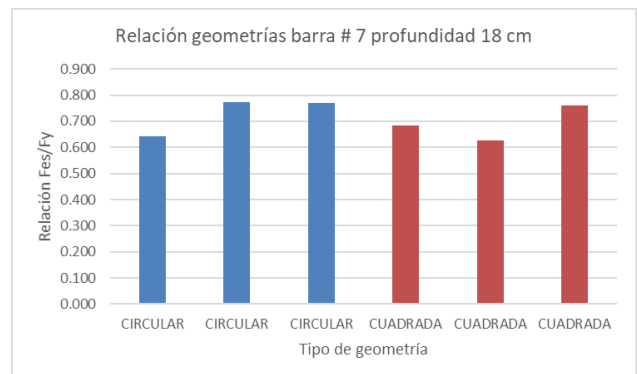


Grafica 4 Relación geometrías barra #7 profundidad 15 cm. Elaboración propia

### Profundidad 18 cm barra #7.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
1	7	18	CIRCULAR	124,57	0,642
19	7	18	CIRCULAR	149,77	0,772
22	7	18	CIRCULAR	149,30	0,770
15	7	18	CUADRADA	132,40	0,682
4	7	18	CUADRADA	121,36	0,626
29	7	18	CUADRADA	147,25	0,759

Tabla 10 Relación Fes/Fy barra #7 profundidad 18 cm. Elaboración propia

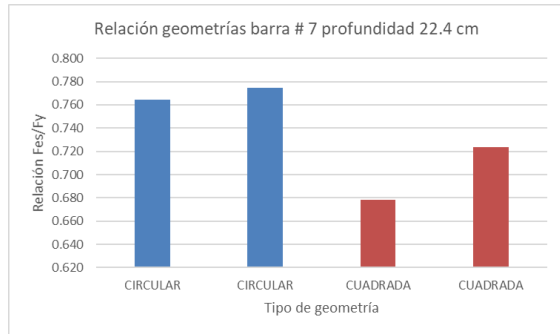


Grafica 5 Relación geometrías barra #7 profundidad 18 cm. Elaboración propia

### Profundidad 22.4 cm barra #7.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
25	7	22,4	CIRCULAR	148,25	0,764
26	7	22,4	CIRCULAR	150,28	0,775
6	7	22,4	CUADRADA	131,63	0,678
11	7	22,4	CUADRADA	140,32	0,723

Tabla 11 Relación Fes/Fy barra #7 profundidad 18 cm. Elaboración propia



Grafica 6 Relación geometrías barra #7 profundidad 22.4 cm. Elaboración propia

Se observa en la gráfica #4 para la barra #7 a una profundidad de 15 cm la geometría que mayor fuerza resiste es la circular. Comparando con los resultados obtenidos para la barra #6, se puede determinar que los esfuerzos admitidos por los especímenes se comportan mejor con geometría circular cuando la profundidad del anclaje es superior a los 15 centímetros aproximadamente.

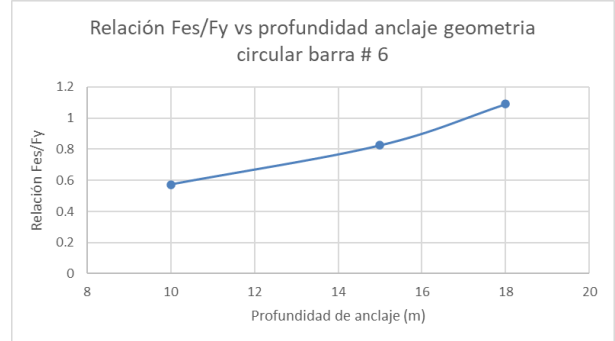
El ACI indica que la profundidad de anclaje para barras con cabeza #7 es de 22.4 cm. En la gráfica #6 se evidencia que la carga resistente para esta profundidad no alcanza a llegar a fluencia, esto debido a que se presenta una falla por flexión lo cual no permite aumento de la carga. **Nota: Se presentó falla por flexión en el espécimen, por lo cual no se pudo presentar ruptura en la barra ni tampoco llevar la barra a fluencia. Se presentan el resultado en dos ensayos adicionales más adelante.**



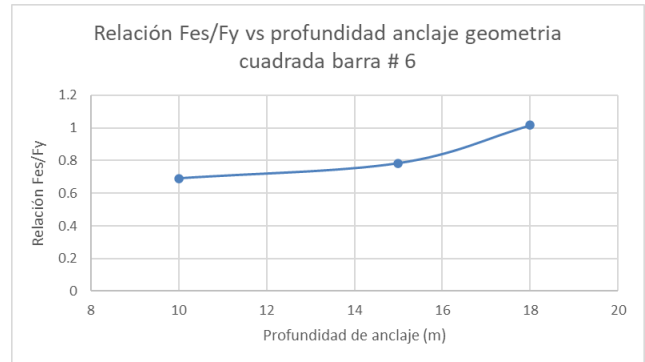
Ilustración 5 Falla flexión barra #7 (b). Fuente propia

### Relación Fes/Fy vs profundidad de embebido:

Las barras en estudio tuvieron una variación en su profundidad de embebido lo cual presenta un aumento en su resistencia a la extracción a medida que su profundidad aumenta.

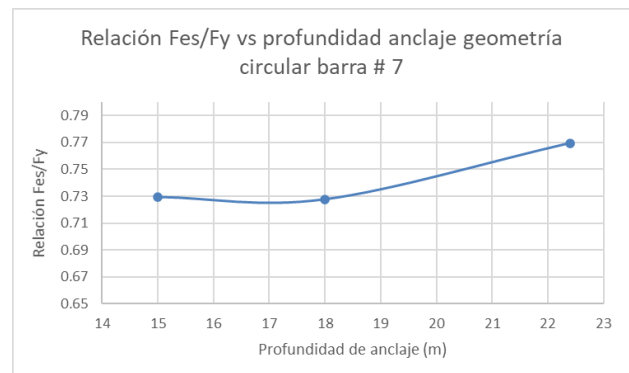


Grafica 7 Relación Fes/Fy vs profundidad de anclaje geometría circular Barra #6. Elaboración propia



Grafica 8 Relación Fes/Fy vs profundidad de anclaje geometría cuadrada Barra #6. Elaboración propia

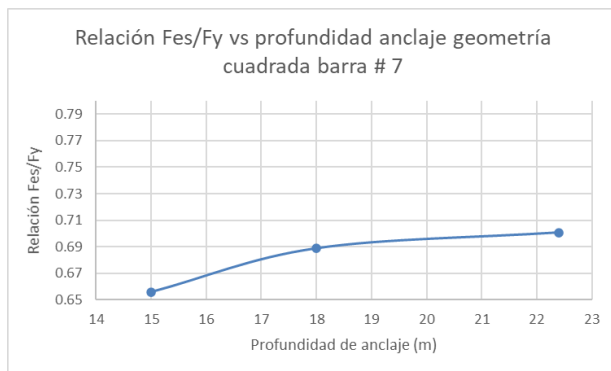
Se evidencia un aumento de resistencia a la extracción a medida que la profundidad de anclaje aumenta, esto debido a que el concreto tiene una mayor área de falla lo cual implica una mayor resistencia a la extracción.



Grafica 9 Relación Fes/Fy vs profundidad de anclaje geometría circular Barra #7. Elaboración propia



La grafica #9 ilustra un comportamiento en el cual para la profundidad de 15 cm y 18 cm la resistencia a la extracción es muy similar. El aumento se presenta al tener la profundidad de anclaje estipulada en la ACI.



Grafica 10 Relación Fes/Fy vs profundidad de anclaje geometría cuadrada Barra #7. Elaboración propia

Las barras de geometría cuadrada tienen un valor de resistencia mayor a medida que la profundidad es mayor. Al realizar una comparación respecto al comportamiento de la geometría circular, las cabezas circulares tienen una mayor resistencia y su profundidad no es el diferencial.

### Ensayos adicionales:

Como se mencionó anteriormente debido a que no se consideró una falla por flexión en el pre dimensionamiento de los especímenes se evidencio una falla por flexión. Se realizo un ensayo adicional para la barra #6 con geometría circular.

Los especímenes presentaron pequeñas fisuras, lo cual comparando con los fallados anteriormente en donde el refuerzo a flexión era inferior al requerido, se obtiene una mayor resistencia del elemento, provocando así una falla predominante de fluencia en la barra.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
35	6	18	CIRCULAR	155	1,19

Tabla 12 Carga - relación Fes/Fy barra #6 ensayo adicional. Elaboración propia

La carga máxima obtenida en los ensayos anteriores fue 14.710 kgf (tabla #2), aunque dicha carga supero la carga de fluencia, el espécimen no

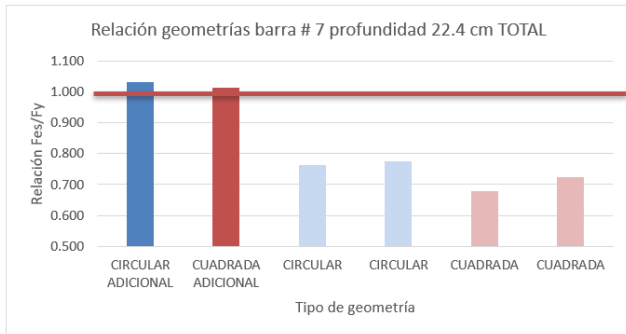
permitió un aumento de carga debido a su falla por flexión: en el ensayo adicional se logró evidenciar que esta falla no se presentó por consiguiente se obtuvo un aumento de carga de 15.840 kgf, logrando así una relación de 1.20 respecto al esfuerzo de fluencia de la barra, confirmando que la barra #6 logra tener un comportamiento adecuado para una profundidad de 18 cm, en donde la falla en el sistema será por ruptura de la barra y no en el concreto. **Nota: la carga de ruptura para la barra #6 no se logró obtener debido al riesgo que presentaba llevar la barra a su ruptura, lo cual pudiese presentar un accidente en el laboratorio ya que el gato hidráulico tenía una presión considerable que podría lanzar la barra en cualquier dirección.**

Se realizaron dos ensayos adicionales para la barra #7 con geometría circular y cuadrada. Para poder evaluar su comportamiento en donde la falla por flexión no se presenta.

ENSAYO	VARILLA #	PROFUNDIDAD (mm)	Geometría	Carga (kN)	Relación Fes/Fy
33	7	22,4	CIRCULAR	200	1,033
34	7	22,4	CUADRADA	196	1,012

Tabla 13 Carga - relación Fes/Fy barra #7 ensayos adicionales. Elaboración propia

Al ensayar el espécimen para una barra con cabeza de geometría circular se obtuvo la última fisura visible para una carga de 17.300 kgf, carga cercana a la carga de fluencia promedio de 19.785 kgf, la cual posteriormente fue alcanzada con una carga máxima de 20.430 kgf, obteniendo así una relación de 1.033, presentando una falla de fluencia deseada en el mecanismo para una longitud de anclaje de 22.4 cm indicada en la normativa vigente. **Nota: la carga de ruptura para la barra #7 no se logró obtener debido al riesgo que presentaba llevar la barra a su ruptura, lo cual pudiese presentar un accidente en el laboratorio ya que el gato hidráulico tenía una presión considerable que podría lanzar la barra en cualquier dirección.**



Grafica 11 Relación entre ensayos para barra #7 profundidad 22.4 cm. Elaboración propia

Se logra observar en la gráfica #11 el incremento en la relación del esfuerzo máximo respecto al esfuerzo de fluencia, debido al aumento en resistencia del espécimen al tener un mayor refuerzo a flexión.

## 5. ENSAYO CONEXIÓN VIGA-COLUMNA.

Se fallaron cuatro (4) conexiones la viga columna en donde se tenía dos (2) ensayos con anclajes con cabeza y dos (2) con anclaje con gancho.



Ilustración 6 Conexión Viga-Columna. Fuente propia



Ilustración 7 Falla Conexión Viga-Columna con cabeza. Fuente propia

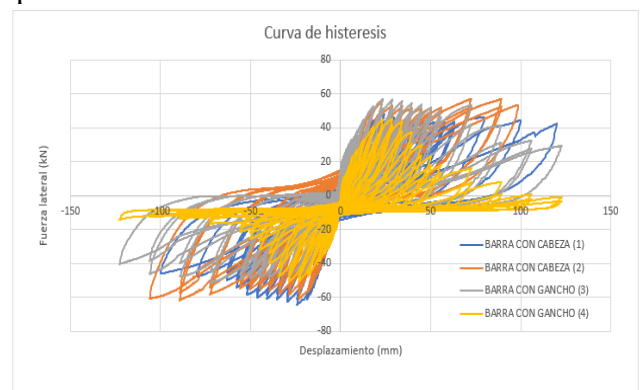
Se logra observar al comparar las conexiones viga columna realizadas que el comportamiento de estos especímenes es el deseado respecto al momento máximo calculado teóricamente.

Momento máximo teórico: 58.8 kN\*m  
(Página 74) X Longitud: 1 m = 58.8 kN.

	CARGA MAXIMA (+) kN	CARGA MINIMA (-) kN
CABEZA (1)	47,68	-64,27
CABEZA (2)	56,98	-61,41
GANCHO (1)	56,69	-47,31
GANCHO (2)	45,14	-50,88

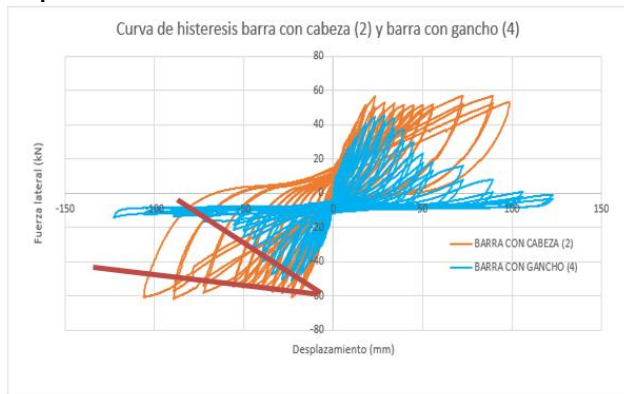
Tabla 14 Cargas conexión viga columna, Elaboración propia

La carga máxima aplicada en los especímenes es superior en aquellos en los cuales el refuerzo era cabeza. Se evidencia en la relación entre las curvas de histéresis un aumento en los desplazamientos máximos aplicados para los especímenes con gancho, este aumento en desplazamiento se logra para cargas inferiores respecto a barras con cabeza.



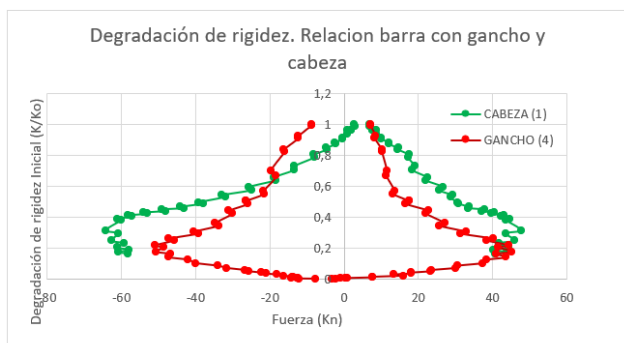
Grafica 12 Curva de histéresis comparativa. Elaboración propia. Elaboración propia

La carga soportada por el espécimen de barras con gancho tiende a disminuir gradualmente, a diferencia de las barras con cabeza en donde la carga se mantiene constante. Se observa en la gráfica 13 una pendiente de decrecimiento superior para barras con gancho respecto a barras con cabeza.



Gráfica 13 Curva de histéresis comparativo entre barra con cabeza y barra con gancho. Elaboración propia

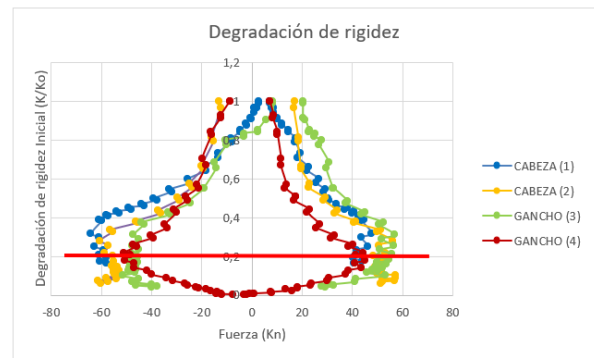
Se encontró una diferencia en el comportamiento de la degradación de rigidez entre las barras con gancho y con cabeza en la gráfica 14. Las barras con gancho tienden a presentar una mayor degradación ante una disminución en la carga aplicada, teniendo así mayores deformaciones.



Gráfica 14 Degradación de rigidez. Relación barra con gancho y cabeza. Elaboración propia

Se observa que el comportamiento de la degradación de rigidez tiene un comportamiento similar para los cuatro especímenes en el rango elástico, el cual tiene un cambio a “k” inelástico con un valor promedio de 2.17 kN/mm, donde el comportamiento para barras con gancho tiene una mayor degradación para una menor carga. Esto se puede obtener debido a que los ganchos tienden a

desblosarse deteriorando el concreto en el nodo. Para poder confirmar este comportamiento se recomiendan realizar ensayos adicionales para observar una tendencia.



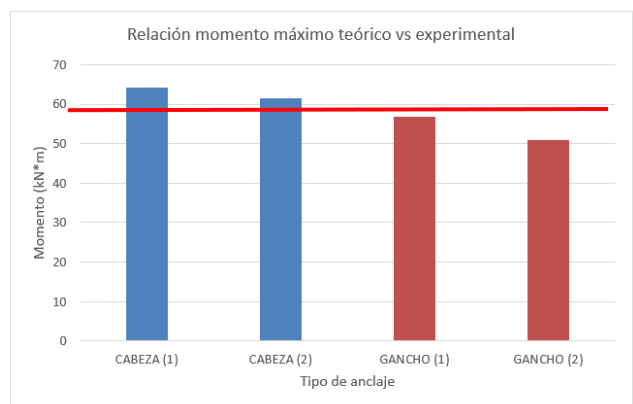
Gráfica 15 Degradación de rigidez. Relación especímenes. Elaboración propia

Basándonos en los resultados obtenidos para las cuatro conexiones viga columna, se logra determinar que su resistencia es acorde a la teórica de diseño, por consiguiente, reemplazando las barras con gancho por cabezas logra desarrollar un buen comportamiento del nodo, permitiendo una menor congestión de refuerzo y así una mejor consolidación del nodo. Se recomienda un mayor número de ensayos, y así poder determinar si el uso de barras con gancho disminuye la degradación de rigidez en los especímenes.

Momento máximo teórico: 58.8 kN\*m.

	CARGA MAXIMA (+) kN	CARGA MINIMA (-) kN	MOMENTO MAXIMO kN
CABEZA (1)	47,68	-64,27	64,27
CABEZA (2)	56,98	-61,41	61,41
GANCHO (1)	56,69	-47,31	56,69
GANCHO (2)	45,14	-50,88	50,88

Tabla 15 Comparación momento máximo viga-columna vs teórico. Elaboración propia



Gráfica 16 Comparación momento máximo viga-columna vs teórico. Elaboración propia

Se logra observar al comparar las conexiones viga columna realizadas que el comportamiento de estos especímenes es el deseado respecto al momento máximo calculado teóricamente. Teniendo un mejor comportamiento para aquellos cuyo anclaje es con cabeza.

## **6. CONCLUSIONES.**

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

- El uso de barras con cabeza permite una reducción hasta del 21% en la longitud de anclaje respecto al uso de barras con gancho de acuerdo con el ACI 318S-19, lo cual podría permitir una reducción en las dimensiones de columnas, siempre y cuando estas cumplan con las solicitaciones.

- La normativa vigente en Estados Unidos (ACI 318S-19) da lugar a una longitud de anclaje menor a la permitida en Colombia actualmente (NSR 10). En el desarrollo de este trabajo se logró demostrar que la longitud de anclaje estipulada en la ACI cumple con los requisitos estructurales también estipulados en la NSR 10, teniendo un margen de seguridad que permite su uso en la construcción; siendo un valor inferior a la longitud permitida en Colombia, se recomienda evaluar esta reducción teniendo como marco de referencia este documento. Esto se logró mediante el análisis de treinta y cinco (35) ensayos de extracción ya descritos en donde se utilizaron materiales de la región junto con la mano de obra que se encuentran en nuestro país, permitiendo su aceptación en la construcción, logrando dar tranquilidad a los diseñadores para su uso.

- El uso de barras de mayor diámetro permite cumplir con el área mínima de refuerzo con menor número de barras lo cual permite reducir la posible congestión en nudos extremos, obteniendo una mejor distribución del concreto y así una mejor consolidación del nudo. El uso de barras #7 en una sección de 25x25 no es permitido al utilizar gancho por consiguiente se plantea el

uso de barras de menor diámetro teniendo así un mayor número de barras, pero al hacer uso de barras con cabeza si es aceptable la barra #7 permitiendo así su uso y por consiguiente se requiere un menor número de barras para cumplir el refuerzo.

- En los ensayos se encontró que el uso de longitudes de anclaje inferiores a las calculadas con el ACI 318S-19 da lugar a una falla en el concreto que no permite que las barras desarrollen el esfuerzo de fluencia.

- Se evidenció que la mejor geometría para las cabezas es la circular, teniendo un mejor comportamiento y un aumento considerable en la carga que resiste el anclaje, respecto a las cabezas cuadradas.

- Basándonos en los resultados obtenidos para las cuatro conexiones viga columna, se logra determinar que su resistencia es acorde a la teórica de diseño, por consiguiente, reemplazando las barras con gancho por cabezas logra desarrollar un buen comportamiento del nodo, permitiendo una menor congestión de refuerzo y así una mejor consolidación del nodo. Se recomienda un mayor número de ensayos, y así poder determinar si el uso de barras con gancho disminuye la degradación de rigidez en los especímenes.

- Durante el análisis de costos se logró determinar que el uso de barras con cabeza permite una reducción cuando se obtienen barras de gran diámetro siempre y cuando se logre una reducción en la sección de la columna debido a la disminución en la longitud de anclaje (siempre y cuando la dimensión de la columna cumpla con las solicitaciones). Comparando el costo para secciones en donde no existe una reducción en la sección se evidencia un aumento de precio al utilizar barras con cabeza del 9% el cual se puede compensar realizando una disminución en el tiempo de mano de obra al tener barras a las cuales se debe realizar el figurado. Adicionalmente se puede garantizar una mejor consolidación del nudo.

## 7. REFERENCIAS.

- [1] ASTM. (2004). Standard Specification for Headed Bars for Concrete Reinforcement 1. Changes, i,1-7.<https://doi.org/10.1520/A0970>
- [2] NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
- [3] Wallace, John. (2016). Use of headed reinforcement in beam column joints. . NJ. National Science Foundation Headed Reinforcement Corporation ERICO Incorporation.
- [4] Ghimire, K. P., Shao, Y., Darwin, D., & O'Reilly, M. (2019). Conventional and high-strength headed bars—Part 2: Data analysis. *ACI Structural Journal*, 116(3), 265–272. <https://doi.org/10.14359/51714480>.
- [5] Kabir, M. R., & Islam, M. (2014). Bond stress behavior between concrete and steel rebar: Critical investigation of pull-out test via Finite Element Modeling. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 5(1), 80–90. <https://doi.org/10.6088/ijcser.2014050008>.
- [6] Najafgholipour, M. A., Dehghan, S. M., Dooshabi, A., & Niroomandi, A. (2017). Finite element analysis of reinforced concrete beam-column connections with governing joint shear failure mode. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 14(7), 1200–1225. <https://doi.org/10.1590/1679-78253682>.
- [7] Park, H. K., Yoon, Y. S., & Kim, Y. H. (2003). The effect of head plate details on the pull-out behaviour of headed bars. *Magazine of Concrete Research*, 55(6), 485–496. <https://doi.org/10.1680/mac.2003.55.6.485>.
- [8] Shao, Y. (2016). Anchorage of Headed Reinforcing Bars in Exterior Beam-Column Joints. PhD Dissertation, 1–274.
- [9] ASTM A944-99, “Standard Test Method for Comparing Bond Strength of Steel Reinforcing Bars to Concrete Using Beam-End Specimens,” American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, September 1999.
- [10] ASTM A970/A970M-97, “Standard Specification for Welded Headed Bars for Concrete Reinforcement,” American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, September 1997.
- [11] Abrams, D.A., “Tests of Bond Between Concrete and Steel,” Engineering Experiment Station, University of Illinois Bulletin No. 71, Urbana, Illinois, December 1913.
- [12] Bashandy, T.R., “Application of Headed Bars in Concrete Members,” PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, December 1996.
- [13] Berner, D.E. and Hoff, G.C., “Headed Reinforcement in Disturbed Strain Regions of Concrete Members,” *Concrete International*, Vol. 16, No. 1, Detroit, Michigan, January 1994.
- [14] DeVries, R.A., “Anchorage of Headed Reinforcement in Concrete,” PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, December 1996.
- [15] Goto, Yukimasa, “Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars,” *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 68, No. 4, pg. 244-251, Detroit, Michigan, April 1971.
- [16] ACI Committee 408, 2003, “Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension,” (ACI 408R-3), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- [17] Dyken, T., and Kepp, B., 1988, “Properties of T-Headed Reinforcing Bars in High Strength Concrete,” *Nordic Concrete Research*, No. 7-04, Dec.
- [18] Hong, S.-G., Chun, S.-C., Lee, S.-H., and Oh, B., 2007, “Strut-and-Tie Model for Development of Headed Bars in Exterior Beam-Column Joint,” *ACI Structural Journal*, Vol. 104, No. 5, Sep.-Oct.
- [19] McMackin, P. J., Slutter, R. G., and Fisher, J. W., 1973, “Headed Steel Anchor under Combined Loading,” *AISC Engineering Journal*, Vol. 10, No. 2, Apr.-Jun., pp. 43-52.
- [20] Won Jong Chin, Young Hwan Park, Jeong-Rae Cho, Jin-Young Lee, Young-Soo Yoon. (2020). “Flexural behavior of a precast concrete deck connected with headed GFRP



rebars and UHPC”. [https://doi:10.3390/ma13030604](https://doi.org/10.3390/ma13030604).

- [21] Minh-Tung Tran, Quoc-Bao Bui, Bastian Sentosa, Nhat-Tien Nguyen, Trung-Hieu Duong and Olivier Plé. (2018). “Sustainable RC Beam-Column Connections with Headed Bars: A Formula for Shear Strength Evaluation”. [https://doi:10.3390/su10020401](https://doi.org/10.3390/su10020401).
- [22] Abdul Hossein Paknejadi, Kiachehr Behfarnia. (2020). “Performance of reinforced self-consolidating concrete beam-columnjoints with headed bars subjected to pseudo-static cyclic loading”. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.12.008>.
- [23] Haitham H.Saeed, AymanA. Abdulhamed. (2021). “Bond behavior of dual headed bars in concrete structures”. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00553>.
- [24] Shubham Singhala, Ajay Chourasiaa, Jalaj Parashara. (2021) “Anchorage behaviour of headed bars as connection system for precast reinforced concrete structural components”. [https:// doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.043](https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.043).