

**MODOS DE FALLA EN ANCLAJES
EPÓXICOS POST-INSTALADOS
EN CONCRETOS POBRES,
SOMETIDOS A ENSAYOS DE
TRACCIÓN DIRECTA.**

**FAILURE MODES OF POST-
INSTALLED EPOXY ANCHORS IN
POOR CONCRETE, SUBMITTED
TO DIRECT TRACTION TESTS**

**MODOS DE FALHA DE
ANCORAGENS DE EPOXIA
POST-INSTALADOS EM POÇO
DE BETÃO, SUBMITIDO PARA
TESTES DE TRACÇÃO DIRECTOS**

William H. Bermúdez Morales

Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación y
desarrollo en Infraestructura Vial
(GINFRAVIAL), Universidad Pedagógica
y Tecnológica de Colombia
william.bermudez01@uptc.edu.co

Diego Fernando Páez Moreno

Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación y
desarrollo en Infraestructura Vial
(GINFRAVIAL), Universidad Pedagógica
y Tecnológica de Colombia
diego.paez@uptc.edu.co

*Fechas de recepción: 15 de junio 2017
Fecha de aprobación: 05 de septiembre 2017*

Resumen

En nuestro país, el estudio de modos de falla en anclajes post-instalados, ha sido limitado a concretos de resistencias comunes. Este escrito tiene como objetivo identificar los tipos de fallas asociados a anclajes epóxicos ensayados, e interpretar las fallas en base a clasificaciones existentes. La metodología utilizada se basa en construir anclajes post-instalados en concretos pobres y someterlos en laboratorio a un ensayo de tracción directa, analizar los modos de falla presentados y determinar las posibles causas que motivan la falla. Como resultados, ningún anclaje alcanza el límite de fluencia del acero o falla de acero, el modo de falla cono de concreto presenta la resistencia de carga más alta obtenida en los ensayos de tracción directa. De manera general, no se recomienda el uso de los anclajes epóxicos post-instalados con diámetros de barras menores, los modos de falla observados en anclajes con aceros pequeños se relacionan a resistencias bajas de carga aplicada.

Palabras clave: Adherencia, Anclaje Epóxico, Concreto, Post-Instalado, Probetas, Tracción.

Abstract

In our country, the study of failure modes in post-installed anchors has been limited to common concrete resistances, this paper aims to identify the types of failures associated with tested epoxy anchors, and interpret the faults based on existing classifications. The methodology used is based on building post-installed anchors in poor concrete and submitting them to a direct tensile test in the laboratory, analyzing the failure modes presented and determining the possible causes that originate the failure. As a result, any anchor reaches the yield strength of steel or steel failure, the cone failure mode presents the highest load resistance obtained in direct tensile tests. In general, the use of post-installed epoxy anchors with smaller bar diameters is not recommended, the failure modes observed in anchors with small steels are related to low applied load resistances.

Key words: Adhesion, Epoxy Anchor, Concrete, Post-Installed, Testing, Traction.

Resumo

Em nosso país, o estudo dos modos de falha em âncoras pós-instaladas foi limitado a resistências de resistência ao concreto, O objetivo deste trabalho é identificar os tipos de falhas associadas às âncoras epóxi testadas e interpretar as falhas com base nas classificações existentes. A metodologia utilizada baseia-se na construção de âncoras pós-instaladas em concreto pobre e submete-as a um teste de tração direta em laboratório, analise os modos de falha apresentados e determine as possíveis causas que causam a falha. Como resultado, nenhuma âncora atinge o limite de elasticidade da falha de aço ou aço, O modo de falha do cone de concreto apresenta a maior resistência de carga obtida nos testes de tração direta. Em geral, o uso de âncoras epóxi pós-instaladas com diâmetros de barras menores não é recomendado, Os modos de falha observados nas âncoras com aços pequenos estão relacionados à baixa resistência da carga aplicada.

Palavras-chave: Aderência, âncora epóxi, concreto, pós-instalado, tubos de ensaio, Tração

I. INTRODUCCIÓN

En Colombia se está realizando grandes inversiones en Infraestructura Vial, algunas de éstas comprenden ampliaciones en anchos de calzadas existentes o pares viales, estas obras requieren utilizar infraestructura de concreto existente, tales como: puentes, pontones, estructuras de contención, box-coupler, alcantarillas, entre otros. Una opción para ampliar o reutilizar obras de concreto en vías es mediante el uso de sistemas de anclajes epóxicos.

Los parámetros para la construcción de anclajes epóxicos están dados por los fabricantes de los productos, la normativa americana para el diseño de anclajes epóxicos en concretos endurecidos solo fue publicada hasta el 2002 a través del apéndice D de ACI 318-02. Razones que hacen necesario investigar el uso de anclajes en concretos pobres. El objetivo principal de este trabajo es identificar los tipos de fallas asociados a los anclajes epóxicos ensayados e interpretarlas con base en clasificaciones existentes.

Para realizar el presente trabajo se planteó construir probetas de concreto de resistencias a la compresión bajas (14.0 y 17.5 MPa), posteriormente fabricar anclajes epóxicos post-instalados con barras de acero corrugado (referencia nominal N° 3 y N° 4), y el uso del epóxico comercial Sikadur®Anchor-Fix-4 (cumple norma ASTM C-881-02 tipo IV, grado 3). Una vez el sistema ha surtido el proceso de curado se procede a ser fallado a tracción directa, según montaje dispuesto por Hamón, J., y Galán, J., en el trabajo de grado de Ingeniería Civil “*Estudio de la resistencia a tracción en anclajes estructurales post-instalados con adhesivo epóxico*”, a realizarse en máquina universal en los laboratorios de

Ingeniería Civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja.

La decisión de utilizar acero corrugado de referencia nominal N° 3 y N° 4, obedece a cumplir con el requisito de borde libre que exige el fabricante del epóxico, lo que dificulta encontrar formaletas comerciales para elaborar los especímenes de concreto, para ello, es necesario utilizar como formaleta, tubería sanitaria novafort de 6 pulgadas de diámetro. Otra limitante, es proporcionar el espacio adecuado para el curado, debido a que la elaboración de los especímenes por cada resistencia a la compresión se realiza el mismo día, para garantizar homogeneidad en el concreto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estandarizaron materiales para la fabricación de probetas de concreto utilizadas en la investigación, en el diseño de mezcla se utiliza la metodología del Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC); y se procedió a la construcción de 64 especímenes, 32 con resistencia a la compresión $f'c = 14.0$ MPa, y 32 restantes con resistencia a la compresión $f'c = 17.5$ MPa. En la construcción de las probetas se tomó la dosificación de materiales en masa, para garantizar mayor homogeneidad en mezcla, y disminuir las variables externas que puedan modificar las resistencias a la compresión requeridas.

El equipo utilizado es una mezcladora eléctrica para 25 kg de cemento, herramienta menor, cono para ensayo de asentamiento, carretilla, ocho camisas de acero de 100 mm de diámetro interior por 200 mm de altura, 12 camisas de acero de 150 mm de diámetro interior por 300 mm de altura y 12 camisas de tubería novafort de 185 mm de diámetro interior por 400 mm de altura.

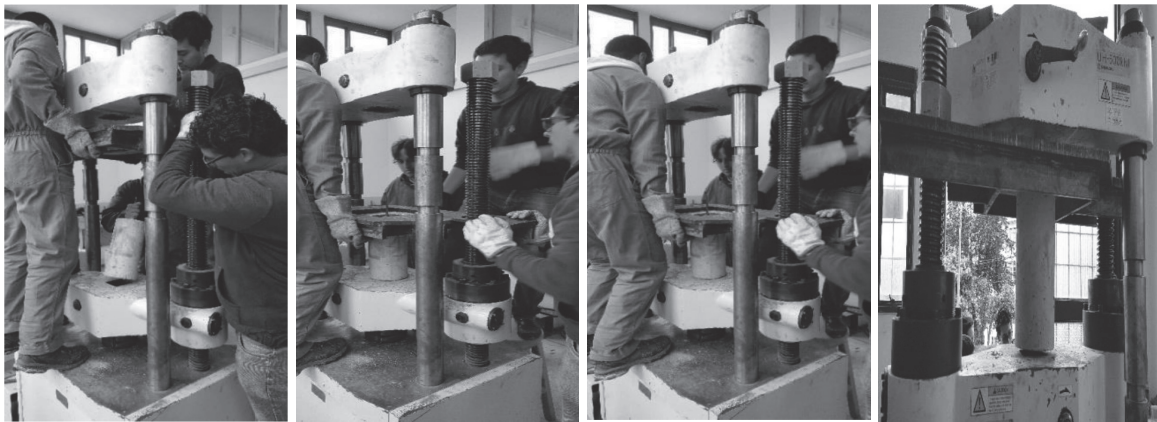
Todas las probetas se fabricaron según NTC 550 – Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. Las probetas de 100 mm de diámetro interior por 200 mm de altura, son cilindros construidos en camisas de acero, para medir la resistencia a la compresión, empleando la norma NTC 673 – Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto, con lo cual se verificó que las resistencias del concreto sean las planteadas para el desarrollo de la investigación. ($F'_c = 14.0$ MPa y 17.5 MPa)

Las probetas de 150 mm de diámetro interior por 300 mm de altura, son cilindros fabricados en camisas de acero para la construcción de anclajes con de acero corrugado N° 3; cumpliendo con la condición de borde libre para anclajes de acero corrugado N° 4, se construyen en camisas de tubería novafort de 8 pulgadas, cilindros de 185 mm de diámetro interior por 400 mm de altura.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

Teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante del epóxico, se procedió a realizar los anclajes con el sistema epóxico, se realizaron las perforaciones utilizando un taladro rotopercutor con brocas para concreto de diámetros 1/2" para anclaje de 3/8" y 5/8" para anclaje de 1/2", compresor eléctrico de aire y cepillos para limpieza de las perforaciones. El epoxico utilizado para el sistema es SIKADUR ANCHORFIX-4, adhesivo epóxico de 2 componentes para el anclaje de pernos roscados y barras corrugadas en concreto no fisurado, en presentación de 2 cartuchos por 300 ml cada uno, y como herramienta de aplicación se utiliza una pistola AnchorFix-4/3001.

Después del curado del sistema epóxico (48 horas), se fallan las probetas a tracción directa en la máquina Universal de la UPTC, el montaje utilizado para realizar el ensayo se muestra a continuación:



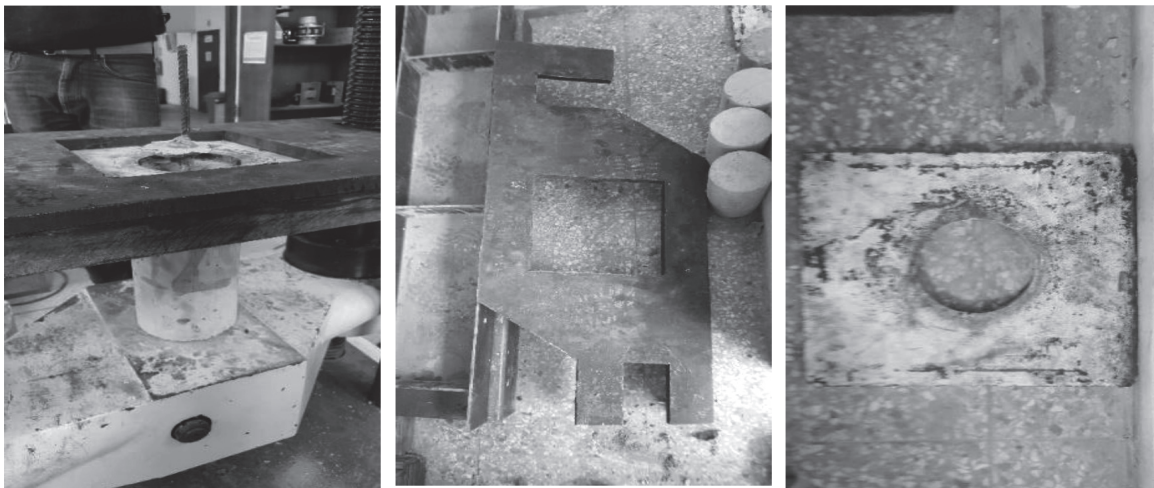
Ilustraciones 1-4. Montaje ensayo tracción directa.

Ilustraciones 1-4. Montaje de falla a tracción directa para probetas de concreto.

Fuente: Autores

Para garantizar estabilidad de las probetas falladas, distribución de fuerzas y soporte, es necesario adecuar un complemento de acero sobre las probetas; dicho complemento consta de 2 láminas de acero, la lámina

principal proporciona una guía y se empalma a la maquina universal, la segunda lámina restringe el movimiento de la probeta y distribuye homogéneamente los esfuerzos de tracción.



Ilustraciones 5-7. Complementos de láminas de acero para ensayo a tracción directa.

Fuente: Autores

Como metodología utilizada para determinar los modos de falla, cada ensayo de tracción directa es grabado en video, para ser analizado en oficina y determinar con mayor precisión su tipo de falla.



Ilustraciones 8-10. Ensayo a tracción directa.

Fuente: Autores

En el tipo de Anclajes Adheridos con resinas epóxicas, revisando la literatura técnica se reportan los siguientes modos de falla por tracción, estos modos también se referencian en (Hilti, 2014)

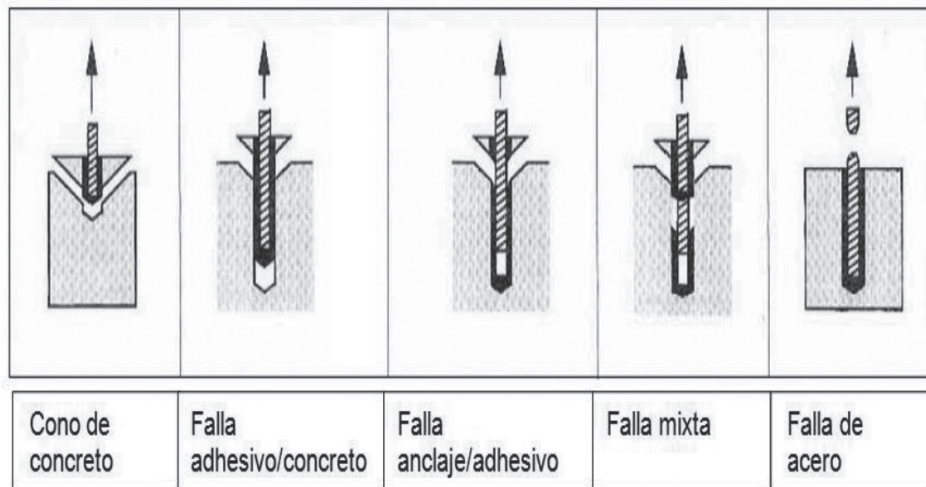


Ilustración 11. Modos típicos de falla en anclajes químicos para cargas de Tensión en el perno.

Fuente: HILTI, (2014) Sistemas de Anclajes, Catalogo.

IV. RESULTADOS

Se presenta la identificación de cada modo de falla encontrado en las distintas probetas, adicionalmente se incluye la descripción en las fotografías.

Tabla 1. Descripción de modos de falla en cilindros de $f'_c = 14.0$ MPa acero N°3.

DESCRIPCIÓN MODOS DE FALLA CILINDROS $f'_c = 14.0$ MPa ACERO CORRUGADO N°3			
PROBETA	ANCLAJE (mm)	MAX. CARGA (KN)	TIPO DE FALLA
1	90	11.14	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
2	90	12.33	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
3	90	9.54	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
4	90	14.11	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
5	105	21.11	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
6	105	22.7	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
7	105	21.72	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
8	105	20.47	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
9	120	26.92	FALLA MIXTA
10	120	26.17	FALLA MIXTA
11	120	28.13	FALLA MIXTA
12	120	27.50	FALLA MIXTA

Fuente: Autor de la investigación



FALLA ANCLAJE / ADHESIVO; El adhesivo falla pero el cilindro no presenta fisuras. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA ADHESIVO / CONCRETO; El adhesivo falla y el cilindro presenta fisuras. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación.

Ilustraciones 12-15. Modos de falla. Fuente: Autor de la investigación

Tabla 2. Descripción de modos de falla en cilindros de $f'c = 14.0$ MPa acero N°4.

DESCRIPCIÓN MODOS DE FALLA CILINDROS $f'c = 14.0$ MPa ACERO N°4			
PROBETA	ANCLAJE (mm)	MAX. CARGA (KN)	TIPO DE FALLA
1	120	18.44	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
2	120	11.19	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
3	120	20.47	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
4	120	12.59	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
5	140	0.00	NO CURO EL EPÓXICO
6	140	49.39	FALLA CONO
7	140	37.72	FALLA CONO
8	140	49.58	FALLA CONO
9	160	25.22	FALLA MIXTA
10	160	27.03	FALLA MIXTA
11	160	23.95	FALLA MIXTA
12	160	24.67	FALLA MIXTA

Fuente: Autor de la investigación

Ilustraciones 16-19. Descripción modos de falla cilindros de $f'c = 14.0$ MPa acero N°4.



FALLA ADHESIVO / CONCRETO; El adhesivo falla y el cilindro presenta fisuras. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA CONO; falla el concreto, el adhesivo alcanza su mayor desempeño. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación.

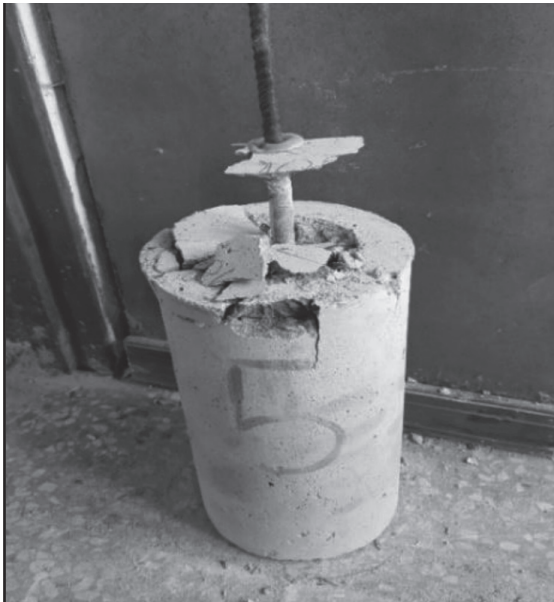
Ilustraciones 16-19. Modos de falla. Fuente: Autor de la investigación

Tabla 3. Descripción de modos de falla en cilindros de $f'c = 17.5$ MPa acero N°3.

DESCRIPCIÓN MODOS DE FALLA CILINDROS $f'c = 17.5$ MPa ACERO N°3			
PROBETA	ANCLAJE (mm)	MAX. CARGA (KN)	TIPO DE FALLA
1	90	9.54	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
2	90	13.5	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
3	90	2.88	NO CURO EL EPÓXICO
4	90	11.5	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
5	105	25.28	FALLA MIXTA
6	105	15.55	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
7	105	26.92	FALLA MIXTA
8	105	23.19	FALLA MIXTA
9	120	16.52	FALLA ANCLAJE / ADHESIVO
10	120	18.7	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
11	120	19.3	FALLA ADHESIVO / CONCRETO
12	120	17.34	FALLA ADHESIVO / CONCRETO

Fuente: Autor de la investigación

Ilustraciones 20-23. Descripción modos de falla cilindros de $f'c = 17.5$ MPa acero N°3.



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA ANCLAJE / ADHESIVO. El adhesivo falla, pero el cilindro no presenta fisuras. Fuente: Autor de la investigación.



FALLA ADHESIVO / CONCRETO; El adhesivo falla y el cilindro presenta fisuras. Fuente: Autor de la investigación

Ilustraciones 20-23. Modos de falla. Fuente: Autor de la investigación

Tabla 4. Descripción de modos de falla en cilindros de $f'c = 17.5$ MPa acero N°4.

DESCRIPCIÓN MODOS DE FALLA CILINDROS $f'c = 17.5$ MPa ACERO N°4			
PROBETA	ANCLAJE (mm)	MAX. CARGA (KN)	TIPO DE FALLA
1	120	31.02	FALLA MIXTA
2	120	32.88	FALLA MIXTA
3	120	30.47	FALLA MIXTA
4	120	33.78	FALLA MIXTA
5	140	38.92	FALLA MIXTA
6	140	44.88	FALLA CONO
7	140	36.5	FALLA MIXTA
8	140	31.66	FALLA MIXTA
9	160	40.13	FALLA CONO
10	160	52.84	FALLA CONO
11	160	42.81	FALLA CONO
12	160	41.9	FALLA CONO

Fuente: Autor de la investigación



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño.



FALLA MIXTA; El adhesivo falla en conjunto con el concreto, pero no alcanza su máximo desempeño. Fuente: Autor de la investigación



FALLA CONO; falla el concreto, el adhesivo alcanza su mayor desempeño. Fuente: Autor de la investigación



FALLA CONO; falla el concreto, el adhesivo alcanza su mayor desempeño. Fuente: Autor de la investigación.

Ilustraciones 24-27. Descripción modos de falla cilindros de $f'c = 17.5$ MPa acero N°4.

Fuente: Autor de la investigación

V. DISCUSIÓN

De manera general, ningún anclaje llega al límite de fluencia del acero, la carga máxima de resistencia a la tracción del acero N° 3 (9.5mm) es de 29.82 KN y para el acero N° 4 (9.5mm) es de 54.18 KN.

Es consecuente relacionar los modos de falla a las cargas obtenidas teniendo en cuenta las combinaciones, concreto $f'c$ de 14.0 MPa en aceros N° 3 y N° 4 y concreto de 17.5 MPa con acero N° 3, modos de falla anclaje/adhesivo mantienen rangos de carga entre los 9.54 y 13.5 KN; para los modos de falla adhesivo/concreto las cargas se encuentran entre 14.11 y 21.72 KN.

Los rangos observados de carga en modos de falla mixta están entre 23.19 y 28.13 KN, para concreto $f'c$ de 14.0 MPa en aceros N° 3 y N° 4 y concreto de 17.5 MPa con acero N° 3. En concreto de 17.5 MPa y acero N° 4, el rango aumenta considerablemente y se manejan cargas entre 30.47 y 38.92 KN.

El anclaje de mejor comportamiento presenta falla de cono, el concreto alcanza su mejor desempeño y se relacionan a anclajes construidos en acero N° 4, los rangos obtenidos se encuentran entre 37.72 y 52.84 KN. Los anclajes construidos con acero N° 3 (9.5mm) no presentan falla de cono.

Si estos sistemas son usados en mantenimiento o reparación de obras de arte en

vías, resulta necesario conocer el estado del concreto y esfuerzos a que se encuentran sometidas las estructuras, para plantear un adecuado procedimiento de intervención; los resultados encontrados en esta investigación, solo aplican a esfuerzos de tracción directa en condiciones específicas de resistencia de concreto, acero corrugado y profundidades de anclajes.

VI. CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente artículo es identificar los tipos de fallas asociados a los anclajes epóxicos ensayados e interpretarlas con base en clasificaciones existentes; según lo anterior, se concluye lo siguiente.

- Ningún anclaje presenta fallas de acero, lo que significa que las cargas obtenidas en el ensayo a tracción de las probetas, no superan el límite de fluencia de los aceros N° 3 y N° 4.
- Los anclajes contruidos con barras No. 3 presentan fallas por adherencia ya sea en el concreto o en la barra, las cuales evidencian las resistencias de carga más bajas, en algunos casos se presentaron fallas mixtas, las barras No 4 presentaron fallas mixtas y de cono, siendo las fallas de cono las que indican las mayores resistencias de carga.
- No se recomienda trabajar estos sistemas de anclajes epóxicos en concretos pobres con diámetros de barras pequeños.

La principal aplicación que tiene este trabajo es dar una guía de modos de falla identificados en anclajes epóxicos post-instalados en concretos de bajas resistencias, así como indicar un posible montaje para fallar a tracción estos sistemas.

VII. REFERENCIAS

American Concrete Institute ACI 318S-14 (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. Farmington Hill, MI: Author.

American Society for Testing Materials ASTM C-881-02 type IV (2002). Especificación estándar para sistemas de adhesión basados en resina epóxica para concreto. Montgomery, PA: Author.

Eligehausen R., Mallée R., Silva J., (2006). Anchorage in Concrete Construction. Berlín: John Wiley & Sons.

Hamón, J., y Galán, J., (2016). Estudio de la resistencia a tracción en anclajes estructurales post-instalados con adhesivo epóxico. (Trabajo de grado Ingeniero Civil), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

Hilti, (2014). Sistemas de Anclajes. México, DF: Author.

Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC (1997). Método Práctico Para Dosificar Mezclas de Concreto. Medellín, AN: Author.

Norma Técnica Colombiana NTC 550 (2012). Concretos Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en Obra. Bogotá, DC: Author.

Norma Técnica Colombiana NTC 673 – Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Bogotá, DC: Author.

Sika (2015). Hoja técnica de producto Sikadur®AnchorFix-4. Bogotá, DC: Author.

Yilmaz S., Ali Özen M., Yardim Y., (2013) Tensile behavior of post-installed chemical anchors embedded to low strength concrete, In Construction and Building Materials, Volume 47, Pages 861-866, ISSN 0950-0618.