

Maestría en Ingeniería Civil

**Análisis del comportamiento de barras corrugadas de acero post-
instaladas con adhesivo epóxico en concreto ligero sometidos a
tensión y cortante**

Carolina Viasús Arteaga

Bogotá, D.C., 9 de diciembre de 2019

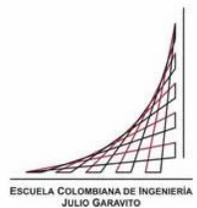


**Análisis del comportamiento de barras corrugadas de acero post-
instaladas con adhesivo epóxico en concreto ligero sometidos a
tensión y cortante**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en estructuras**

Pedro Nel Quiroga Saavedra
Director

Bogotá, D.C., 9 de diciembre de 2019



La tesis de maestría titulada “Análisis del comportamiento de barras corrugadas de acero post-instaladas con adhesivo epóxico en concreto ligero sometidos a tensión y cortante”, presentada por Carolina Viasús Arteaga, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis

Pedro Nel Quiroga Saavedra

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., 03 de febrero de 2020

Dedicatoria

A mis padres por inculcarme y darme la oportunidad de estudiar y por motivarme siempre a ser una mejor persona.

Agradecimientos

A Dios por todas las cosas lindas que cada día me regala y por permitirme culminar mis estudios.

RESUMEN

En el país y en general en el mundo, el estudio de anclajes post-instalados, se ha limitado a concretos de densidad y resistencia convencionales dejando a un lado las diferentes posibilidades que ofrece el mercado, tales como concretos livianos. Esto lleva a su vez a poca información e investigación cuantificada acerca del comportamiento estructural en concretos ligeros.

Debido a lo anterior, se planteó un programa experimental en el cual se analizó el comportamiento de barras corrugadas ancladas en concreto ligero, para esto, se construyeron 7 losas macizas de concreto, en las cuales se anclaron 39 barras corrugadas, 33 de estos anclajes fueron ensayados a tensión, mientras que las seis barras restantes se ensayaron a cortante.

Los resultados obtenidos de estos ensayos fueron comparados con las ecuaciones que determinan la resistencia teórica de los anclajes, así como la modalidad de falla esperada de los mismos ante diferentes disposiciones geométricas y de materiales. Se pudo observar que para los ensayos confinados a tensión la falla predominante se presenta en el epóxico y los ensayos a cortante presenta fallo en concreto.

Para los ensayos no confinados se concluyó que la falla predominante fue en el concreto, además se realizó la aclaración de que es necesario respetar las distancias al borde mínimas establecidas por el ACI 318s-14 Capítulo 17, ya que al no hacerlo los cálculos presentarían significativas diferencias a lo esperado.

ABSTRACT

In the country and in general in the world, the study of post-installed anchors has been limited to conventional density and resistance concrete, leaving aside the different possibilities offered by the market, such as lightweight concrete. This in turn leads to little information and quantified research about structural behavior in light concrete.

Due to the above, an experimental program was proposed in which the behavior of corrugated bars anchored in light concrete was analyzed, for this, 7 solid concrete slabs were built, in which 39 corrugated bars were anchored, 33 of these anchors were tension tested, while the remaining six bars were shear tested.

The results obtained from these tests were compared with the equations that determine the theoretical resistance of the anchors, as well as the expected failure modality of the same before different geometric and material arrangements. It was observed that for the tests confined to tension the predominant fault occurs in the epoxy and the shear tests presents a specific failure.

For the unconfined trials it was concluded that the predominant fault was in the concrete, in addition the clarification was made that it is necessary to respect the distance to the edge of the mines established by the ACI 318s-14 chapter 17, since not doing so the calculations will present significant differences to the expected.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Justificación	2
1.3	Árbol problema.....	3
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1	Objetivo general.....	4
2.2	Objetivos específicos	4
3.	MARCO TEÓRICO	5
3.1	Estado del arte.....	5
3.1.1	Anclajes posinstalados en concreto de alta resistencia.	5
3.1.2	Modos de falla en anclajes epóxicos post-instalados en concretos pobres, sometidos a ensayos de tracción directa.....	5
3.1.3	Efecto de la longitud y el diámetro de barras de acero en anclajes epóxicos, para resistir tracción en concretos de baja resistencia.	6
3.1.4	Anchorage of epoxy-coated rebar using chemical adhesives.....	6
3.1.5	Application of anchors under special concrete conditions.	7
3.1.6	Estudio y contrastación experimental de una ménsula fabricada con ángulos de acero estructural y pernos adheridos con resina epóxica, para soportar viguetas de sección rectangular en elementos de concreto endurecido.	7
3.1.7	Sílice y lodo de papel, uso de residuos industriales como agregados en un concreto ligero.	8
3.1.8	Estudio de la resistencia a tracción en anclajes estructurales posinstalados con adhesivo epóxico.....	8
3.1.9	Relación profundidad de anclaje químico en concreto vs diámetro de la varilla de acero corrugado que genera máxima resistencia a la tracción.....	9
3.2	Concreto ligero.....	10
3.3	Requerimientos generales para la resistencia de los anclajes	10
3.3.1	Requisitos de diseño para cargas de tracción	13
3.3.1.1	Resistencia del acero de un anclaje en tracción	13
3.3.1.2	Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción	13
3.3.1.3	Resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción de un anclaje preinstalado o postinstalado de expansión o con sobre perforación en su base ..	18
3.3.1.4	Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en tracción en un anclaje con cabeza	19
3.3.2	Requisitos de diseño para sollicitaciones a cortante.....	23
3.3.2.1	Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante	23

3.3.2.2 Resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante.....	24
3.3.2.3 Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje sometido a cortante.....	31
3.4 Ensayos confinados y no confinados a tracción	32
3.4.1 Ensayo confinado a tracción:.....	32
3.4.2 Ensayos no confinados a tracción	33
4. FASE EXPERIMENTAL	34
4.1 Materiales	34
4.1.1 Concreto ligero	35
4.1.2 Barras corrugadas	38
4.1.3 Adhesivo epóxico	38
4.2 Losas de concreto.....	38
4.3 Instalación de anclajes.....	40
4.4 Montaje de ensayos.....	47
4.4.1 Ensayos no confinados a tracción.	48
4.4.2 Ensayos confinados a tracción.	49
4.4.3 Ensayos a cortante.....	50
5. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TEÓRICA DE LOS ANCLAJES Y RESULTADOS DE ENSAYOS	52
5.1 Resistencia del acero en un anclaje a tracción.....	55
5.2 Resistencia al arrancamiento del concreto en un anclaje a tracción.....	65
5.3 Resistencia a la adherencia en tracción de anclajes adheridos.....	69
5.4 Modalidad teórica de falla para de anclajes a tracción	72
5.5 Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante.	74
5.6 Resultados pertenecientes a otras investigaciones.	76
5.6.1 Resultados ensayos de anclajes en concretos de alta resistencia.	76
5.6.2 Resultados ensayos de anclajes en concretos livianos.....	78
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
6.1 Coeficiente de relación experimental vs teórico	81
6.2 Ensayos confinados a tensión.....	81
6.3 Ensayos no confinados a tensión.....	84
6.4 Ensayos a cortante	86
6.5 Comparaciones.....	87
7. CONCLUSIONES	96
8. RECOMENDACIONES	97
9. BIBLIOGRAFÍA	98

10. ANEXOS.....	100
10.1 Ficha técnica Sika AnchorFix-3001	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol problema	3
Figura 2. Modos de falla para anclajes sometidos a tensión.	12
Figura 3. Modos de falla para anclajes sometidos a cortante.....	12
Figura 4. Cálculo de ANco.	15
Figura 5. Cálculo de ANc para anclajes individuales y grupos de anclajes.	16
Figura 6. Cálculo de las áreas de influencia ANao y ANa.	21
Figura 7. Cálculo de Avc.	25
Figura 8. Casos 1 y 2 para el cálculo de Avc.	26
Figura 9. Caso 3 para el cálculo de Avc.....	27
Figura 10. Cálculo de AVco.	28
Figura 11. Ensayo confinado.	33
Figura 12. Ensayo no confinado.	34
Figura 13. Prueba de resistencia del concreto.	36
Figura 14. Agregado saturado.	37
Figura 15. Losas fundidas para ensayos a tracción.	39
Figura 16. Losas fundidas para ensayos a cortante.....	40
Figura 17. Demarcación losas a tracción.	41
Figura 18. Demarcación losas a cortante.....	42
Figura 19. Perforación de agujeros para anclajes.	42
Figura 20. Limpieza manual de agujeros.	43
Figura 21. Limpieza con aire comprimido.	43
Figura 22. Sellos de cinta en los agujeros.....	44
Figura 23. Varillas después de la limpieza.	45
Figura 24. Aplicación del epóxico.	46
Figura 25. Anclajes en losas a tracción.....	47
Figura 26. Anclajes en losa a cortante.	47
Figura 27. Montaje ensayo no confinado a tracción.	49
Figura 28. Montaje ensayo confinados a tracción.	50
Figura 29. Montaje ensayo a cortante.....	51
Figura 30. Resistencia teórica a tracción del acero NTC 2289 (ASTM A-706).	56
Figura 31. Cargas de falla ensayos confinados barras 3/8".	57
Figura 32. Cargas de falla ensayos confinados barras 3/8" vs h_{ef}/d	58
Figura 33. Cargas de falla ensayos no confinados barras 3/8".	58
Figura 34. Cargas de falla ensayos no confinados barras 3/8" vs h_{ef}/d	59
Figura 35. Cargas de falla ensayos confinados barras 1/2".	59
Figura 36. Cargas de falla ensayos confinados barras 1/2" vs h_{ef}/d	60
Figura 37. Cargas de falla ensayos no confinados barras 1/2".	60
Figura 38. Cargas de falla ensayos no confinados barras 1/2" vs h_{ef}/d	61
Figura 39. Cargas de falla ensayos confinados barras 5/8".	61
Figura 40. Cargas de falla ensayos confinados barras 5/8" vs h_{ef}/d	62
Figura 41. Cargas de falla ensayos no confinados barras 5/8".	62
Figura 42. Cargas de falla ensayos no confinados barras 5/8" vs h_{ef}/d	63
Figura 43. Ensayos confinados a tracción.....	63
Figura 44. Cargas de falla ensayos confinados vs h_{ef}/d	64
Figura 45. Ensayos no confinados a tracción.....	64
Figura 46. Cargas de falla ensayos no confinados vs h_{ef}/d	65
Figura 47. Resistencia teórica al arrancamiento barras 3/8".	66

Figura 48. Resistencia teórica al arrancamiento barras 1/2".	67
Figura 49. Resistencia teórica al arrancamiento barras 5/8".	67
Figura 50. Resistencia teórica al arrancamiento.	68
Figura 51. Resistencia teórica a la adherencia barras 3/8".	70
Figura 52. Resistencia teórica a la adherencia barras 1/2".	70
Figura 53. Resistencia teórica a la adherencia barras 5/8".	71
Figura 54. Resistencia teórica a la adherencia.	71
Figura 55. Modalidad de falla teórica barras 3/8".	72
Figura 56. Modalidad de falla teórica barras 1/2".	73
Figura 57. Modalidad de falla teórica barras 5/8".	73
Figura 58. Resistencia teórica a cortante del acero ASTM A-706.	75
Figura 59. Cargas de falla a cortante.	75
Figura 60. Falla por adherencia en ensayos confinados a tensión.	82
Figura 61. Falla por adherencia en ensayos confinados a tensión.	83
Figura 62. Falla del concreto en ensayos no confinados a tensión.	85
Figura 63. Falla del concreto en ensayos no confinados a tensión.	85
Figura 64. Falla del concreto y acero en ensayos a cortante.	86
Figura 65. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos confinados a tensión.	89
Figura 66. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos no confinados a tensión.	90
Figura 67. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos a cortante.	91
Figura 68. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos confinados a tensión.	93
Figura 69. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos no confinados a tensión.	94
Figura 70. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos de cortante.	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia requerida para anclajes.	11
Tabla 2. Separación crítica de anclajes para examinar efectos de grupo.	13
Tabla 3. Esfuerzo de adherencia característico mínimo.	22
Tabla 4. Valores para 1 m ³ de concreto	36
Tabla 5. Resistencia a la compresión del concreto	37
Tabla 6. Losas y especificaciones para ensayos a tensión.	38
Tabla 7. Losas y especificaciones para ensayos a cortante.	39
Tabla 8. Ensayos no confinados a profundidad h _{ef} 5 diámetros.	48
Tabla 9. Ensayos no confinados a profundidad h _{ef} 10 diámetros.	48
Tabla 10. Ensayos confinados a profundidad h _{ef} 5 diámetros.	49
Tabla 11. Ensayos confinados a profundidad h _{ef} 10 diámetros.	50
Tabla 12. Ensayos de cortante a profundidad h _{ef} 10 diámetros de 3/8".....	51
Tabla 13. Ensayos de cortante a profundidad h _{ef} 10 diámetros de 1/2".....	51
Tabla 14. Resultados obtenidos ensayos a cortante.....	52
Tabla 15. Resultados ensayos confinados a tracción.	53
Tabla 16. Resultados ensayos no confinados a tracción.....	54
Tabla 17. Resumen resultados obtenidos en campo ensayos a tracción.	54
Tabla 18. Calculo resistencia teórica del acero en un anclaje a tracción ASTM A-706. ...	55
Tabla 19. Resultados ensayos in situ vs N _{sa}	57
Tabla 20. Cálculo resistencia teórica al arrancamiento.	66
Tabla 21. Resultados ensayos in situ vs N _{cb}	68
Tabla 22. Cálculo resistencia teórica a la adherencia.	69
Tabla 23. Resultados ensayos in situ vs N _a	72
Tabla 24. Resistencia teórica del acero a cortante.....	74
Tabla 25. Resultados ensayos in situ vs V _{sa}	76
Tabla 26. Ensayos confinados a tensión en concretos de alta resistencia.	77
Tabla 27. Ensayos no confinados a tensión en concretos de alta resistencia.	77
Tabla 28. Ensayos a cortante en concretos de alta resistencia.....	78
Tabla 29. Ensayos confinados a tensión en concreto liviano.	79
Tabla 30. Ensayos no confinados a tensión en concreto liviano.	79
Tabla 31. Ensayos a cortante en concreto liviano.	80
Tabla 32. Resultados ensayos confinados a tensión.	81
Tabla 33. Resultados ensayos no confinados a tensión.....	84
Tabla 34. Resultados ensayos a cortante.....	86
Tabla 35. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos confinados a tensión en concreto liviano.	88
Tabla 36. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos no confinados a tensión en concreto liviano.	90
Tabla 37. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos a cortante en concreto liviano.	91
Tabla 38. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos confinados a tensión.....	92
Tabla 39. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos no confinados a tensión.....	94
Tabla 40. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos de cortante.	95

NOMENCLATURA

A_{brg}	Área de apoyo de la cabeza de un perno o tornillo de anclaje, o barra corrugada con cabeza.
ACI	American Concrete Institute.
A_{Nc}	Área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo o en un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia a tracción.
A_{Nco}	Área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a tracción cuando no se encuentra limitada por la distancia al borde o el espaciamiento.
$A_{se,N}$	Área transversal efectiva del anclaje en tracción.
$A_{se,N}$	Área efectiva de la sección transversal del anclaje en tracción.
$A_{se,V}$	Área efectiva de la sección transversal del anclaje en cortante.
A_{Vc}	Área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo o de un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia al cortante.
A_{Vco}	Área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a cortante, cuando no se encuentra limitada por la influencia de una esquina, del espaciamiento, o del espesor del elemento.
$c_{a,máx}$	Máxima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto.
$c_{a,mín}$	Mínima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto.
c_{a1}	Distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en una dirección. Si se aplica cortante al anclaje, c_{a1} se mide en la dirección de la fuerza cortante aplicada.
c_{a2}	Distancia desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en dirección perpendicular a c_{a1} .
c_{ac}	Distancia crítica al borde requerida para desarrollar la resistencia básica del concreto al arrancamiento de un anclaje postinstalado en concreto no fisurado sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento.
d_a	Diámetro exterior de un anclaje o diámetro del fuste del perno con cabeza, del tornillo con cabeza, o del perno con forma de gancho.
d_a'	Valor que se sustituye por d_a cuando se emplea un anclaje sobre dimensionado.
e_h	Distancia desde la superficie interna del fuste de un perno en forma de J o de L hasta parte externa de la punta del perno en forma de J o L.
e_N'	Distancia entre la resultante de tracción en un grupo de anclajes cargados en tracción y el centroide del grupo de anclajes cargados en tracción.
e_V'	Distancia entre la carga resultante de cortante en un grupo de anclajes solicitados en cortante en la misma dirección y el centroide del grupo de anclajes cargados a cortante en la misma dirección.
f'_c	Resistencia especificada a la compresión del concreto.
f_{uta}	Resistencia especificada a la tracción del acero del anclaje.
f_{ya}	Resistencia especificada a la fluencia en el acero del anclaje.
h_a	Espesor de un elemento en el que se coloca un anclaje, medido paralelamente

	al eje del anclaje.
h_{ef}	Profundidad efectiva de embebido del anclaje.
k_c	Coeficiente para la resistencia básica al arrancamiento del concreto en tracción.
k_{cp}	Coeficiente para la resistencia al desprendimiento por cabeceo del anclaje.
l_e	Longitud de apoyo de la carga de un anclaje para cortante.
N	Número de unidades, tales como ensayos de resistencia, barras, alambres, dispositivos de anclaje para torones individuales, anclajes, o brazos de una cabeza de cortante.
N_a	Resistencia nominal a la adherencia en tracción de un anclaje
N_b	Resistencia básica al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje en concreto fisurado.
N_{ba}	Resistencia básica a la adherencia en tracción de un anclaje
N_{cb}	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje.
N_{cbg}	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un grupo de anclajes.
N_n	Resistencia nominal en tracción.
N_p	Resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje en concreto fisurado.
N_{pn}	Resistencia nominal a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje.
N_{sa}	Resistencia nominal de un solo anclaje o de un grupo de anclajes en tracción determinado por la resistencia del acero.
N_{sb}	Resistencia al desprendimiento lateral de un solo anclaje.
N_{sbg}	Resistencia al desprendimiento lateral de un grupo de anclajes.
N_{ua}	Fuerza mayorada de tracción aplicada a un anclaje o grupo de anclajes.
S	Espaciamiento medido centro a centro de unidades tales como refuerzo longitudinal, refuerzo transversal, tendones de preesfuerzo, alambres, o anclajes.
s_s	Desviación estándar de la muestra.
V_b	Resistencia básica al arrancamiento por cortante de un solo anclaje en concreto fisurado.
V_{cb}	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante de un solo anclaje.
V_{cbg}	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto al cortante de un grupo de anclajes.

V_{cp}	Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un anclaje solo.
V_{cpg}	Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un grupo de anclajes.
V_n	Resistencia nominal a cortante.
V_{sa}	Resistencia nominal a cortante de un solo anclaje o de un grupo de anclajes determinada por la resistencia del acero.
V_{ua}	Fuerza cortante mayorada aplicada a un anclaje solo o a un grupo de anclajes.
λ	Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.
ϕ	Factor de reducción de resistencia.
$\Psi_{c,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en presencia o ausencia de fisuras en el concreto.
$\Psi_{c,P}$	Factor de modificación para la resistencia a la extracción por deslizamiento con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto.
$\Psi_{c,V}$	Factor de modificación para resistencia a cortante de anclajes con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto y la presencia o ausencia de refuerzo suplementario.
$\Psi_{cp,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes postinstalados utilizados en concreto no fisurado y sin refuerzo suplementario.
$\Psi_{ec,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas.
$\Psi_{ec,V}$	Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas.
$\Psi_{ed,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en la proximidad a los bordes del elemento de concreto.
$\Psi_{ed,V}$	Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la proximidad a los bordes del elemento de concreto.
Ψ_h	Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes colocados en elementos de concreto con $h_a < 1.5c_{a1}$.

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda continua de nuevas tecnologías en materiales ha llevado a utilizar el concreto ligero el cual sin disminuir su resistencia genera un impacto económico positivo en los proyectos de construcción, al reducir la carga muerta de la estructura y por tal razón de su fundación. En Colombia actualmente el uso del concreto ligero no es muy común.

Los anclajes post instalados son utilizados con frecuencia en casos de reforzamiento estructural, para anclar equipos mecánicos en sitios donde por procedimientos constructivos no se puedan utilizar anclajes pre instalados y tienen un alto uso en sistemas no estructurales. Sin embargo, a pesar de su amplio campo de utilización actualmente no se cuenta con la suficiente información para el diseño de los mismos en concreto ligero.

En los reglamentos actuales NSR-10 y ACI-318 no se incluyen parámetros, normativas o guías de diseño en anclajes fijados con resina epóxica en concreto ligero. El ACI-318-14 en el capítulo 17 considera un parámetro independientemente del tipo de concreto liviano y en la NSR-10 no se consideran los anclajes adhesivos.

En ese contexto, la presente tesis se enfoca en la realización de ensayos que permitan predecir el comportamiento de este tipo de anclajes al estar sometidos a cargas de tensión y de cortante en concreto ligero.

1.1 Planteamiento del problema

En nuestro país, el estudio de modos de falla en anclajes post-instalados, ha sido limitado a concretos de resistencias comunes. 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. (BERMÚDEZ, y otros, 2017)

Es necesario estudiar el uso de sistemas constructivos que promuevan la reutilización de estructuras de infraestructura vial construidas en concreto, ya sean puentes, pontones, box-couvert o muros de contención. La investigación está enfocada a determinar efectos de longitudes y diámetros de acero corrugado, en sistemas de anclajes epóxicos post-instalados en concretos de bajas resistencias. (BERMÚDEZ, y otros, 2017)

Todo lo mencionado llevó a formular la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo es el comportamiento estructural de los anclajes en concreto ligero?

1.2 Justificación

Desde el punto de vista académico, el tema de investigación beneficiará a los estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería y a la comunidad en general que deseen ampliar sus conocimientos y paradigmas acerca del comportamiento estructural del anclajes post-instalados en concreto ligero, esto debido a las pocas investigaciones actuales referentes al concretos no convencionales.

1.3 Árbol problema

ARBOL DEL PROBLEMA



Figura 1. Árbol problema

Fuente: Autor

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de barras corrugadas con adhesivo epóxico post-instaladas en concreto ligero, sometidos a cargas de tensión y corte.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento estructural de barras corrugadas post-instaladas en concreto ligero, sometidas a cargas de tensión y corte, realizando ensayos de laboratorio acordes a las normativas vigentes.
- Elaborar un estado del arte en relación al comportamiento de barras corrugadas post-instalados en concreto de ligero.
- Comparar los resultados obtenidos de los ensayos con las fórmulas existentes en el reglamento colombiano NSR-10 y el código ACI 318.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Estado del arte

3.1.1 Anclajes posinstalados en concreto de alta resistencia.

La presente investigación muestra como las grandes construcciones de Colombia y el mundo, y en especial las de infraestructura vial, han fomentado el uso de concretos de alta resistencia en la construcción; del mismo modo expone como ha crecido de forma simultánea el uso de los anclajes posinstalados en todas las estructuras de concreto. La presente investigación explica un procedimiento experimental para evaluar sistemas de anclaje posinstalados, basado en ensayos a tracción utilizando probetas de concreto de alta resistencia. La evaluación de la investigación considera el análisis de los resultados de los ensayos de elementos sometidos a tracción de probetas con un sistema de anclaje para tres longitudes establecidas a continuación, 6, 9 y 12 veces el diámetro de la varilla, utilizando dos diferentes diámetros de varilla las cuales corresponde a 3/8" y 5/8", en dos disposiciones de concreto de alta resistencia, 5000Psi y 6000Psi. Con esto se busca determinar la longitud y carga efectiva del sistema. El análisis que se realiza al componente experimental es correlacionar el resultado de la carga máxima de fluencia del acero de refuerzo utilizado, el cual corresponde a $f_y=4200\text{Psi}$, con las variables presentes del sistema de anclaje posinstalado. Al final la investigación concluye que se obtuvo como resultados el porcentaje de resistencia del sistema en función de la longitud de anclaje. Del mismo modo determino la longitud efectiva que garantiza la fluencia del acero y las correlaciones entre el porcentaje de resistencia efectiva alcanzada para cada longitud de anclaje con el uso de concreto de alta resistencia. (RUDA, y otros, 2017)

3.1.2 Modos de falla en anclajes epóxicos post-instalados en concretos pobres, sometidos a ensayos de tracción directa

Esta investigación pone en evidencia a nuestro país, ya que el estudio de modos de falla en anclajes post-instalados, ha sido limitado en gran medida a concretos de resistencias comunes. A lo largo de la investigación se evidencia que el objetivo primordial es el identificar los tipos de fallas asociados a anclajes epóxicos ensayados, e interpretar las fallas en base a clasificaciones existentes. La metodología utilizada se basa principalmente en construir anclajes post-instalados en concretos pobres y someterlos en laboratorio a un ensayo de tracción directa, y de esta manera analizar los modos de falla presentados y determinar las posibles causas que causan la falla. Como resultados obtenidos se describe que ningún anclaje alcanza el límite de fluencia del acero o falla de acero. El modo de falla identificado como 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. Así mismo refleja que el modo de falla en barras No. 3 es por adherencia, tanto en la barra como en el concreto. (BERMÚDEZ, y otros, 2017)

3.1.3 Efecto de la longitud y el diámetro de barras de acero en anclajes epóxicos, para resistir tracción en concretos de baja resistencia.

La investigación está enfocada a determinar los efectos de longitudes y diámetros de acero corrugado, en sistemas de anclajes epóxicos post-instalados en concretos de bajas resistencias. El estudio se perpetró elaborando sistemas epóxicos en probetas de concreto de baja resistencia, que luego son ensayadas a tracción directa. Como resultados de la investigación se obtuvieron datos de resistencia a la tracción máxima alcanzada por cada anclaje del sistema epóxico antes de la falla y la carga de rotura o de falla. Una primera configuración de probetas de concreto con una resistencia a la compresión $f'c = 14.0$ MPa y acero corrugado de 9.5 mm, profundidades de anclaje de 90 mm, 105 mm y 120 mm, se observa que la carga de falla aumenta proporcionalmente al aumento de la profundidad del anclaje. La profundidad de mejor comportamiento es la de 120 mm. Una segunda configuración de probetas de concreto con resistencia a la compresión $f'c = 14.0$ MPa y acero corrugado de 12.7 mm, profundidades de anclaje de 120 mm, 140 mm y 160 mm se evidencia que la carga de falla más alta se obtiene en el anclaje con una profundidad de 140 mm, este no presenta un comportamiento lineal similar al encontrado en anclajes construidos con acero de diámetro 9.5 mm. (BERMÚDEZ, y otros, 2017)

3.1.4 Anchorage of epoxy-coated rebar using chemical adhesives

El objetivo fundamental de esta investigación fue determinar el efecto del recubrimiento epóxico sobre la resistencia a la extracción de las barras de armadura post-instaladas con adhesivo químico. Esta investigación examinó los efectos del recubrimiento epóxico sobre la resistencia a la extracción y las comparó con los resultados de las barras de refuerzo recubiertas con epóxico y sin recubrimiento, para esto se construyeron dos losas. Una losa tenía una barra post-instalada de refuerzo recubierta con epóxico usando cuatro productos químicos adhesivos diferentes, mientras la otra contenía una barra post-instalada de refuerzo no recubierta usando los mismos cuatro productos químicos adhesivos que se usaron en la primera losa. Los resultados concluyeron que el recubrimiento epóxico redujo ligeramente la resistencia a la tracción de la barra de refuerzo instalada posteriormente. La relación entre la resistencia a la extracción por tracción de las barras de refuerzo recubiertas con epóxico y la resistencia a la extracción por tracción de las barras de refuerzo sin recubrimiento varía de 0,94 a 1,05 y varía según el fabricante del adhesivo químico. A partir de esto se realizaron recomendaciones para incluir un factor de modificación al calcular la resistencia de la unión para las barras de refuerzo

recubiertas del epóxico después de la instalación, usando adhesivos químicos con el fin de aumentar el esfuerzo de unión no fisurado τ_{unfr} . (DYMOND, y otros, 2019)

3.1.5 Application of anchors under special concrete conditions.

Esta investigación comprende como la expansión y los anclajes adheridos responden de diferentes maneras en caso de contener un compuesto especial o del aumento de la temperatura. La resistencia de un anclaje está influenciada no solamente por la fuerza o resistencia del concreto, sino también por su composición. El comportamiento de la expansión de los anclajes adheridos es diferente en concreto de peso normal y en concreto de agregado liviano. Se estudiaron cinco diferentes mezclas de hormigón. Las resistencias a la compresión del concreto normal y una de las mezclas de concreto de agregado liviano fueron las mismas, a pesar de esto y a través de diferentes mezclas y experimentos la aplicación de concreto de agregado liviano disminuye la fuerza de conexión entre el anclaje y el hormigón en comparación con el concreto de peso normal. Del mismo modo se concluyó que cuanto menor es la capacidad de carga de extracción en la misma clase de resistencia del hormigón. Por último, se concluye que el modo de falla depende en todos los casos de la resistencia del concreto y de la temperatura previa máxima. (NEMES, y otros, 2010)

3.1.6 Estudio y contrastación experimental de una ménsula fabricada con ángulos de acero estructural y pernos adheridos con resina epóxica, para soportar viguetas de sección rectangular en elementos de concreto endurecido.

Esta investigación, presenta el estudio y contrastación experimental de una ménsula metálica propuesta, la cual está constituida con ángulos de acero estructural soldados y apoyados en varillas roscadas que se fijan con resina epóxica en un elemento de concreto endurecido, para apoyar viguetas de sección rectangular. En el desarrollo de la tesis se presenta un completo análisis y evaluación de la ménsula, iniciando con el marco de la normatividad vigente para establecer los parámetros de su dimensionamiento y cálculo de resistencia, estableciendo posteriormente una metodología para la evaluación de las fuerzas presentes en sus miembros y el planteamiento de hipótesis de falla. Luego se muestra paso a paso el proceso de fabricación e instalación de la ménsula propuesta y posteriormente se realizan ensayos hasta un estado de falla para comprobar las hipótesis planteadas. Como conclusiones se obtiene que la falla por desprendimiento total del cono de concreto no se presenta para ninguno de los casos y en su lugar se presentan daños que consisten en fisuras y desprendimientos superficiales o profundos en el concreto, la resistencia del concreto de anclaje, es un parámetro que cobra importancia para valores de carga cercanos a la falla, sin embargo, para el uso de la ménsula con valores de carga de servicio bastante alejados de la falla, dicho parámetro no presenta incidencia ni en los desplazamientos, ni en la estabilidad de la ménsula así como

cuando se emplean pernos de acero de alta resistencia ($F_y=820$ MPa, $F_u=930$ MPa), se obtienen valores de carga máxima real inferiores a los calculados, como consecuencia de la limitación que presenta el concreto y los daños registrados que conllevan a fallas combinadas, las cuales no se predicen teóricamente. (CORTES, 2011)

3.1.7 Sílice y lodo de papel, uso de residuos industriales como agregados en un concreto ligero.

En el presente documento se muestran los resultados de un estudio, en el cual se utilizan dos desechos de origen industrial generados en Mexicali, Baja California, los cuales se incorporan a un concreto ligero, en donde uno de ellos presenta propiedades aglomerantes, el otro baja conductividad térmica. Estos desechos son la sílice y lodo de papel. Para la resistencia mecánica a compresión se elaboró una dosificación de cemento, cal, sílice y lodo de papel en una mezcladora para mortero, fabricando especímenes de $0.14 \times 0.14 \times 0.28$ m., sometiéndolos a compresión en estado húmedo a los 28 días. Para la evaluación térmica se elaboraron especímenes cilíndricos según norma ASTM C192, en cuyo eje longitudinal se proporciona energía a través de una resistencia eléctrica, método utilizado por Gallegos. Las propiedades termo físicas del material son: masa volumétrica de 855 Kg/m^3 , resistencia a compresión de 34 Kg/cm^2 , conductividad térmica de $0.383 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, calor específico de $1573 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$, difusividad térmica de $1.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, considerando un espesor de 0.15 m se tiene: tiempo de retraso térmico de 6 horas con 28 minutos, amortiguamiento térmico del 18 %, y resistencia térmica de $0.395 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$. La mezcla ofrece reducción de costos por: utilización de desechos industriales como agregados, en cimentación por su baja masa volumétrica y consumo energético por climatización artificial. Se concluye que Debido a la reacción puzolánica que presenta la sílice se tiene un agregado con propiedades cementantes, mientras que con el lodo de papel se mejora el comportamiento térmico de la mezcla, así como que los valores obtenidos en la evaluación térmica muestran la ventaja en cuanto a propiedades térmicas, para la aplicación de este material en climas cálidos seco. (BOJÓRQUEZ, y otros, 2000)

3.1.8 Estudio de la resistencia a tracción en anclajes estructurales posinstalados con adhesivo epóxico.

Investigaciones realizadas en anclajes estructurales posinstalados, han evidenciado un vínculo entre la longitud de embebido y el diámetro de perforación con la resistencia máxima a tracción. El presente artículo, presenta el resultado de una investigación financiada por la dirección de investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, analiza este vínculo a partir de la variación de la resistencia y el tipo de falla en prototipos de anclaje estructural con variaciones en la longitud de embebido y diámetro de perforación, en concreto de resistencia a la compresión 28 MPa , adhesivo epóxico, barra de

refuerzo, 15 unidades de grafil de diámetro 0,007 m, y 15 unidades de acero corrugado de diámetro 0,0095 m, para un total de 30 sistemas solicitados a tracción directa en la máquina universal. Los resultados mostraron que la resistencia a tracción y el tipo de falla están en función de la longitud de embebido y la estructura corrugada de la barra de refuerzo anclada. Se concluye que la longitud de embebido ha sido una variable ampliamente estudiada en los anclajes estructurales posinstalados dada su incidencia en su comportamiento mecánico, y tal como se comprobó en esta investigación, esta variable es más determinante en el desempeño del anclaje que el diámetro de perforación. También dados los resultados en los anclajes estructurales posinstalados con grafites, se estableció la hipótesis de que la estructura de la corruga en este tipo de refuerzo no permite desarrollar suficiente adherencia en la interfaz refuerzo–adhesivo–concreto, razón por la cual la falla primaria de estos anclajes fue de tipo arrancamiento y su resistencia máxima no alcanza a desarrollar la fluencia de la barra. Es pertinente continuar investigando los anclajes estructurales posinstalados con adhesivo epóxico, específicamente anclajes con barra de refuerzo de tipo grafil. Por otra parte, se estableció que, en los ensayos con barras de acero corrugado con anclajes en los que se usó longitud de embebido de cinco veces el diámetro de la barra, la resistencia efectiva a tracción desarrolla hasta un 56 % de la carga máxima de fluencia del acero de refuerzo, por lo cual, esta longitud de embebido se descarta y no se recomienda su implementación. Se evidencia que los resultados de las cargas máximas de los sistemas de anclaje con acero corrugado evidencian que, al usar una longitud de embebido de 10 veces el diámetro de la barra, se puede desarrollar la fluencia del acero de refuerzo. La falla primaria obtenida para esta longitud de embebido se caracteriza por la rotura del concreto. Por último, al aumentar la longitud de embebido a 15 veces el diámetro de la barra se alcanza a desarrollar hasta un 130 % de la fluencia del acero, llegando incluso a la rotura de la barra. La falla primaria obtenida para esta longitud de embebido es de tipo dúctil, dado que el acero controla en su totalidad la capacidad del anclaje, excluyendo así las fallas en el concreto. Por lo anterior, esta longitud de embebido es la que se recomienda para la implementación de anclajes posinstalados. (PAÉZ, y otros, 2018)

3.1.9 Relación profundidad de anclaje químico en concreto vs diámetro de la varilla de acero corrugado que genera máxima resistencia a la tracción.

Este trabajo de investigación se enfocó en determinar la carga máxima que soporta el anclaje, para lo cual se desarrollaron programas de pruebas, para tener un mejor entendimiento acerca de los anclajes químicos entre el concreto y la varilla de acero corrugada anclada a diferentes profundidades, usando como puente de adherencia el aditivo epóxico Sikadur 32 Gel; y sus efectos cuando éstas son sometidas a la fuerza de tracción. Las pruebas se hicieron para diámetros de varilla corrugada de 6, 8 y 9.5 mm. La profundidad de anclaje para la varilla de 6 mm, fue de 10, 15 y 20 veces el diámetro de la varilla. Para la varilla de 8 mm fue de 10, 15 y 20 veces el diámetro de la varilla. Para la varilla de 9.5 mm, fue de 10, 15, 18 veces el diámetro de la varilla. El concreto se

estandarizó para todas las probetas, con un $f'c$ de 210 kg/cm². Después de someter las probetas a fuerza de tracción en la máquina universal de ensayos, se obtuvieron los resultados siguientes: los promedios para varilla de 6 mm anclada a 60 mm la carga máxima fue de 18.50 KN; anclada a 90 mm la carga máxima fue de 19.11 KN; anclada a 120 mm la carga máxima fue de 17.76 KN, los promedios para la varilla de 8 mm anclada a 80 mm la carga máxima fue de 32.33 KN; anclada a 120 mm la carga máxima fue de 33.55 KN; anclada a 160 mm la carga máxima fue 33.77 KN, los promedios para la varilla de 9.5 mm anclada a 95 mm la carga máxima fue de 41.36 KN; anclada a 140 mm la carga máxima fue de 48.09 KN; anclada a 180 mm la carga máxima fue de 47.36 KN. Se determinó, que a mayor diámetro de varilla y mayor profundidad de anclaje la resistencia máxima a tracción aumenta considerablemente. Estos resultados proporcionan ciertos parámetros en cuanto la profundidad mínima a la que se deben anclar las varillas, para obtener una mayor respuesta ante la sollicitación al esfuerzo de tracción. (OJEDA, y otros, 2017)

3.2 Concreto ligero

El concreto ligero estructural se diferencia del tradicional por su masa específica, por tener una densidad menor y su alta capacidad en aislación térmica.

El concreto ligero puede producirse con agregados finos y/o gruesos ligeros, agregando gases (polvo de aluminio), con agregados naturales de baja densidad (piedra pómez, pizarra), con agregados artificiales (poliuretano, espuma de poliestireno expandido) o con arcilla expandida obtenida mediante un proceso industrial de expansión y sinterización de arcillas naturales, que debe cumplir con lo especificado en la NTC 4045 (ASTM C3300).

Algunas de las ventajas del uso del concreto ligero son las siguientes:

- Reducir cargas muertas en las estructuras
- Al disminuir la densidad respecto al concreto tradicional, es posible disminuir la cantidad del acero de refuerzo y el tamaño de los elementos estructurales al realizar el diseño estructural.
- Disminuir costos de transporte en elementos prefabricados.
- Mejora propiedades acústicas.
- Resistencia al fuego

3.3 Requerimientos generales para la resistencia de los anclajes

La resistencia de diseño de anclajes debe fundamentarse en cálculos que empleen modelos de diseño que satisfagan los requisitos de los reglamentos existentes, o tomando como referencia los resultados de ensayos, utilizando un percentil del 5 por

ciento de los resultados de ensayos representativos para las diferentes modalidades de falla, el cual se resume en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resistencia requerida para anclajes.

Fuente: Autor

Modo de falla	Un anclaje	Grupos de anclajes	
		Anclaje individual en un grupo	Anclajes como grupo
Resistencia del acero en tracción.	$\phi N_{sa} \geq N_{ua}$	$\phi N_{sa} \geq N_{ua,i}$	
Resistencia al arrancamiento del concreto en tracción.	$\phi N_{cb} \geq N_{ua}$		$\phi N_{cbg} \geq N_{ua,g}$
Resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción.	$\phi N_{pn} \geq N_{ua}$	$\phi N_{pn} \geq N_{ua,i}$	
Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en tracción	$\phi N_{sb} \geq N_{ua}$		$\phi N_{sbg} \geq N_{ua,g}$
Resistencia de adherencia de anclaje adherido en tracción.	$\phi N_a \geq N_{ua}$		$\phi N_{ag} \geq N_{ua,g}$
Resistencia del acero en cortante.	$\phi V_{sa} \geq N_{ua}$	$\phi V_{sa} \geq V_{ua,i}$	
Resistencia al arrancamiento del concreto por cortante.	$\phi V_{cb} \geq N_{ua}$		$\phi V_{cbg} \geq V_{ua,g}$
Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje por cortante.	$\phi V_{cp} \geq N_{ua}$		$\phi V_{cpg} \geq V_{ua,g}$

Nota. Tomado del American Concrete Institute. Copright 2015 por la compañía IHS. Reprinted with permission.

A continuación, en la figura 2 y 3 se muestran los módulos de falla por tensión y cortante respectivamente.

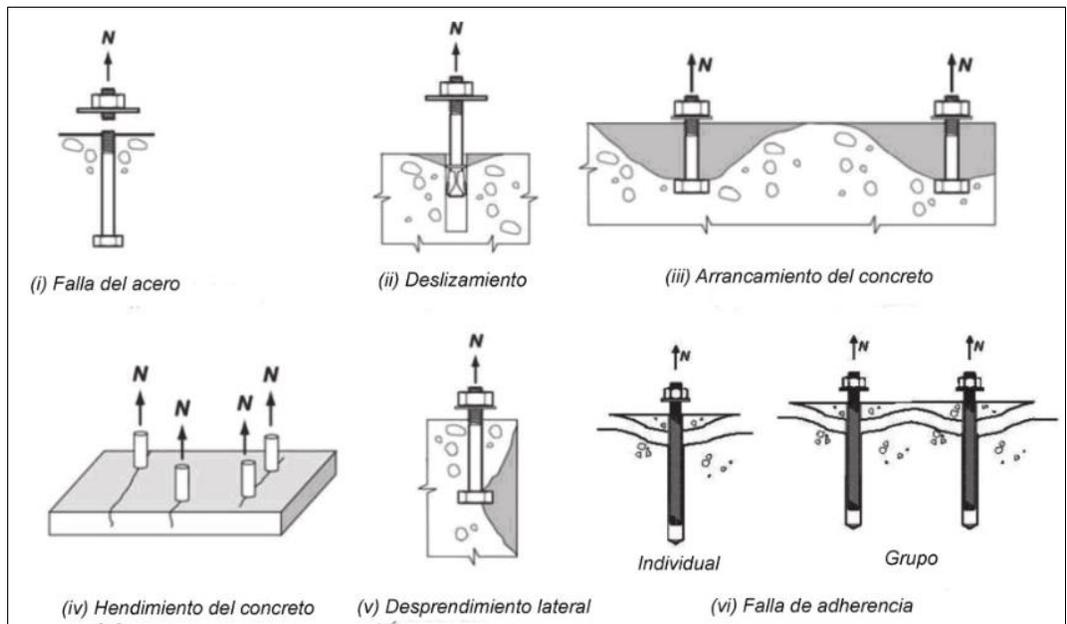


Figura 2. Modos de falla para anclajes sometidos a tensión.

Fuente: ACI. (2015). Modos de falla para anclajes sometidos a tensión. Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

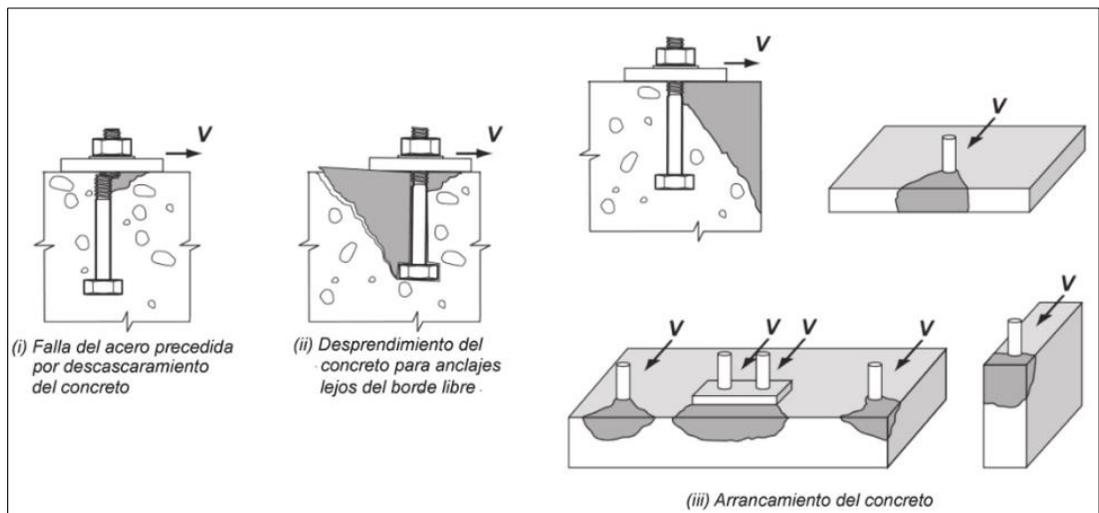


Figura 3. Modos de falla para anclajes sometidos a cortante.

Fuente: ACI. (2015). Modos de falla para anclajes sometidos a cortante. Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

Según lo indica la norma (ACI 318S-14 Capítulo 17) los efectos de grupo en los anclajes deben tenerse en cuenta siempre que dos o más anclajes tengan

separaciones menores que las separaciones críticas expresadas a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Separación crítica de anclajes para examinar efectos de grupo.

Modo de falla que se estudia	Separación crítica
Arrancamiento de concreto en tracción.	$3h_{ef}$
Resistencia de adherencia en tracción.	$2c_{Na}$
Arrancamiento de concreto en corte.	$3c_{a1}$

Nota. Tomado del American Concrete Institute. Copright 2015 por la compañía IHS. Reprinted with permission.

3.3.1 Requisitos de diseño para cargas de tracción

3.3.1.1 Resistencia del acero de un anclaje en tracción

La resistencia nominal de un anclaje en tracción controlada por el acero, N_{sa} , debe ser evaluada a través de cálculos basados en las propiedades del material del anclaje, así como las dimensiones físicas del anclaje.

El reglamento indica que la resistencia nominal de un solo anclaje en tracción, N_{sa} , no debe exceder la siguiente expresión (ACI, 2015):

$$N_{sa} = A_{se,N} f_{uta}$$

Donde:

$A_{se,N}$: Área transversal efectiva de un anclaje en tracción, mm²

f_{uta} : No debe ser mayor que el menor de $1.9f_{ya}$ ó 860 MPa.

3.3.1.2 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción

La resistencia nominal de arrancamiento del concreto en tracción, N_{cb} de un anclaje individual o N_{cbg} de un grupo de anclajes en tracción no debe exceder las siguientes expresiones las cuales dependen de si son uno o un grupo de anclajes (ACI, 2015):

Un solo anclaje:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b$$

Grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ec,N} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b$$

Donde:

A_{Nc} : Área proyectada de la superficie de falla para un solo anclaje o grupo de anclajes, esta debe ser aproximada a la base de la figura geométrica rectilínea que resulta de proyectar la superficie de falla hacia fuera en **$1.5h_{ef}$** a partir de la línea del eje del anclaje o, en el caso de un grupo de anclajes, desde una línea a través de una fila de anclajes adyacentes.

A_{Nc} : No debe exceder a **nA_{Nco}**

n : Número de anclajes que resisten tracción en el grupo.

A_{Nco} : Es el área proyectada de la superficie de falla de un solo anclaje con una distancia del borde igual o mayor a **$1.5h_{ef}$** .

A continuación, en las figuras 4 y 5 se mostrará de manera gráfica como calcular **A_{Nco}** y **A_{Nc}** respectivamente.

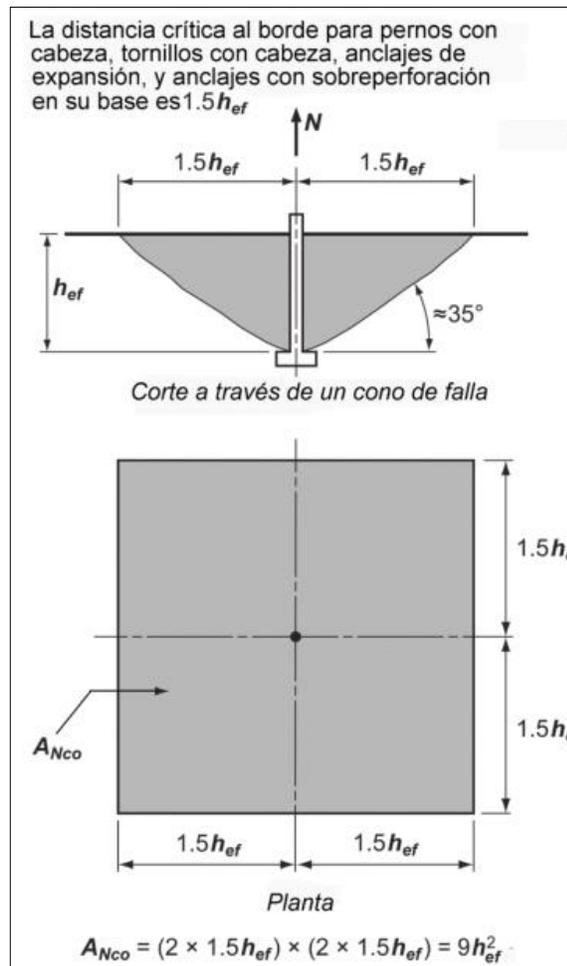


Figura 4. Cálculo de A_{Nco} .

Fuente: ACI. (2015). Cálculo de A_{Nco} . Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

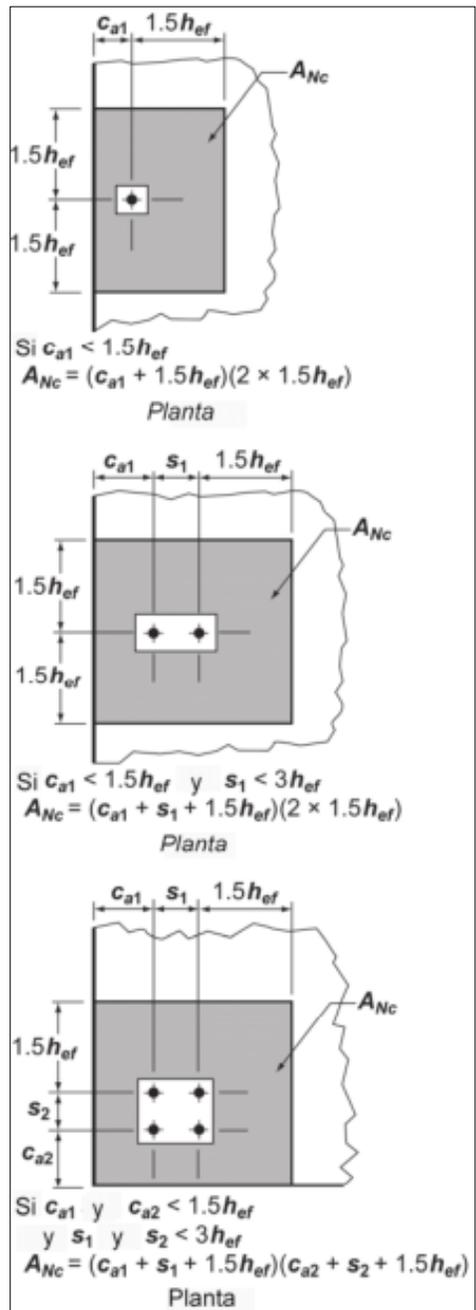


Figura 5. Cálculo de A_{Nc} para anclajes individuales y grupos de anclajes.

Fuente: ACI. (2015). Cálculo de A_{Nc} . Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

La resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción embebido en concreto fisurado, N_b , no debe exceder la siguiente expresión (ACI, 2015):

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$$

Donde:

$k_c = 10$ para anclajes preinstalados

$k_c = 7$ para anclajes postinstalados.

Donde:

Los anclajes se ubican a menos de $1.5h_{ef}$ de tres o más bordes, el valor de h_{ef} usado en el cálculo de A_{Nc} debe ser el mayor entre $c_{a,max}/1.5$ y $s/3$ donde s es el espaciamiento máximo entre anclajes dentro del grupo. (ACI, 2015) El factor de modificación para grupos de anclajes sometidos a cargas excéntricas de tracción, $\Psi_{ec,N}$, debe calcularse por medio de la siguiente expresión (ACI, 2015):

$$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1.0$$

El factor de modificación de efectos de borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tracción, $\Psi_{ed,N}$, se calcula con las siguientes expresiones (ACI, 2015):

$$\Psi_{ed,N} = 1.0 \quad \text{si } c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$$

$$\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}} \quad \text{si } c_{a,min} < 1.5h_{ef}$$

Cuando los anclajes están ubicados en una región de un elemento de concreto, donde el estudio señala que no hay fisuración para el nivel de cargas de servicio, se permite utilizar el siguiente factor de modificación (ACI, 2015):

$\Psi_{c,N} = 1.25$ para anclajes preinstalados

$\Psi_{c,N} = 1.40$ para anclajes postinstalados y con $k_c = 17$.

El factor de modificación para anclajes postinstalados diseñados para concreto no fisurado sin refuerzo adicional para controlar el hendimiento, $\Psi_{cp,N}$ debe calcularse utilizando la distancia crítica c_{ac} (ACI, 2015):

$$\Psi_{cp,N} = 1.0 \quad \text{si } c_{a,\text{mín}} \geq c_{ac}$$

$$\Psi_{cp,N} = \frac{c_{a,\text{mín}}}{c_{ac}} \leq 1.5h_{ef}/c_{ac} \quad \text{si } c_{a,\text{mín}} < c_{ac}$$

El reglamento indica que, para todos los demás casos, incluyendo los anclajes preinstalados, $\Psi_{cp,N}$ debe tomarse como 1.0.

3.3.1.3 Resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción de un anclaje preinstalado o postinstalado de expansión o con sobre perforación en su base

La resistencia nominal a la extracción por deslizamiento en tracción de un anclaje preinstalado o postinstalado de expansión o con sobre perforación en su base, N_{pn} , no debe exceder el siguiente criterio (ACI, 2015):

$$N_{pn} = \Psi_{c,P} N_p$$

Para los anclajes de expansión postinstalados y anclajes con sobre perforación en su base los valores de N_p , deben basarse en los resultados con un percentil del 5 por ciento de ensayos realizados y evaluados de acuerdo con el ACI 355.2. Es importante aclarar que no se permite determinar la resistencia a la extracción por deslizamiento para esos anclajes por cálculo (ACI, 2015).

La resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción de un perno o tornillo con cabeza individual, N_p , no debe exceder la siguiente condición (ACI, 2015):

$$N_p = 8A_{brg}f'_c$$

La resistencia a la extracción por deslizamiento a tracción de un tornillo individual con gancho, N_p , no debe exceder (ACI, 2015):

$$N_p = 0.9f'_c e_h d_a$$

Donde: $3d_a \leq e_h \leq 4.5d_a$.

La condición dada para un anclaje ubicado en una región de un elemento de concreto, donde el análisis indica que no existen fisuras para niveles de carga de servicio, es factible utilizar el siguiente factor de modificación $\Psi_{c,p} = 1.4$. Cuando el análisis indica fisuración al nivel de cargas de servicio, $\Psi_{c,p} = 1.0$. (ACI, 2015)

3.3.1.4 Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en tracción en un anclaje con cabeza

Para un anclaje individual con cabeza que se encuentra con un embebido profundo cercano a un borde ($h_{ef} > 2.5c_{a1}$), la resistencia nominal al desprendimiento lateral, N_{sb} , no debe exceder la siguiente expresión (ACI, 2015):

$$N_{sb} = 13c_{a1} \sqrt{A_{brg} \lambda_a} \sqrt{f'_c}$$

Es importante tener en cuenta que si c_{a2} para el anclaje con cabeza individual es menor que $3c_{a1}$ el valor de N_{sb} debe multiplicarse por el factor $\frac{(1+c_{a2}/c_{a1})}{4}$ donde $1.0 \leq c_{a2}/c_{a1} \leq 3.0$ para que satisfaga la condición (ACI, 2015).

Para un grupo de anclajes con cabeza que presenten embebido profundo localizados cerca de un borde ($h_{ef} > 2.5c_{a1}$) y con un espaciamiento entre los anclajes menores que $6c_{a1}$, la resistencia nominal de esos anclajes susceptibles a una falla por desprendimiento lateral del concreto N_{sbg} no debe exceder (ACI, 2015):

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb}$$

Donde:

S: Distancia entre los anclajes exteriores medida a lo largo del borde.

N_{sb} : Este se obtiene sin modificaciones debido a la distancia perpendicular al borde.

Resistencia a la adherencia en tracción de anclajes adheridos

La resistencia nominal en tracción por adherencia, N_a de un anclaje individual o N_{ag} de un grupo de anclajes adheridos, no debe exceder (ACI, 2015):

Un anclaje adherido individual:

$$N_a = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \Psi_{ed,Na} \Psi_{cp,Na} N_{ba}$$

Un grupo de anclajes adheridos:

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \Psi_{ec,Na} \Psi_{ed,Na} \Psi_{cp,Na} N_{ba}$$

Donde:

A_{Na} : Área de influencia proyectada de un anclaje adherido individual o de un grupo de anclajes, este debe aproximarse como un área compuesta de elementos rectos que se proyecta hacia afuera una distancia c_{Na} . Esta medida se toma desde el eje que pasa por el centro del anclaje adherido, o en el caso de un grupo de anclajes desde una línea que une los centros de una fila de anclajes adyacentes. A_{Na} no debe exceder nA_{Na0} , donde n es el número de anclajes adheridos en el grupo que resiste fuerzas de tracción.

A_{Na0} : Área de influencia proyectada de un anclaje adherido individual con una distancia al borde igual o mayor que c_{Na} .

Donde:

$$c_{Na} = 10d_a \sqrt{\frac{\tau_{uncr}}{7.6}}$$

A continuación, en la figura 6 se muestra de una manera gráfica el cálculo de áreas A_{Na} y A_{Na0} .

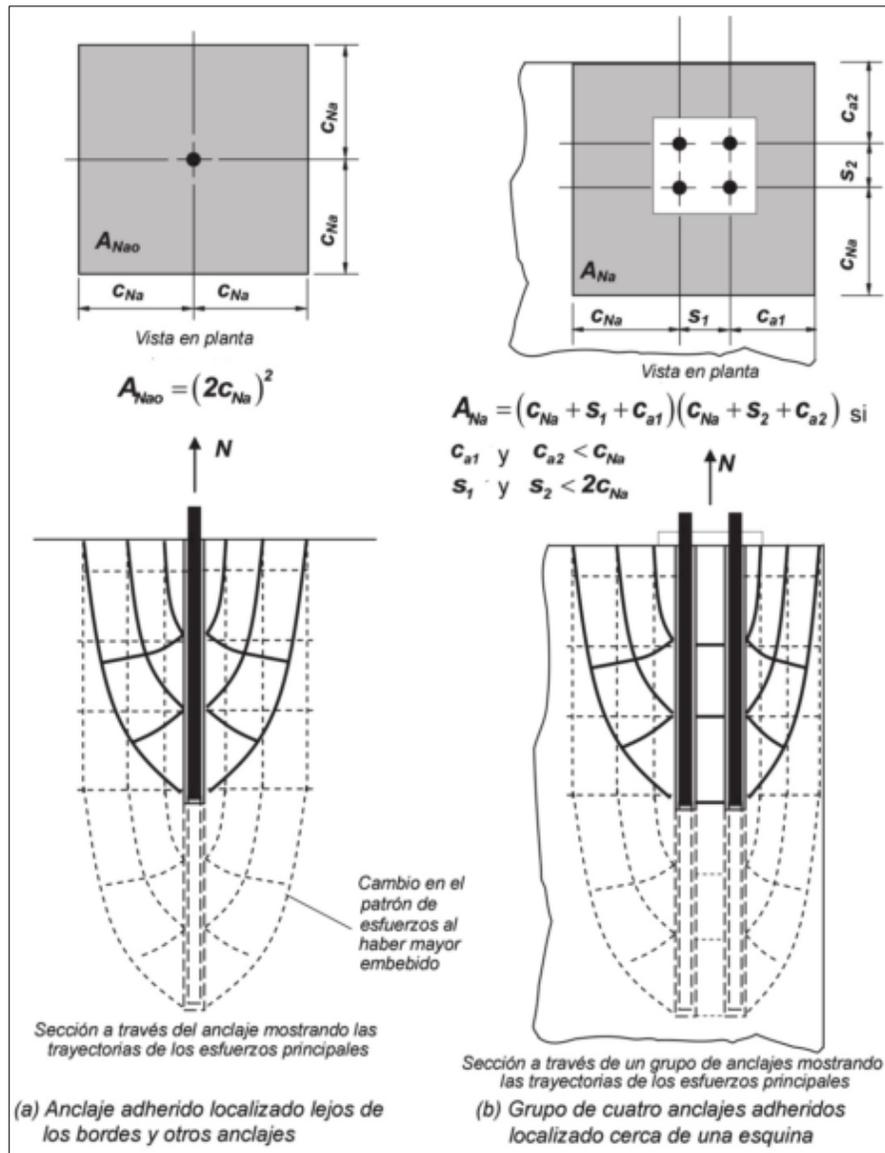


Figura 6. Cálculo de las áreas de influencia A_{Nao} y A_{Na} .

Fuente: ACI. (2015). Cálculo de áreas A_{Nao} y A_{Na} . Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

La reglamentación nos indica que la resistencia básica de adherencia en tracción para un anclaje individual en concreto fisurado, N_{ba} , no debe exceder la siguiente condición (ACI, 2015):

$$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi d_a h_{ef}$$

Es muy importante tener en cuenta el esfuerzo característico de adherencia, τ_{cr} , este debe tomarse como el percentil del 5 por ciento de los resultados de ensayos realizados y evaluados según la ACI 355.4. Cuando el análisis indique que el concreto estará fisurado al nivel de cargas de servicio, los anclajes adheridos deben calificarse para uso en concreto fisurado según la ACI 355.4. Para anclajes adheridos localizados en regiones de un elemento de concreto donde el análisis indique que no se presenta fisuración al nivel de cargas de servicio, se permite utilizar τ_{un-cr} en vez de τ_{cr} y debe tomarse como el percentil de 5 por ciento de los resultados de ensayos realizados y evaluados de acuerdo con la ACI 355.4. Se permite utilizar el valor mínimo del esfuerzo de adherencia característico mostrado en la tabla 3, siempre y cuando se cumpla con la totalidad de los requisitos que a continuación se muestran:

- a) Los anclajes cumplen los requisitos de ACI 355.4.
- b) Los anclajes se instalan en perforaciones taladradas con un taladro rotatorio de impacto o un taladro para roscas.
- c) El concreto en el momento de la instalación del anclaje tiene una resistencia mínima de 17 MPa.
- d) El concreto en el momento de la instalación del anclaje tiene al menos 21 días de edad.
- e) La temperatura del concreto en el momento de la instalación del anclaje es al menos 10°C.

Tabla 3. Esfuerzo de adherencia característico mínimo.

Fuente: ACI. (2015). Esfuerzos de adherencias características mínimas. Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

Ambiente de instalación y servicio	Contenido de humedad del concreto en el momento de la instalación del anclaje	Temperatura pico del concreto en servicio, °C	τ_{cr} , MPa	τ_{un-cr} , MPa
Exterior	Seco a totalmente saturado	79	1.4	4.5
Interior	Seco	43	2.1	7.0

El factor de modificación para grupos de anclajes adheridos cargados excéntricamente en tracción, $\Psi_{ec,Na}$, debe calcularse por medio de la siguiente ecuación (ACI, 2015):

$$\Psi_{ec,Na} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e'_N}{c_{Na}}\right)} \leq 1.0$$

Ahora si la condición de carga en un grupo de anclajes adheridos es tal que solo una parte de los anclajes adheridos trabaja bajo tracción, solo los anclajes que están en tracción deben considerarse para determinar la excentricidad e'_N y para los cálculos de N_{ag} . (ACI, 2015)

El factor de modificación que se utiliza para efectos de borde en anclajes adheridos individuales en tracción o grupos de anclajes adheridos en tracción, $\Psi_{ec,Na}$, debe calcularse de la siguiente manera (ACI, 2015):

$$\Psi_{ed,Na} = 1.0 \quad \text{si } c_{a,\text{mín}} \geq c_{Na}$$

$$\Psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,\text{mín}}}{c_{Na}} \quad \text{si } c_{a,\text{mín}} < c_{Na}$$

El factor de modificación para anclajes adheridos diseñados para concreto no fisurado y sin refuerzo adicional para controlar el hendimiento, $\Psi_{cp,Na}$, debe calcularse con la siguiente formula (ACI, 2015):

$$\Psi_{cp,Na} = 1.0 \quad \text{si } c_{a,\text{mín}} \geq c_{ac}$$

$$\Psi_{cp,Na} = \frac{c_{a,\text{mín}}}{c_{ac}} \geq \frac{c_{Na}}{c_{ac}} \quad \text{si } c_{a,\text{mín}} < c_{ac}$$

3.3.2 Requisitos de diseño para solicitaciones a cortante

3.3.2.1 Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante

La resistencia nominal de un anclaje a cortante cuando está controlada por el acero, V_{sa} , debe ser evaluada por un cálculo con base en las propiedades del material y las dimensiones físicas del anclaje. Cuando la resistencia al arrancamiento del concreto es uno de los modos más probables de falla, la resistencia requerida del acero en cortante debe ser consistente con la superficie de falla de arrancamiento asumida. (ACI, 2015)

La resistencia nominal de un anclaje en cortante, V_{sa} , no debe exceder las siguientes condiciones (ACI, 2015):

- a) Pernos con cabeza preinstalados

$$V_{sa} = A_{se,v} f_{uta}$$

Donde:

$A_{se,v}$: Área transversal efectiva de un anclaje individual a cortante (mm²)

f_{uta} : No debe tomarse mayor que el menor entre $1.9f_{ya}$ y 860 MPa.

- b) Anclajes preinstalados de tornillo con cabeza o con gancho y anclajes postinstalados donde las camisas no se extienden a través del plano de cortante

$$V_{sa} = 0.6A_{se,v} f_{uta}$$

Donde:

$A_{se,v}$: Área transversal efectiva del anclaje a cortante (mm²)

f_{uta} : No debe tomarse mayor que el menor entre $1.9f_{ya}$ y 860 MPa.

- c) Anclajes postinstalados donde las camisas se extienden a través del plano de cortante, V_{sa} debe basarse en los resultados de los ensayos realizados y evaluados de acuerdo con el ACI 355.2. De manera alternativa, se puede usar la ecuación anterior.

3.3.2.2 Resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante

La resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante, V_{cb} en un anclaje individual o V_{cbg} de un grupo de anclajes no debe exceder las siguientes condiciones (ACI, 2015):

- a) Para una fuerza cortante perpendicular al borde sobre un anclaje individual:

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \Psi_{ed,v} \Psi_{c,v} \Psi_{h,v} V_b$$

- b) Para una fuerza cortante perpendicular al borde sobre un grupo de anclajes:

$$V_{cbg} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \Psi_{ec,v} \Psi_{ed,v} \Psi_{c,v} \Psi_{h,v} V_b$$

- c) Para una fuerza cortante paralela a un borde, se admite que V_{cb} o V_{cbg} sea el doble del valor de la fuerza cortante determinada por las ecuaciones anteriores, presumiendo que la fuerza cortante actúa perpendicular al borde con $\Psi_{ed,V}$ tomado igual a la unidad.
- d) Para anclajes ubicados en una esquina, la resistencia nominal límite al arrancamiento del concreto debe ser determinada para cada borde, y debe usarse el valor mínimo.

V_b corresponde al valor de la resistencia básica al arrancamiento del concreto por cortante para un solo anclaje. A_{Vc} es el área proyectada de la superficie de falla sobre un lado del elemento de concreto en su borde, para un anclaje individual o para un grupo de anclajes. Es posible evaluar A_{Vc} como la base de medio tronco de pirámide proyectada a la carga lateral del elemento donde la parte superior de la media pirámide está definida por el eje de la fila de anclajes elegida como crítica. El valor de c_{a1} debe tomarse como la distancia desde el borde hasta dicho eje. A_{Vc} no debe exceder nA_{Vco} , donde n es el número de anclajes del grupo. Es importante respetar todas las condiciones anteriormente mencionadas. (ACI, 2015).

En las figuras 7,8 y 9 se muestran gráficamente el cálculo de A_{Vc} con sus posibles casos y consideraciones.

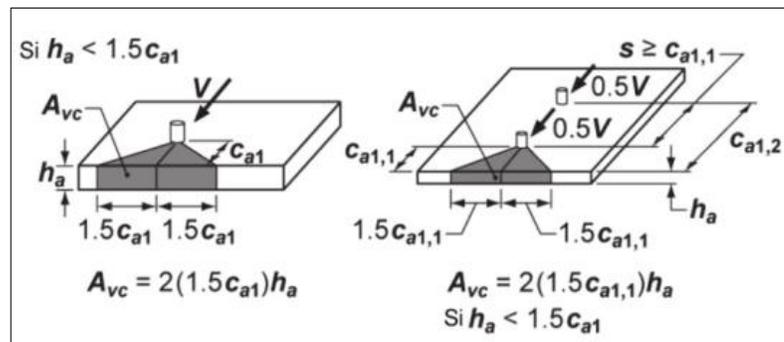


Figura 7. Cálculo de A_{Vc} .

Fuente: ACI. (2015). Cálculo de área A_{Vc} . Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

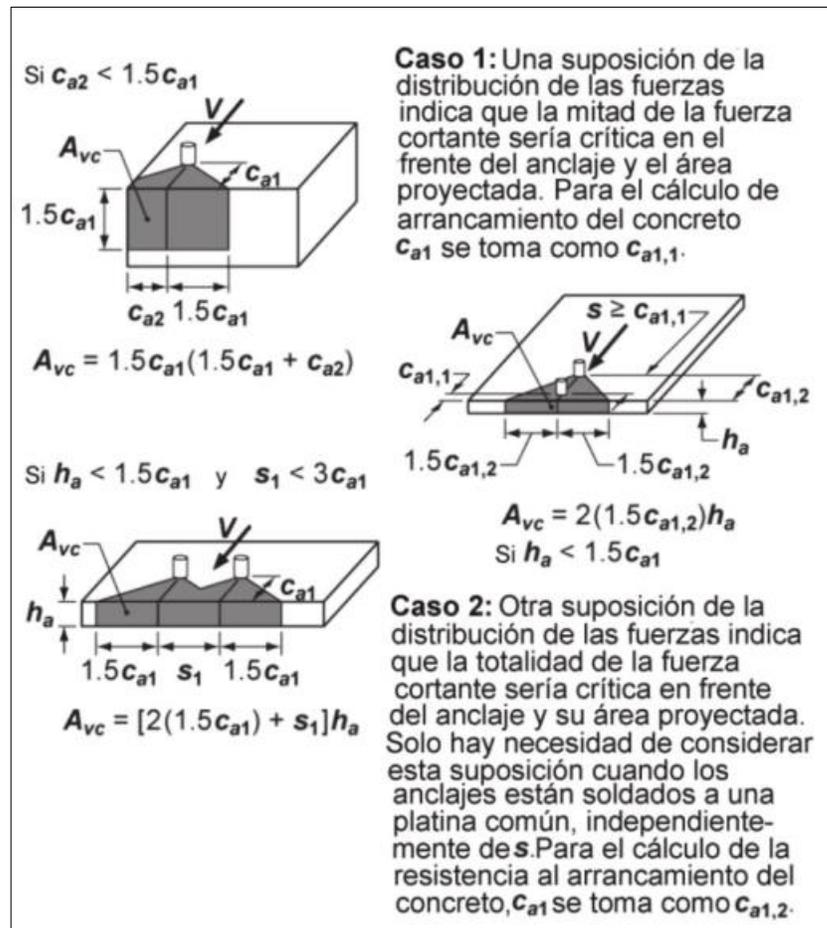


Figura 8. Casos 1 y 2 para el cálculo de A_{vc} .

Fuente: ACI. (2015). Cálculo de área A_{vc} , casos 1 y 2. Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17



Figura 9. Caso 3 para el cálculo de A_{vc} .

Fuente: ACI. (2015). Cálculo de área A_{vc} , caso 3. Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

A_{Vco} hace referencia al área proyectada para un anclaje individual en un elemento alto con una distancia al borde igual o mayor que $1.5c_{a1}$ con una dirección perpendicular a la fuerza cortante. Se permite evaluar A_{Vco} como la base de una media pirámide con una longitud lateral paralela al borde de $3c_{a1}$ y una profundidad de $1.5c_{a1}$ (ACI, 2015):

$$A_{Vco} = 4.5(c_{a1})^2$$

Ahora también se puede presentar la situación de cuando los anclajes se encuentran ubicados a distintas distancias del borde y estos están soldados al aditamento de manera que distribuya la fuerza a todos los anclajes, se puede entonces evaluar la resistencia basándose en la distancia desde el borde hasta la fila de anclajes más alejada. En esta situación, se puede establecer el valor c_{a1} en la distancia desde el borde al eje de la fila de anclajes más alejada que fue seleccionada como crítica, y se debe suponer que toda la fuerza cortante será resistida sólo por esta fila crítica de anclajes. A continuación, en la figura 10 se mostrará gráficamente el cálculo de A_{Vco} . (ACI, 2015)

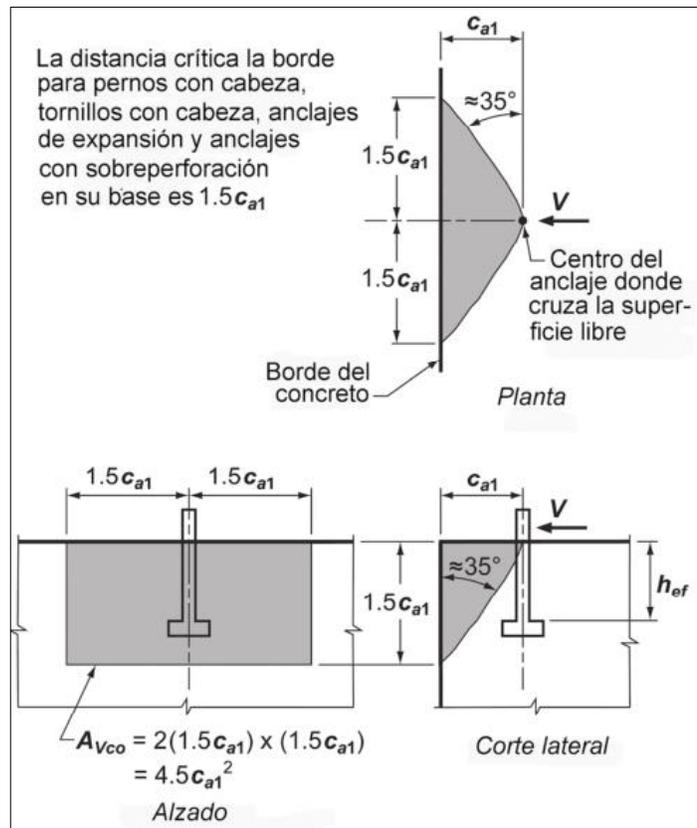


Figura 10. Cálculo de A_{Vco} .

Fuente: ACI. (2015). Cálculo A_{Vco} . Tomado del Reglamento ACI 318S-14 Capítulo 17

Se debe considerar que la resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto de un anclaje individual en concreto fisurado, V_b , debe ser la menor de la siguiente expresión (ACI, 2015):

a)

$$V_b = 0.6 \left(\frac{\ell_e}{d_a} \right)^{0.2} \sqrt{d_a} \lambda_a \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1.5}$$

Donde:

ℓ_e : Longitud de apoyo de carga del anclaje en cortante:

$\ell_e = h_{ef}$ para anclajes de rigidez constante en toda la longitud de la sección embebida. Tales como anclajes con cabeza y anclajes postinstalados con una camisa tubular en toda la longitud de embebido;

$\ell_e = 2d_a$ para anclajes de expansión de torque controlado con una camisa espaciadora separada de la camisa de expansión

$\ell_e \leq 8d_a$ en todos los casos.

b)

$$V_b = 3.7\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5}$$

Para los pernos que se encuentren preinstalados con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho, que además están soldados en forma continua a aditamentos de acero, con un espesor mínimo igual al mayor entre 10 mm y a la mitad del diámetro del anclaje, la resistencia básica al arrancamiento del concreto en cortante de un solo anclaje en concreto fisurado, V_b no debe superar el menor valor de la ecuación anterior y la presentada a continuación (ACI, 2015):

c)

$$V_b = 0.66\left(\frac{\ell_e}{d_a}\right)^{0.2}\sqrt{d_a}\lambda_a\sqrt{f'_c}(c_{a1})^{1.5}$$

Donde ℓ_e se define en el apartado “a” de la sección anterior y siempre y cuando que se cumplan las siguientes condiciones:

- Para un grupo de anclajes, la resistencia será determinada con base en la resistencia de la fila de anclajes más alejada del borde.
- El espaciamiento “s” de los anclajes no sea menor de 65 mm.
- Se instale el refuerzo adicional en las esquinas si $ca2 \leq 1.5hef$.

Cuando los anclajes están localizados en secciones delgadas de espesor limitado de tal manera que tanto la distancia al borde c_{a2} como el espesor h_a sean menores que $1.5c_{a1}$ el valor de c_{a1} empleado para calcular A_{vc} no debe exceder al mayor de las siguientes condiciones (ACI, 2015):

$c_{a2}/1.5$

Donde c_{a2} es la mayor distancia al borde.

$h_a/1.5$

$s/3$

Donde s corresponde al espaciamiento máximo entre anclajes de un grupo, medido en la dirección perpendicular a la dirección del cortante.

El factor de modificación que se utiliza para grupos de anclajes cargados excéntricamente, $\Psi_{ec,V}$, debe calcularse como (ACI, 2015):

$$\Psi_{ec,V} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_V}{3c_{a1}}\right)} \leq 1.0$$

Cabe resaltar que, si la carga en un grupo de anclajes es tal que solo algunos de ellos se encuentran cargados en corte en la misma dirección, solo los anclajes que están bajo los efectos del cortante anteriormente dicho pueden ser considerados al determinar la excentricidad e'_V con el fin de ser usada en la ecuación anteriormente presentada y para calcular V_{cbg} . (ACI, 2015)

El factor de modificación utilizado para el efecto del borde a anclajes sencillos o grupos de anclajes cargados en cortante, $\Psi_{ed,V}$, debe calcularse como se evidencia a continuación, utilizando el menor valor de c_{a2} (ACI, 2015):

$$\Psi_{ed,V} = 1.0 \quad \text{si } c_{a2} \geq 1.5c_{a1}$$
$$\Psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} \quad \text{si } c_{a2} < 1.5c_{a1}$$

Para la condición de anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto donde el análisis indica que no hay fisuración debido a cargas de servicio, es válido utilizar el siguiente factor de modificación (ACI, 2015):

$$\Psi_{c,V} = 1.4$$

Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde el análisis muestra fisuración para niveles de cargas de servicio, se permite utilizar los siguientes factores de modificación (ACI, 2015):

$\Psi_{c,v} = 1.0$ para anclajes en concreto fisurado sin refuerzo adicional o con refuerzo de borde menor que una barra de diámetro No. 13.

$\Psi_{c,v} = 1.2$ para anclajes en concreto fisurado con refuerzo sólido en una barra de diámetro No. 13, o mayor, ubicadas entre el anclaje y el borde.

$\Psi_{c,v} = 1.4$ para anclajes en concreto fisurado con refuerzo sólido en una barra de diámetro No. 13, o mayor, ubicada entre el anclaje y el borde, además con el refuerzo confinado por estribos espaciados a no más de 100 mm.

El factor de modificación utilizado para anclajes localizados en un elemento de concreto, donde $h_a < 1.5c_{a1}$, $\Psi_{h,v}$ debe calcularse de la siguiente manera (ACI, 2015):

$$\Psi_{h,v} = \sqrt{\frac{1.5c_{a1}}{h_a}} \leq 1.0$$

3.3.2.3 Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje sometido a cortante

La resistencia nominal al desprendimiento por cabeceo del anclaje causado por cortante, considerando un anclaje individual V_{cp} o para un grupo de anclajes V_{cpg} no debe exceder las siguientes condiciones (ACI, 2015):

- a. Un solo anclaje:

$$V_{cp} = k_{cp}N_{cp}$$

- a. Anclajes preinstalados de expansión y con sobreperforación en su base, N_{cp} debe tomarse como N_{cb} . Para anclajes adheridos, N_{cp} debe ser el menor de entre N_a y N_{cb} .

- a. Grupo de anclajes

$$V_{cpg} = k_{cp}N_{cpg}$$

Los anclajes preinstalados de expansión y con sobreperforación en su base, N_{cpg} debe tomarse como N_{cbg} . Para anclajes adheridos, N_{cpg} debe ser el menor de N_{ag} y N_{cbg} .

En las ecuaciones anteriores se debe considerar que:

$k_{cp} = 1.0$ para $h_{ef} < 65$ mm.

$k_{cp} = 2.0$ para $h_{ef} > 65$ mm.

3.4 Ensayos confinados y no confinados a tracción

En general, el objetivo de las pruebas de tensión en ACI 355.4M-11 es medir la resistencia a la tracción del anclaje y adhesivo que se rigen por la fuerza de unión entre ambos. En este tipo de ensayos se deben considerar los siguientes aspectos (ACI, 2011):

3.4.1 Ensayo confinado a tracción:

A continuación, se darán unas pautas importantes acerca de la finalidad de los ensayos confinados a tracción (ACI, 2011):

- Es de gran utilidad para reducir el volumen del concreto en las pruebas.
- Es un método que se utiliza para causar fallas de adherencia entre el anclaje de acero y la placa a, con el fin de analizar su comportamiento ante diversas situaciones.
- También permite la evaluación de parámetros como variación de temperatura, limpieza del orificio del anclaje, carga sostenida, exposición ambiental, rendimientos del anclaje y calidad de la mezcla de concreto.

En la figura 11 se muestra el montaje que indica la ACI para ensayos confinados a tracción.

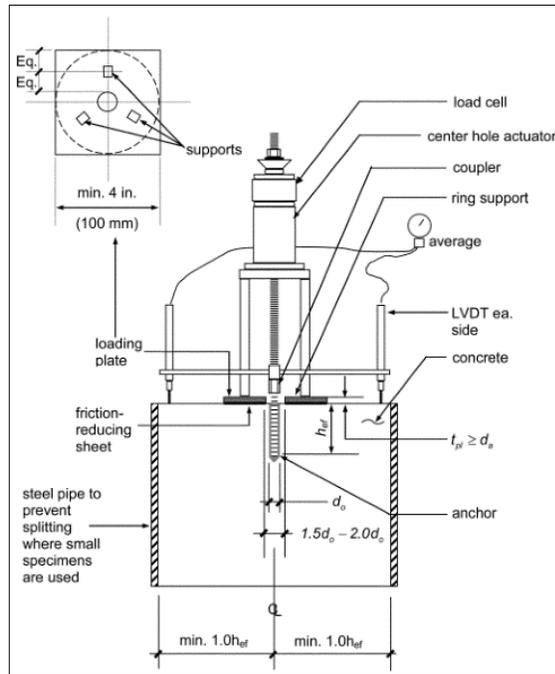


Figura 11. Ensayo confinado.

Fuente: ACI. (2011). Ensayo confinado a tracción. Tomado del Reglamento ACI 355.4M-11S.

3.4.2 Ensayos no confinados a tracción

Acerca de los ensayos no confinados a tracción a la ACI 355.4M-11 nos da unas pautas claves a evaluar y seguir al momento que se realicen (ACI, 2011):

- Este tipo de ensayo admite la formación del cono de ruptura en la base sin restricción alguna, es importante tener en cuenta lo siguiente (ACI, 2011):
- La distancia libre entre el ancla de inyección y el soporte debe ser mínimo 2 veces la profundidad embebida del anclaje en la placa h_{ef} .
- Durante el ensayo, la carga debe aplicarse en dirección del ancla de inyección, esto se garantiza mediante la instalación de bisagras entre el dispositivo de carga y el ancla.

A continuación, la figura 12 muestra el montaje de este tipo de ensayo según la ACI.

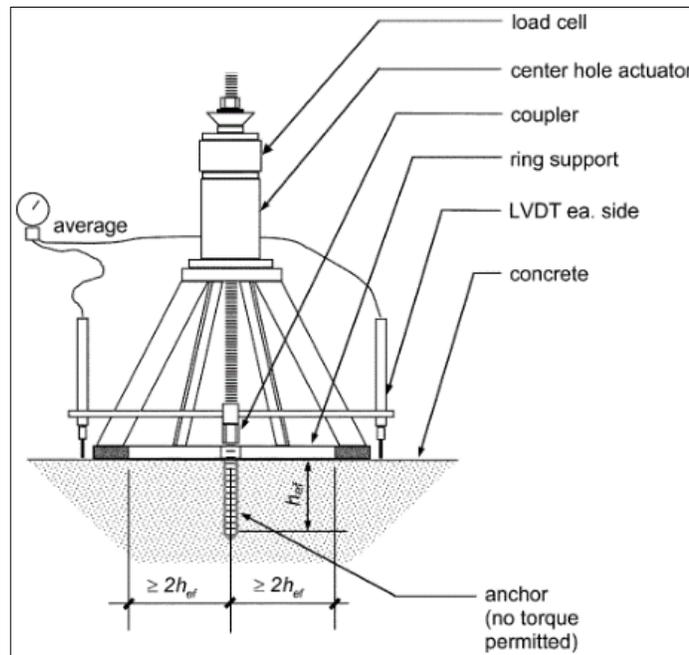


Figura 12. Ensayo no confinado.

Fuente: ACI. (2011). Ensayo no confinado a tracción. Tomado del Reglamento ACI 355.4M-11S

4. FASE EXPERIMENTAL

En el desarrollo de la presente investigación se planteó un programa experimental con la finalidad de determinar las capacidades a tensión y cortante de barras corrugadas postinstaladas en concreto ligero. A continuación, se dará una descripción breve de del procedimiento llevado:

- Se fundieron 5 losas en concreto ligero, cada una de estas losas posee un espesor diferente.
- Se tomaron 6 cilindros con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión del concreto.
- Se realizaron ensayos a tensión y cortante a las barras ancladas por separado. Esto se hace con la finalidad de determinar la carga máxima y modalidad de falla para ambos casos.

4.1 Materiales

A continuación, se dará una descripción de las propiedades mecánicas de los materiales usados en la fase experimental.

4.1.1 Concreto ligero

Para esta etapa de la investigación se realizó la mezcla del concreto agregado LIVITEK el cual está compuesto principalmente de arcilla expandida. La cual es un material aligerante y aislante obtenido mediante un proceso industrial de expansión y sinterización de arcillas naturales. Está naturalmente exento de materia orgánica y es altamente estable en el tiempo, inerte y compatible con los materiales comúnmente usados en la construcción, tales como cemento, agregados finos y gruesos de densidad normal, y aditivos, entre otros. A continuación, se presentarán algunas de las principales ventajas y atributos de utilizar este tipo de agregado (LIVITEK, 2019):

- Único material en Colombia que cumple los requisitos de la Norma Sismo-Resistente para la elaboración de concreto liviano estructural.
- Según la dosificación empleada, se pueden obtener concretos porosos no estructurales desde 600 kg/m³; concretos estructurales desde 1.660 kg/m³, en comparación con los concretos tradicionales que son mayores de 2.200 kg/m³.
- Al disminuir la densidad respecto a los concretos tradicionales, en el diseño de las edificaciones se puede lograr la disminución en la cantidad de acero de refuerzo, tamaño de columnas, vigas, fundaciones.
- Aumenta la resistencia al fuego, aislamiento acústico y térmico del concreto.
- Menores costos de transporte para elementos prefabricados aligerados.
- Disminuye el calor al interior de la vivienda (se han alcanzado disminuciones en la temperatura interior hasta de 7°C).
- Reducción de empuje y carga muerta en los terrenos donde se hagan llenos con arcilla expandida.
- Fácil aplicación, mayor velocidad y limpieza en obra.

Con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión del concreto ligero se realizó inicialmente una muestra de prueba de la que se tomaron 6 muestras en cilindros de dimensiones 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. De estos 6 cilindros, dos se ensayaron a los 7 días, 2 a los 14 días y los últimos 2 a los 35 días. Es importante nombrar que para la mezcla de concreto se utilizó agregado liviano LIVITEK, esto debido a que este producto puede presentar una disminución de hasta el 70 % en el peso de los agregados respecto a los tradicionales según datos del fabricante (LIVITEK, 2019). En la tabla 4 se muestran las cantidades de materiales que se usaron para 1 m³ de concreto, dicha mezcla se calculó con la ayuda de una hoja de cálculo del fabricante CORONA denominada "Ayuda de formulación de mezclas de concreto o morteros livianos". También es importante mencionar que el agregado se encontraba en condición saturada sumergido en agua durante 72 horas en laboratorio como se muestra en la figura 14. A continuación, se mostrará los resultados de los cilindros ensayados, lo cual arroja una resistencia promedio de 16 MPa (161 kg/cm²) para la mezcla de prueba, tal como se muestra en la tabla 5, en la figura 13 se muestra el proceso de ensayo de uno de los cilindros fallados.

Para la mezcla de concreto final, se fallaron 4 cilindros, dos a 14 días y 2 a 28 días tal como se muestra en la tabla 5.



Figura 13. Prueba de resistencia del concreto.

Fuente: Autor

Tabla 4. Valores para 1 m³ de concreto

Fuente: Autor

Componentes mezcla	Peso (Kg)
Cemento	344
Arena	830
Agua	80
Agregado liviano Livitek Concreto liviano (6-12mm)	430
Fortacret 10 (Metacaolín de alta reactividad)	43

Tabla 5. Resistencia a la compresión del concreto

Fuente: Autor

Días	Carga rotura (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
7	6600	10,1	80,12	82,38
	7700	10	78,54	98,04
14	8600	10,2	81,71	105,25
	8100	10,1	80,12	101,10
35	13900	10	78,54	176,98
	11400	10	78,54	145,15

MEZCLA ENSAYO			
Días	Carga rotura (kg)	Carga rotura (Mpa)	Carga rotura promedio (Mpa)
14	14300	18,2	19,1
	15600	19,9	
28		21,95	21,4
		20,86	

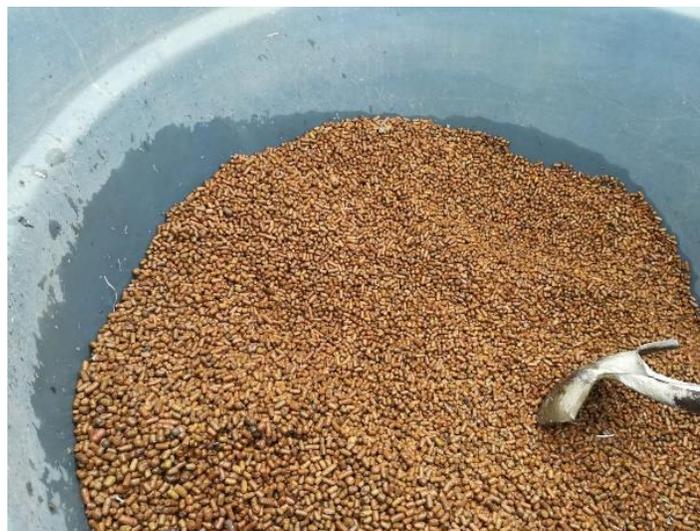


Figura 14. Agregado saturado.

Fuente: Autor

Para calcular la densidad del concreto se pesó una placa de cortante (0.90 m x 0.60 m x 0.20m) obteniendo un peso de 17545 kg y obteniendo una densidad del concreto de 1895 kg/m³.

4.1.2 Barras corrugadas

Se ensayó un tipo de barra que cumple la especificación ASTM A-706 la cual posee un esfuerzo de fluencia mínimo de 420 MPa y un esfuerzo de fluencia máximo de 550 MPa.

4.1.3 Adhesivo epóxico

Para la presente investigación se utilizó adhesivo epóxico Sika AnchorFix-3001 en todos los ensayos, este presenta un esfuerzo de adherencia en concreto no fisurado de 9.30 MPa ó 1350 psi. (SIKA, 2017). Este adhesivo se encuentra calificado de acuerdo al código ACI 355.4.

4.2 Losas de concreto

Se fundieron un total de 7 losas de espesor y dimensiones variables, tres de ellas se utilizaron en los ensayos a tensión tal como se muestra en la figura 15 y las cuatro restantes en los ensayos a cortante como se evidencia en la figura 16. A continuación, en las tablas 6 y 7 se mostrará de manera más clara las dimensiones, espesores, diámetros de varilla y profundidad de embebido de estas. En la figura 15 se evidencia tres losas en una formaleta por facilidad constructiva, los tamaños de las losas se definieron de acuerdo a la cantidad de anclajes para cada espesor de losa. Esto se hizo en el espacio suministrado por la universidad.

Tabla 6. Losas y especificaciones para ensayos a tensión.

Fuente: Autor

Losa	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Diámetro varilla (")	Profundidad embebido (mm)	h/d
1	0,9	1,85	0,13	3/8	48	5
				1/2	64	5
				5/8	79	5
2	0,76	2,35	0,16	3/8	95	10
				1/2	127	10
3	2	1	0,2	1/2	127	10
				5/8	159	10



Figura 15. Losas fundidas para ensayos a tracción.

Fuente: Autor

Tabla 7. Losas y especificaciones para ensayos a cortante.

Fuente: Autor

Losa	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Diámetro varilla (")	Profundidad embebido (mm)	Cantidad de anclajes
1	0,9	0,6	0,2	3/8	95	6
2	0,9	0,6	0,2	1/2	127	6



Figura 16. Losas fundidas para ensayos a cortante.

Fuente: Autor

4.3 Instalación de anclajes

A continuación, se dará una descripción del paso a paso en la instalación de los anclajes en las losas:

1. Demarcación de la ubicación de los anclajes, así como de su profundidad. En la figura 17 se demarcan las losas utilizadas en los ensayos a tracción y en la figura 18 las losas utilizadas en ensayos a cortante.



Figura 17. Demarcación losas a tracción.

Fuente: Autor



Figura 18. Demarcación losas a cortante.

Fuente: Autor

2. Se realizan las respectivas perforaciones, dichas deben realizarse con una broca de un diámetro 1/8" mayor a la barra ensayada tal como se muestra en la figura 19.



Figura 19. Perforación de agujeros para anclajes.

Fuente: Autor

3. Posterior a la perforación de los agujeros se procede a limpiar cada uno de ellos con la herramienta identificada como “churrusco” el cual es un cepillo de cerdas metálicas, esto se evidencia en la figura 20.



Figura 20. Limpieza manual de agujeros.

Fuente: Autor

4. Según lo indica la ficha técnica del epóxico, se debe limpiar con aire comprimido los agujeros con el fin de eliminar la mayor cantidad de polvo y partículas que afecten la calidad de este tal como se ve en la figura 21.



Figura 21. Limpieza con aire comprimido.

Fuente: Autor

5. Después de la limpieza a los agujeros se procede a sellarlos por medio de cinta adhesiva para evitar la entrada de cualquier impureza, esto se evidencia en la figura 22.



Figura 22. Sellos de cinta en los agujeros.

Fuente: Autor

6. Antes de instalar la varilla en el concreto, es necesario limpiarla de cualquier impureza en especial el óxido y residuos orgánicos, tal como se muestran en las figuras 23 y 24 que muestran un antes y un después de la limpieza a las varillas.



Figura 23. Varillas después de la limpieza.

Fuente: Autor

7. Se procede a retirar la cinta colocada en el paso 5 para introducir el epóxico dentro del agujero como se muestra en la figura 24. Este debe ocupar las $\frac{3}{4}$ partes de la profundidad del anclaje.



Figura 24. Aplicación del epóxico.

Fuente: Autor

8. Por último, se introduce la varilla lentamente girándola hasta que toque el fondo de la perforación. En la figura 25 se muestra las varillas colocadas en las losas que serán ensayadas a tracción y en la figura 26 las losas ensayadas a cortante.



Figura 25. Anclajes en losas a tracción.

Fuente: Autor



Figura 26. Anclajes en losa a cortante.

Fuente: Autor

4.4 Montaje de ensayos

Se realizaron ensayos en las placas a tracción los cuales se dividen en confinados y no confinados. De igual manera se realizaron ensayos a cortante en cuatro placas.

4.4.1 Ensayos no confinados a tracción.

El montaje de este ensayo está compuesto por cuatro (4) vigas metálicas, una platina metálica, una celda de carga, un cilindro de émbolo hueco, tuercas, arandelas y los anclajes a ensayar, esto se evidencia en la figura 27. En las tablas 8 y 9 se muestra un resumen de los ensayos realizados.

Tabla 8. Ensayos no confinados a profundidad h_{ef} 5 diámetros.

Fuente: Autor

Diámetro	Profundidad h_{ef} (mm) 5 diámetros	Cantidad	Espesor mínimo elemento concreto (mm)	Distancia mínima al borde ($2 h_{ef}$) (mm)	Distancia entre pernos ($4 h_{ef}$) (mm)
3/8"	48	3	78	95	191
1/2"	64	3	94	127	254
5/8"	79	3	109	159	318

Tabla 9. Ensayos no confinados a profundidad h_{ef} 10 diámetros.

Fuente: Autor

Diámetro	Profundidad h_{ef} (mm) 10 diámetros	Cantidad	Espesor mínimo elemento concreto (mm)	Distancia mínima al borde ($2 h_{ef}$) (mm)	Distancia entre pernos ($4 h_{ef}$) (mm)
3/8"	95	3	125	191	381
1/2"	127	3	157	254	508



Figura 27. Montaje ensayo no confinado a tracción.

Fuente: Autor

4.4.2 Ensayos confinados a tracción.

El montaje de este ensayo está compuesto por una platina metálica, una celda de carga, un cilindro de émbolo hueco, una platina, tuercas, arandelas y los anclajes respectivos a ensayar tal como se muestra en la figura 28. En las tablas 10 y 11 se muestra un resumen de los ensayos realizados.

Tabla 10. Ensayos confinados a profundidad h_{ef} 5 diámetros.

Fuente: Autor

Diámetro	Profundidad h_{ef} (mm) 5 diámetros	Cantidad	Espesor mínimo elemento concreto (mm)	Distancia mínima al borde ($1,0 h_{ef}$) (mm)	Distancia entre pernos ($2,0 h_{ef}$) (mm)
3/8"	48	3	78	48	95
1/2"	64	3	94	64	127
5/8"	79	3	109	79	159

Tabla 11. Ensayos confinados a profundidad h_{ef} 10 diámetros.

Fuente: Autor

Diámetro	Profundidad h_{ef} (mm) 10 diámetros	Cantidad	Espesor mínimo elemento concreto (mm)	Distancia mínima al borde ($1,0 h_{ef}$) (mm)	Distancia entre pernos ($2,0 h_{ef}$) (mm)
3/8"	95	3	125	95	191
1/2"	127	3	157	127	254
5/8"	159	3	189	159	318



Figura 28. Montaje ensayo confinados a tracción.

Fuente: Autor

4.4.3 Ensayos a cortante

Este montaje consiste únicamente en la instalación de una la máquina universal, un ángulo metálico de alas iguales, una tuerca y los anclajes a ensayar. En las tablas 12 y 13 se muestra un resumen de los ensayos realizados. En la figura 29 se evidencia el montaje experimental.

Tabla 12. Ensayos de cortante a profundidad h_{ef} 10 diámetros de 3/8".

Fuente: Autor

Díámetro	Profundidad h_{ef} (mm) 10 diámetros	Cantidad	Espesor mínimo elemento concreto (mm)	Distancia al borde (mm)
3/8"	95	6	125	100

Tabla 13. Ensayos de cortante a profundidad h_{ef} 10 diámetros de 1/2"

Fuente: Autor

Díámetro	Profundidad h_{ef} (mm) 10 diámetros	Cantidad	Espesor mínimo elemento concreto (mm)	Distancia al borde
1/2"	127	6	157	100



Figura 29. Montaje ensayo a cortante.

Fuente: Autor

5. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TEÓRICA DE LOS ANCLAJES Y RESULTADOS DE ENSAYOS

En el presente capítulo se mostrará el cálculo teórico de las diferentes resistencias presentes en los anclajes tales como: resistencia del acero en un anclaje a tracción, resistencia al arrancamiento en un anclaje a tracción, resistencia a la adherencia en tracción de anclajes adheridos y la resistencia del acero de un anclaje sometido a cortante .

Dichas resistencias fueron calculadas teniendo como guía el reglamento ACI 318s-14. Del mismo modo al final de cada cálculo teórico de cada una de las resistencias anteriormente mencionadas se encontrarán los resultados obtenidos en campo mediante los ensayos realizados y expuestos en el capítulo 4.

A continuación, en las tablas 14, 15, 16 y 17 se mostrarán los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

Tabla 14. Resultados obtenidos ensayos a cortante

Fuente: Autor

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)
3/8"	130	19,52
		17,71
		16,59
		18,81
1/2"	130	20,67
		14,37

Tabla 15. Resultados ensayos confinados a tracción.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla	h/d
3/8"	48	Confinado	31,52	37,43	Adherencia	5
3/8"	48	Confinado	36,45			5
3/8"	48	Confinado	44,33			5
3/8"	95	Confinado	49,25	46,63	Adherencia	10
3/8"	95	Confinado	46,3			10
3/8"	95	Confinado	44,33			10
1/2"	64	Confinado	22,81	33,39	Adherencia	5
1/2"	64	Confinado	44,95			5
1/2"	64	Confinado	32,42			5
1/2"	127	Confinado	80,28	75,51	Adherencia	10
1/2"	127	Confinado	76,77			10
1/2"	127	Confinado	69,48			10
5/8"	79	Confinado	41,63	58,60	Adherencia	5
5/8"	79	Confinado	61,41			5
5/8"	79	Confinado	72,76			5
5/8"	159	Confinado	117,22	114,60	Adherencia	10
5/8"	159	Confinado	130,03			10
5/8"	159	Confinado	96,54			10

Tabla 16. Resultados ensayos no confinados a tracción.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla	h/d
3/8"	48	No confinado	19,19	18,12	Arrancamiento	5
3/8"	48	No confinado	16,45			5
3/8"	48	No confinado	18,72			5
3/8"	95	No confinado	33,7	36,52	Arrancamiento	10
3/8"	95	No confinado	34,48			10
3/8"	95	No confinado	41,37			10
1/2"	64	No confinado	31,52	28,24	Arrancamiento	5
1/2"	64	No confinado	25,61			5
1/2"	64	No confinado	27,58			5
1/2"	127	No confinado	61,07	56,80	Arrancamiento	10
1/2"	127	No confinado	56,15			10
1/2"	127	No confinado	53,19			10
5/8"	79	No confinado	42,55	37,27	Arrancamiento	5
5/8"	79	No confinado	43,64			5
5/8"	79	No confinado	25,61			5

Tabla 17. Resumen resultados obtenidos en campo ensayos a tracción.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla promedio (kN)
3/8"	48	Confinado	37,43
3/8"	48	No confinado	18,12
3/8"	95	Confinado	46,63
3/8"	95	No confinado	36,52
1/2"	64	Confinado	33,39
1/2"	64	No confinado	28,24
1/2"	127	Confinado	75,51
1/2"	127	No confinado	56,80
5/8"	79	Confinado	58,60
5/8"	79	No confinado	37,27
5/8"	159	Confinado	114,60

5.1 Resistencia del acero en un anclaje a tracción

Esta resistencia se calcula basándose en la sección 17.4.1 del ACI 318s-14 Capítulo 17 la cual nos arroja la siguiente fórmula:

$$N_{sa} = A_{se} N f_{uta}$$

En la tabla 18 se muestran los resultados teóricos de esta resistencia, así mismo en la figura 30 se evidencia de manera gráfica la resistencia del acero en un anclaje sometido a tracción. Es importante resaltar que la varilla utilizada en los experimentos corresponde a varilla corrugada ASTM A-706, la cual según sus propiedades mecánicas tiene un límite de fluencia mínimo de 420 MPa y un máximo de 550 MPa.

Tabla 18. Cálculo resistencia teórica del acero en un anclaje a tracción ASTM A-706.

Fuente: Autor

Diámetro pulgadas	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	f _{uta} (Mpa)	N _{sa} (kN)
1/4"	6,4	32	550	18
3/8"	9,5	71	550	39
1/2"	12,7	129	550	71
5/8"	15,9	199	550	109
3/4"	19,1	284	550	156
7/8"	22,2	387	550	213
1"	25,4	510	550	281
1-1/8"	28,7	645	550	355
1-1/4"	32,3	819	550	450
1-3/8"	35,8	1006	550	553
1-3/4"	43	1452	550	799
2-1/4"	57,3	2581	550	1420

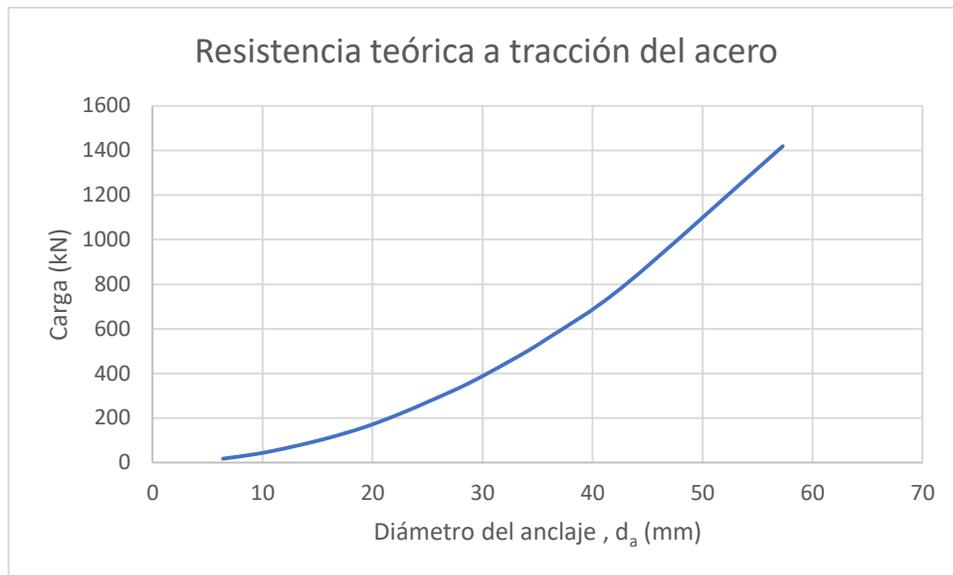


Figura 30. Resistencia teórica a tracción del acero NTC 2289 (ASTM A-706).

Fuente: Autor

En la tabla 19 se muestran los resultados de los ensayos obtenidos en campo, así como una comparación con N_{sa} calculado en la tabla 18. La tabla 19 contiene datos tales como diámetro y profundidad del anclaje, tipo de ensayo realizado (confinado/no confinado), carga promedio de falla y resistencia teórica del acero en un anclaje a tracción. En las figuras 31,33, 35, 37, 39, 41, 43 y 45 se evidencia de manera gráfica las cargas de falla para diferentes diámetros de varillas, profundidades y tipo de ensayo. En las figuras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44 y 46 se evidencia la relación entre las cargas de falla vs h_{ef}/d la cual nos indica a que profundidad y diámetro la barra resiste más carga.

Tabla 19. Resultados ensayos in situ vs N_{sa} .

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla promedio (kN)	N_{sa} (kN)
3/8"	48	Confinado	37,43	39,05
3/8"	48	No confinado	18,12	39,05
3/8"	95	Confinado	46,63	39,05
3/8"	95	No confinado	36,52	39,05
1/2"	64	Confinado	33,39	70,95
1/2"	64	No confinado	28,24	70,95
1/2"	127	Confinado	75,51	70,95
1/2"	127	No confinado	56,80	70,95
5/8"	79	Confinado	58,60	109,45
5/8"	79	No confinado	37,27	109,45
5/8"	159	Confinado	114,60	109,45

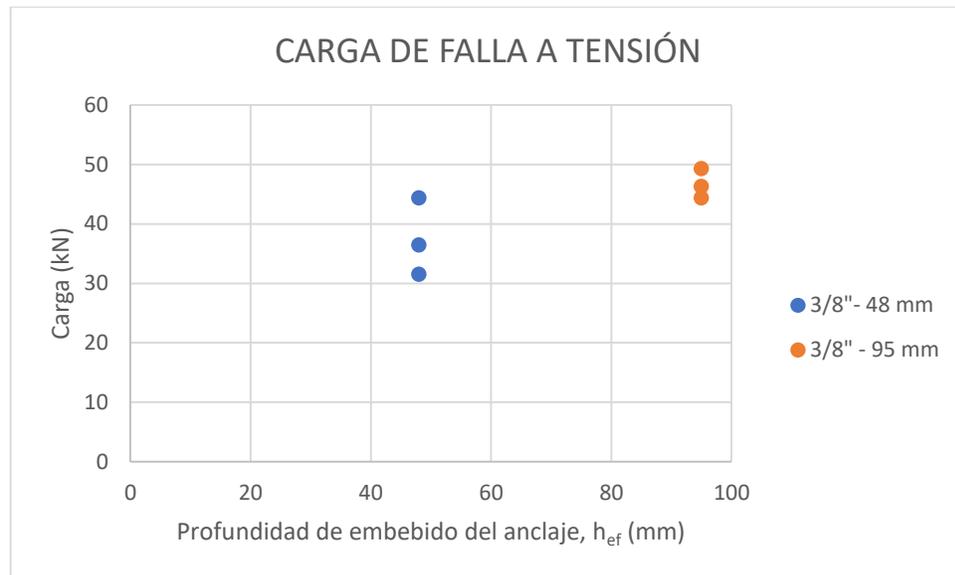


Figura 31. Cargas de falla ensayos confinados barras 3/8".

Fuente: Autor

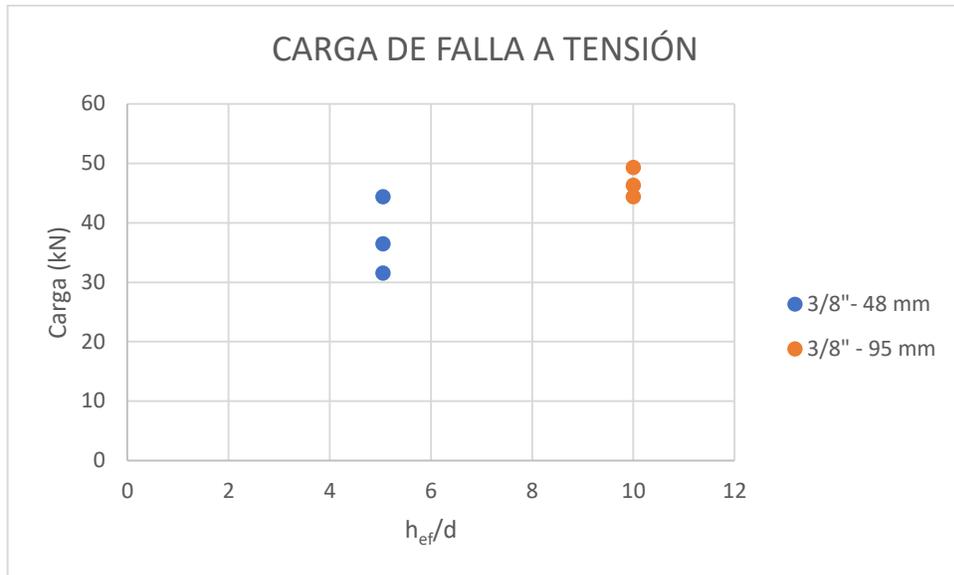


Figura 32. Cargas de falla ensayos confinados barras 3/8" vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

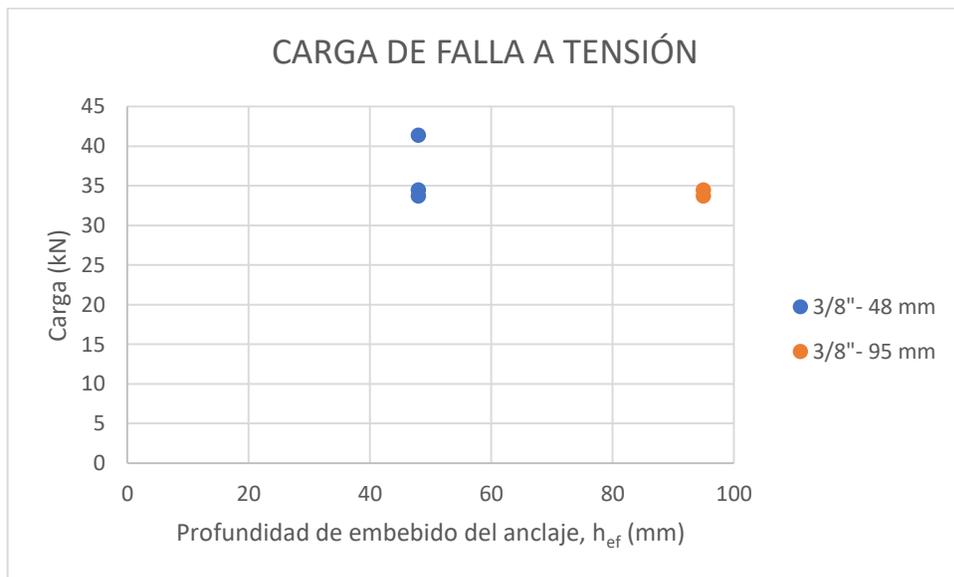


Figura 33. Cargas de falla ensayos no confinados barras 3/8".

Fuente: Autor

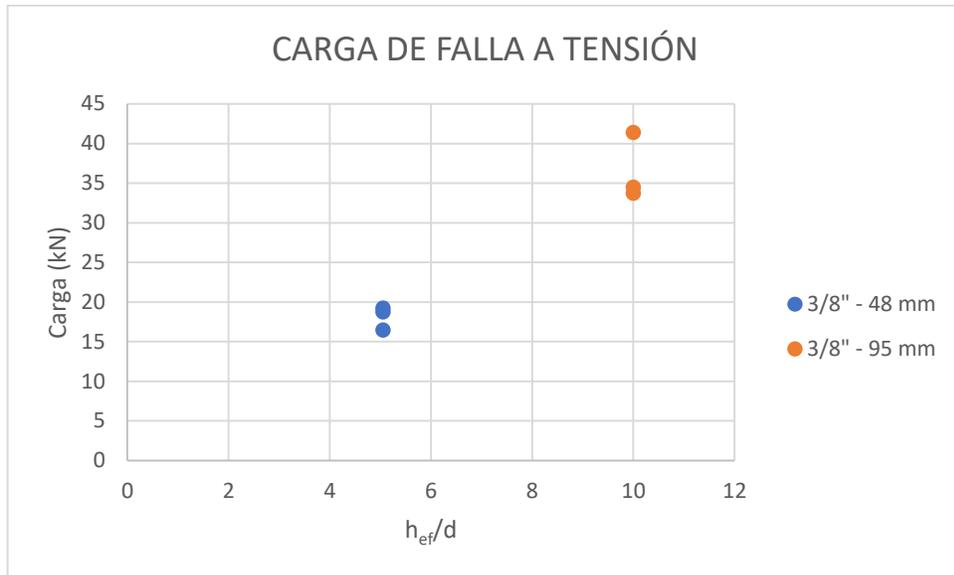


Figura 34. Cargas de falla ensayos no confinados barras 3/8" vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

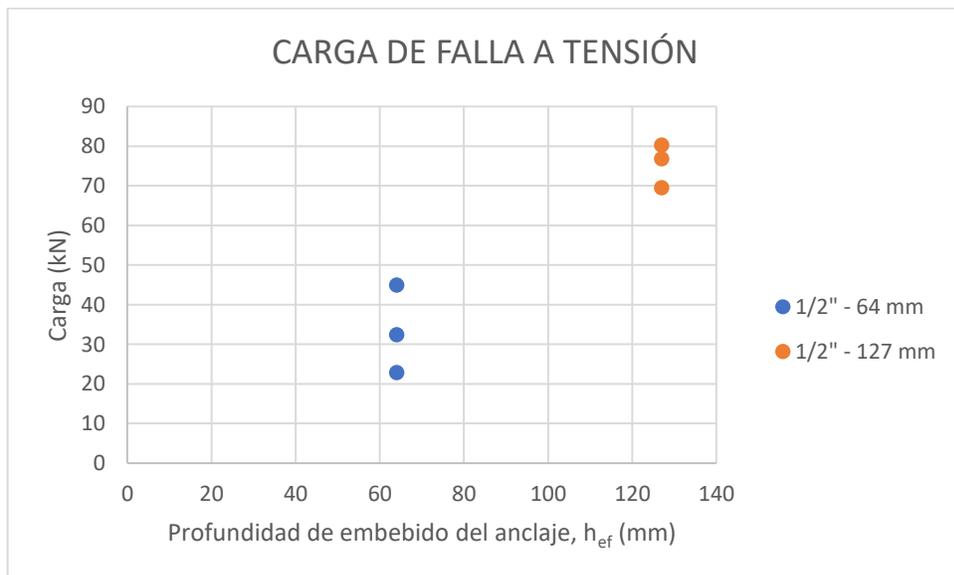


Figura 35. Cargas de falla ensayos confinados barras 1/2".

Fuente: Autor

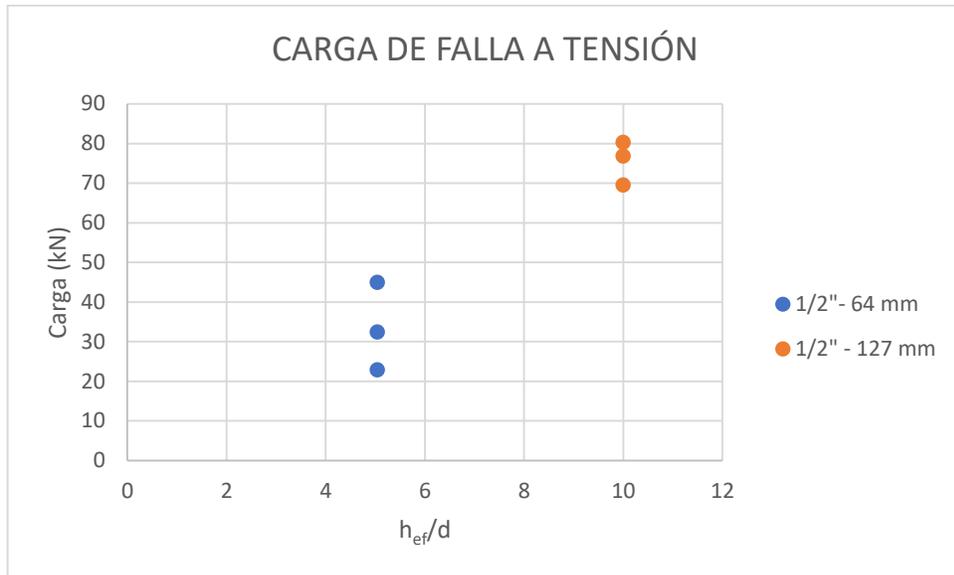


Figura 36. Cargas de falla ensayos confinados barras 1/2" vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor



Figura 37. Cargas de falla ensayos no confinados barras 1/2".

Fuente: Autor

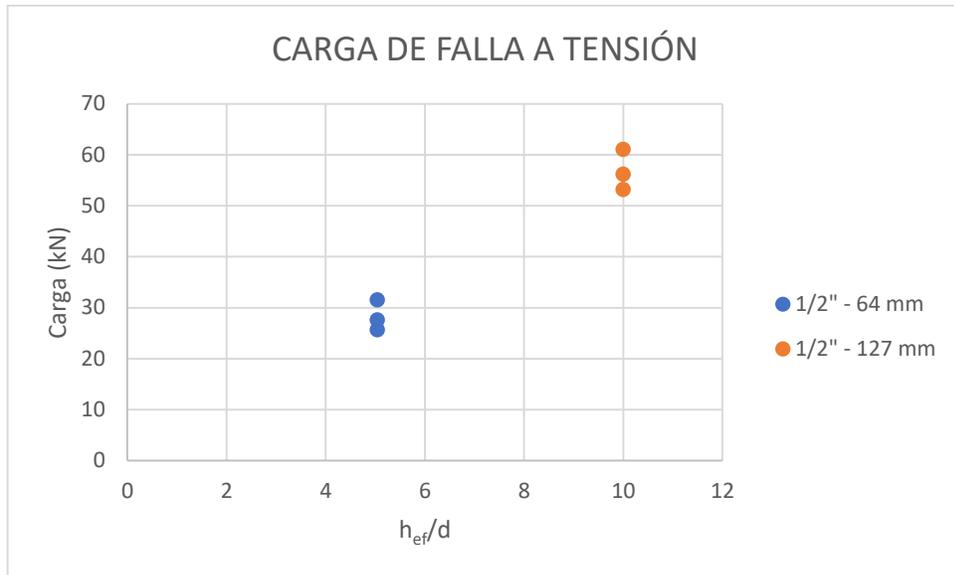


Figura 38. Cargas de falla ensayos no confinados barras 1/2" vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

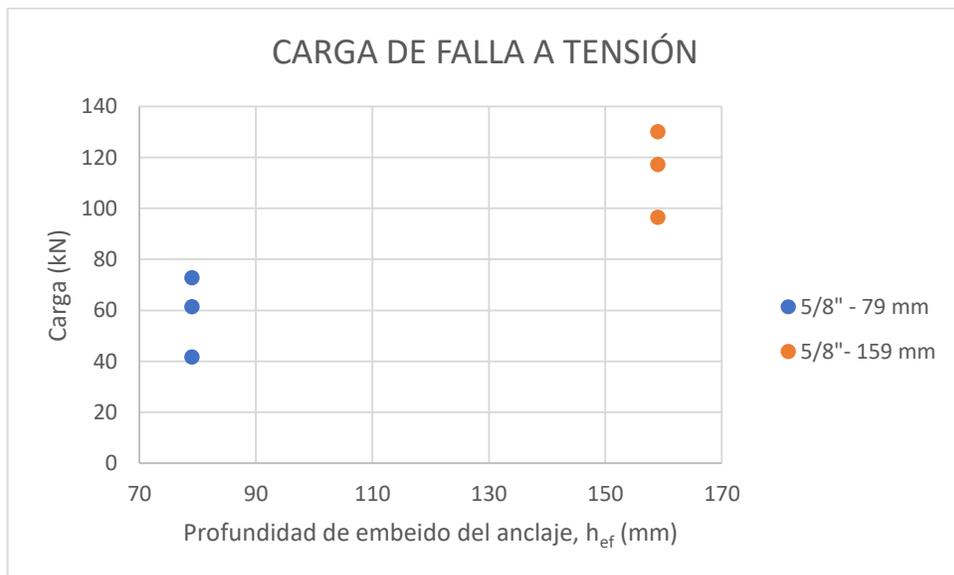


Figura 39. Cargas de falla ensayos confinados barras 5/8".

Fuente: Autor

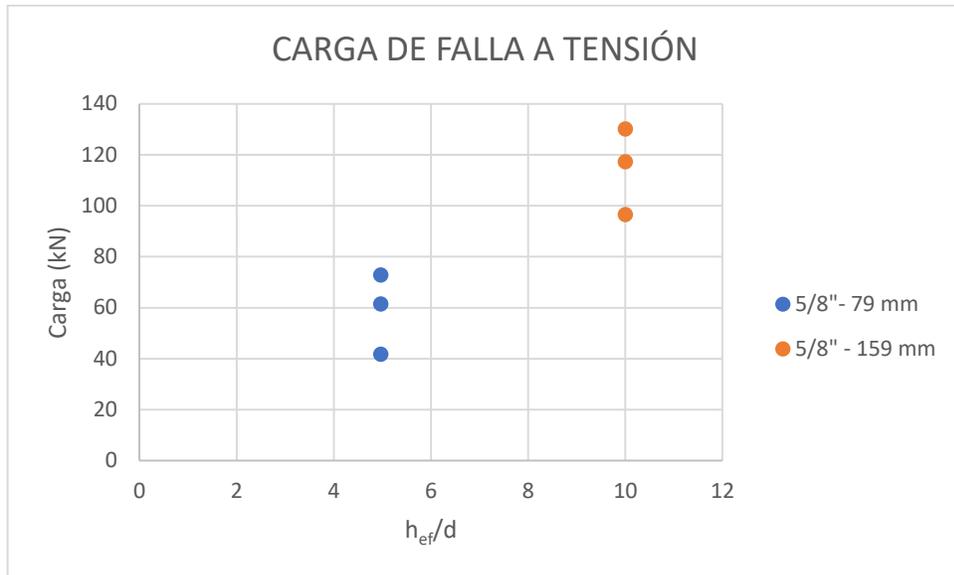


Figura 40. Cargas de falla ensayos confinados barras 5/8" vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

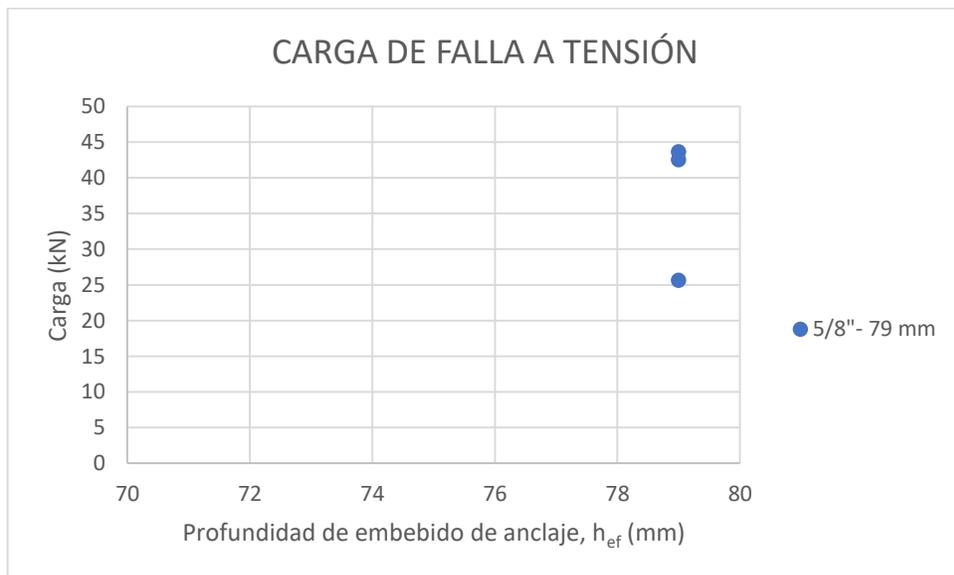


Figura 41. Cargas de falla ensayos no confinados barras 5/8".

Fuente: Autor

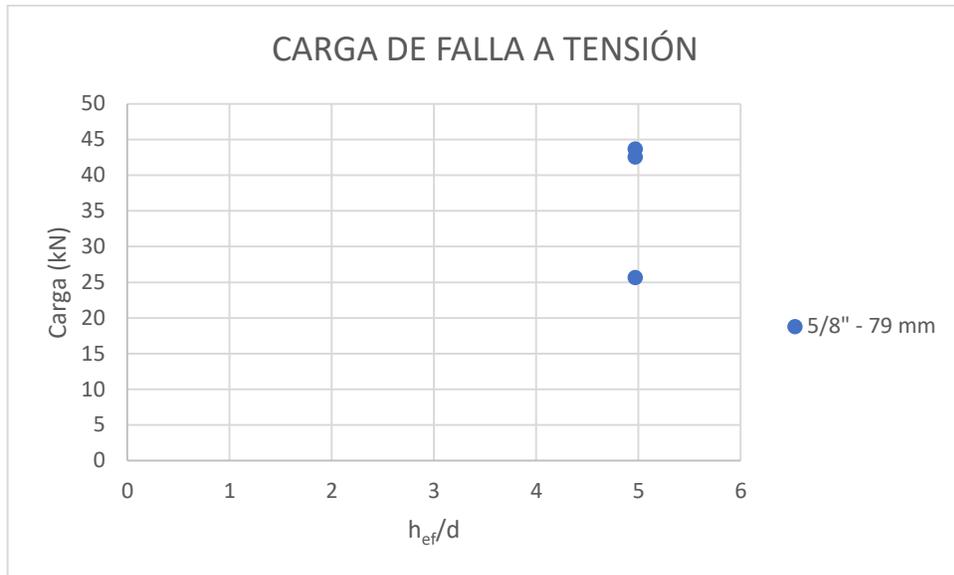


Figura 42. Cargas de falla ensayos no confinados barras 5/8" vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

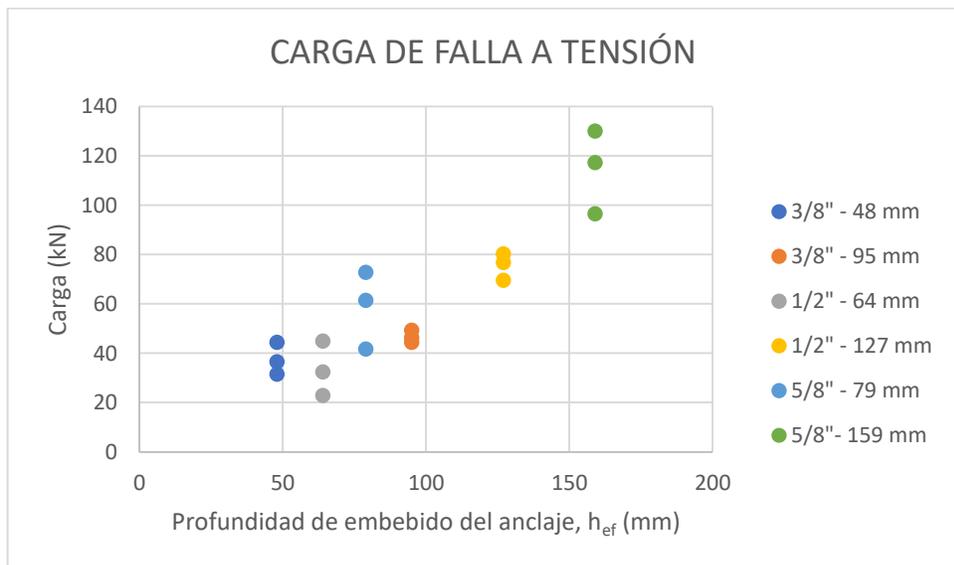


Figura 43. Ensayos confinados a tracción.

Fuente: Autor

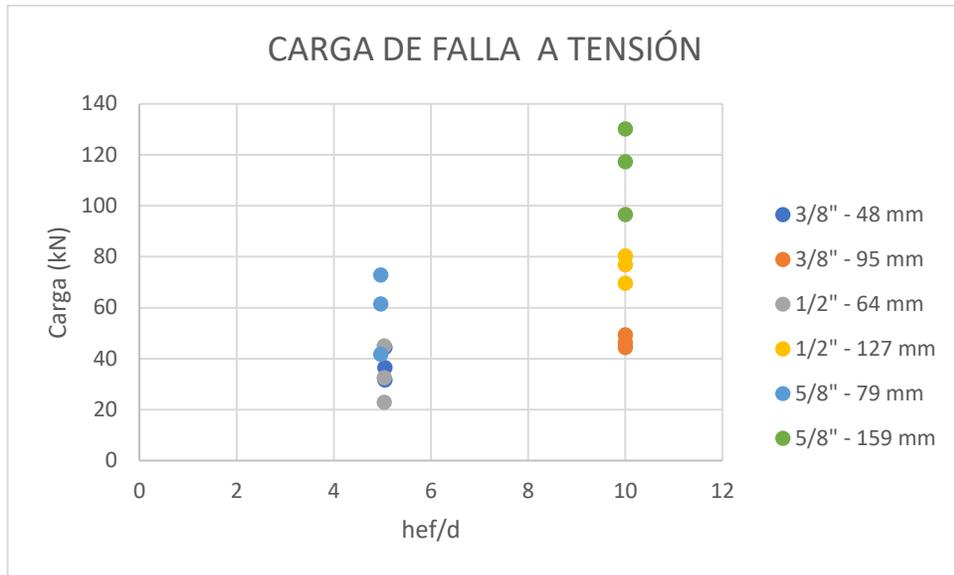


Figura 44. Cargas de falla ensayos confinados vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

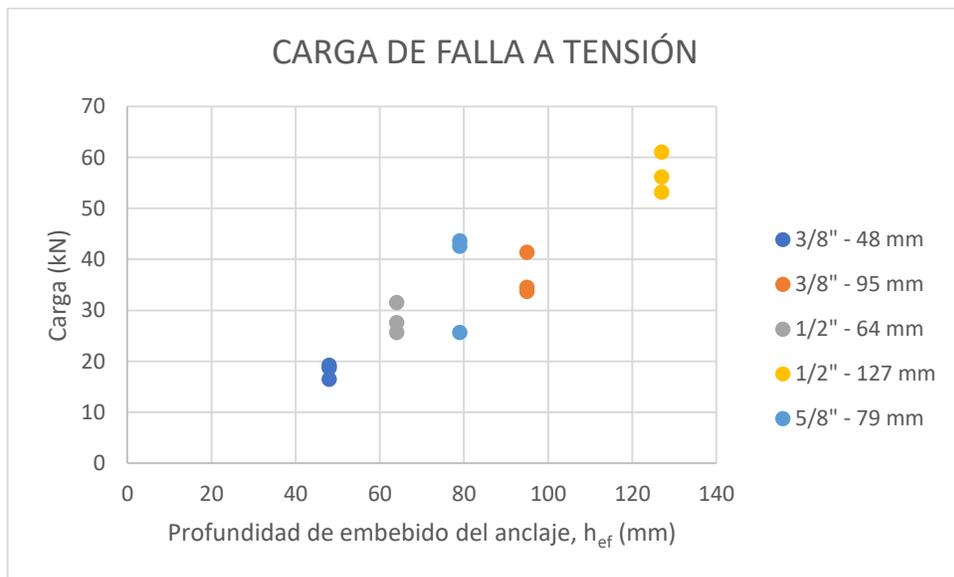


Figura 45. Ensayos no confinados a tracción

Fuente: Autor

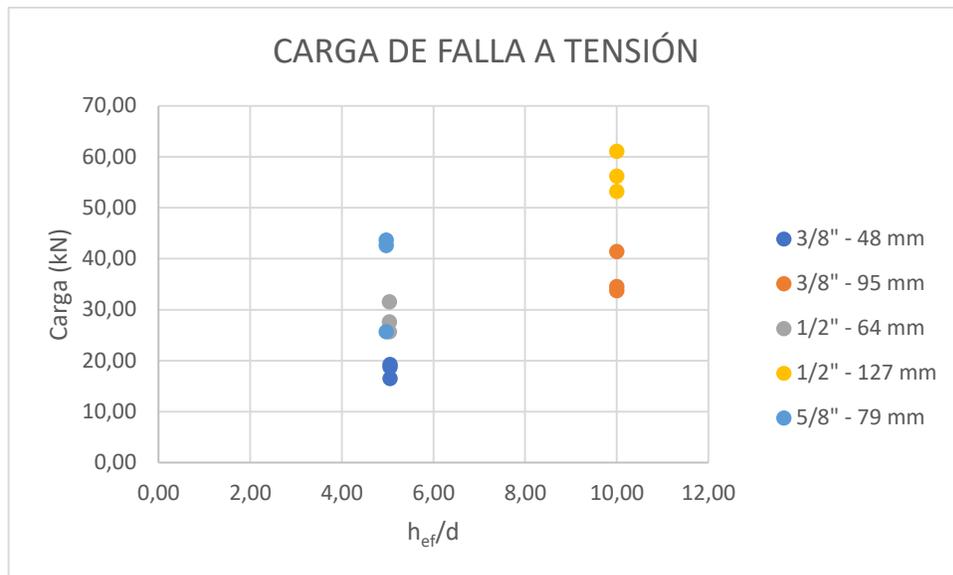


Figura 46. Cargas de falla ensayos no confinados vs h_{ef}/d .

Fuente: Autor

Es importante recordar que todas las barras que fueron falladas mediante ensayos no confinados a tensión presentaron el modo de falla por arrancamiento del concreto y todas las barras falladas mediante ensayos confinados a tensión presentaron el modo de falla por adherencia.

5.2 Resistencia al arrancamiento del concreto en un anclaje a tracción

Esta resistencia se obtiene teniendo como referencia el ACI 318s-14 Capítulo 17 en su numeral 17.4.2 el cual nos arroja la siguiente expresión:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b$$

Todas las expresiones presentes en la anterior ecuación fueron calculadas según la normativa teniendo en cuenta los parámetros necesarios. Para el caso de esta investigación el único valor constante es el de $\Psi_{c,N}=1.4$ ya que los demás factores debieron ser calculados de acuerdo al reglamento. A continuación, en la tabla 20 se mostrarán los correspondientes resultados. Dentro del cálculo de N_b es importante mencionar el uso de factores tales como $kc=7$, este corresponde a anclajes postinstalados. También el factor $\lambda_a=0.68$ y por último f'_c calculado en el capítulo anterior correspondiente a 21,4 MPa.

Tabla 20. Cálculo resistencia teórica al arrancamiento.

Fuente: Autor

Tipo de ensayo	Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	A_{nc}/A_{nco}	$\Psi_{ed,N}$	$\Psi_{c,N}$	$\Psi_{cp,N}$	N_b (kN)	N_{cb} (kN)
No confinado	3/8"	48	1	1	1,4	0,75	7,42	7,79
No confinado	1/2"	64	1	1	1,4	0,75	11,42	11,99
No confinado	5/8"	79	1	0,9	1,4	0,75	15,66	15,51
No confinado	3/8"	95	1	1	1,4	0,75	20,65	21,68
No confinado	1/2"	127	1	1	1,4	0,75	31,92	33,51

En las figuras 47, 48, 49 y 50 se evidencia de manera gráfica la resistencia teórica al arrancamiento para los diferentes diámetros de barras utilizados en la investigación.

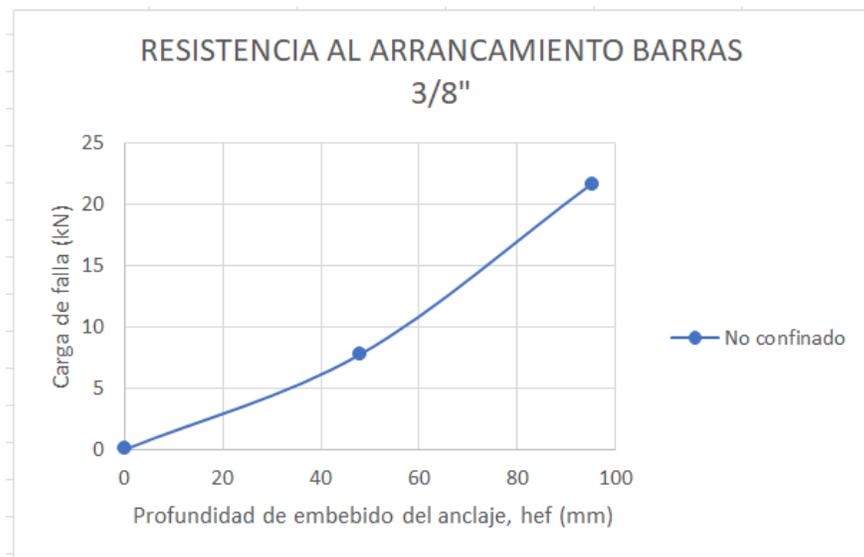


Figura 47. Resistencia teórica al arrancamiento barras 3/8".

Fuente: Autor

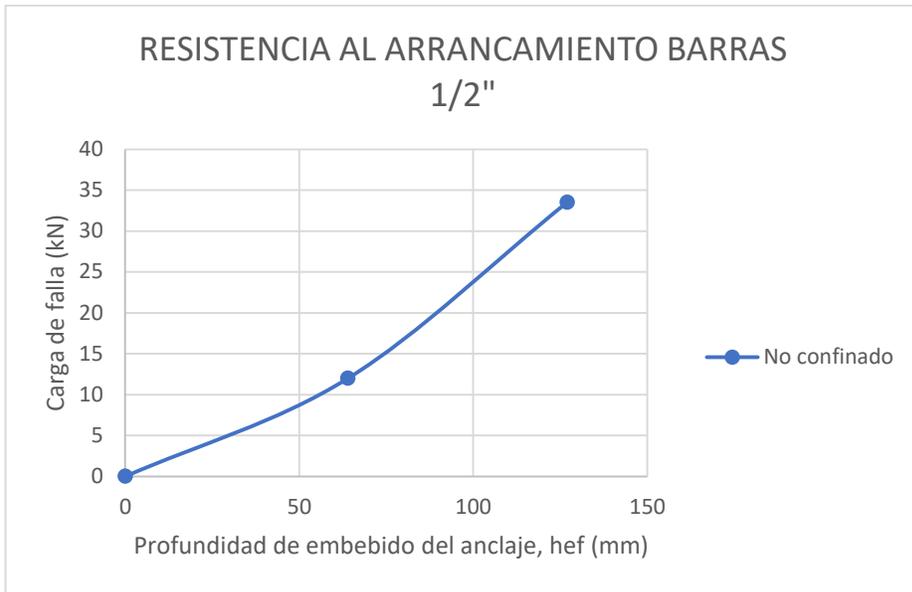


Figura 48. Resistencia teórica al arrancamiento barras 1/2".

Fuente: Autor

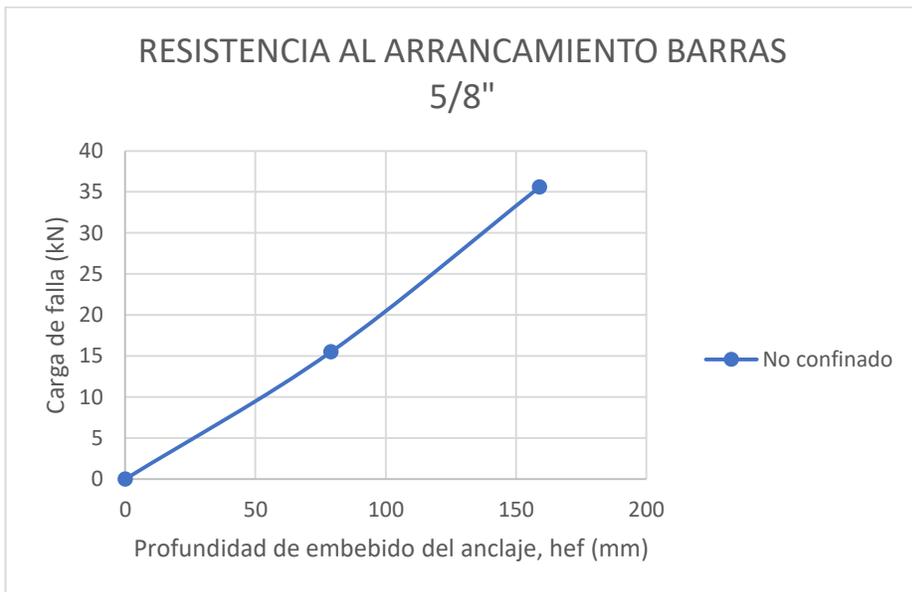


Figura 49. Resistencia teórica al arrancamiento barras 5/8".

Fuente: Autor.

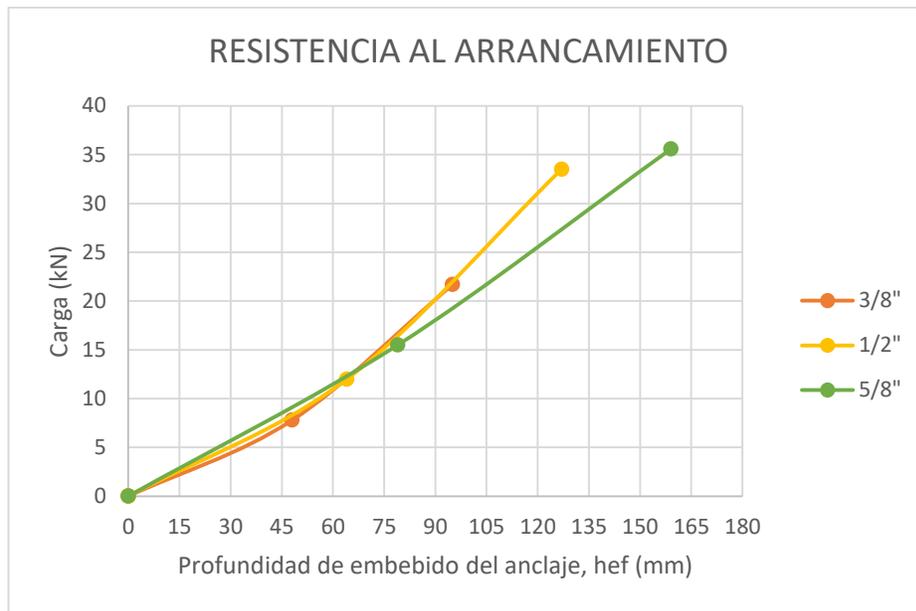


Figura 50. Resistencia teórica al arrancamiento.

Fuente: Autor

En la tabla 21 se puede evidenciar una comparativa entre las cargas promedio de falla obtenidos en campo y los resultados del cálculo de la resistencia teórica al arrancamiento calculados.

Tabla 21. Resultados ensayos in situ vs N_{cb} .

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla promedio (kN)	N_{cb} (kN)	Carga obtenida/ Carga calculada	h/d
3/8"	48	No confinado	18,12	7,79	2,3	5
3/8"	95	No confinado	36,52	21,68	1,7	10
1/2"	64	No confinado	28,24	11,99	2,4	5
1/2"	127	No confinado	56,8	33,51	1,7	10
5/8"	79	No confinado	37,27	15,51	2,4	5

5.3 Resistencia a la adherencia en tracción de anclajes adheridos

Esta resistencia se obtiene teniendo como referencia el ACI 318s-14 Capítulo 17 en su numeral 17.4.5 el cual nos arroja la siguiente expresión:

$$N_a = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \Psi_{ed,Na} \Psi_{cp,Na} N_{ba}$$

Todas las expresiones presentes en la anterior ecuación fueron calculadas según la normativa teniendo en cuenta los parámetros necesarios explicados en el capítulo 3.3 de este documento. Para obtener el cálculo de A_{Na0} fue necesario el cálculo de C_{na} el cual a su vez tiene en cuenta factores tales como el diámetro de la barra y $\tau_{unscr}=9.3$ de acuerdo a la información suministrada por el fabricante del epóxico. Del mismo modo al momento de calcular N_{ba} se utilizó $\tau_{cr}=7.9$, este valor también es suministrado directamente por el fabricante del epóxico y un $\lambda_a=0.68$. En la tabla 22 se muestran los resultados del cálculo teórico de la resistencia a la adherencia.

Tabla 22. Cálculo resistencia teórica a la adherencia.

Fuente: Autor

Tipo de ensayo	Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Ana/Anao	$\Psi_{ed,Na}$	$\Psi_{cp,Na}$	N_{ba} (kN)	N_a (kN)
Confinado	3/8"	48	0,74	0,91	0,75	5,77	2,89
Confinado	1/2"	64	0,72	0,91	0,75	9,76	4,77
Confinado	5/8"	79	0,31	0,90	0,75	14,09	2,91
Confinado	1/2"	127	0,89	1,0	0,75	19,38	12,96
Confinado	3/8"	95	1,00	1,0	0,75	11,42	8,57
Confinado	5/8"	159	0,73	1,0	0,75	28,35	15,52

A continuación, en las figuras 51, 52, 53 y 54 se evidencia de manera gráfica la resistencia teórica a la adherencia para los diferentes diámetros de barras utilizados en la investigación.

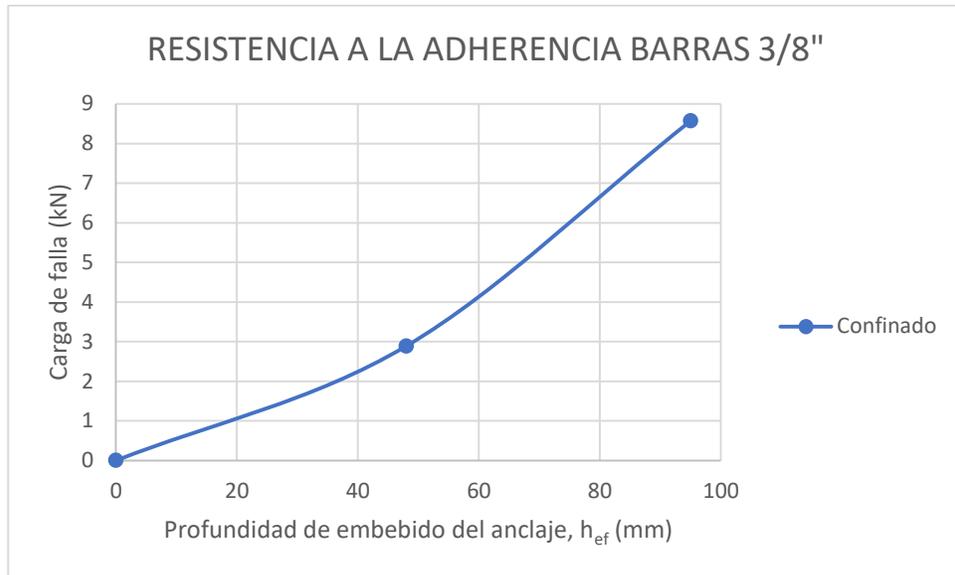


Figura 51. Resistencia teórica a la adherencia barras 3/8".

Fuente: Autor

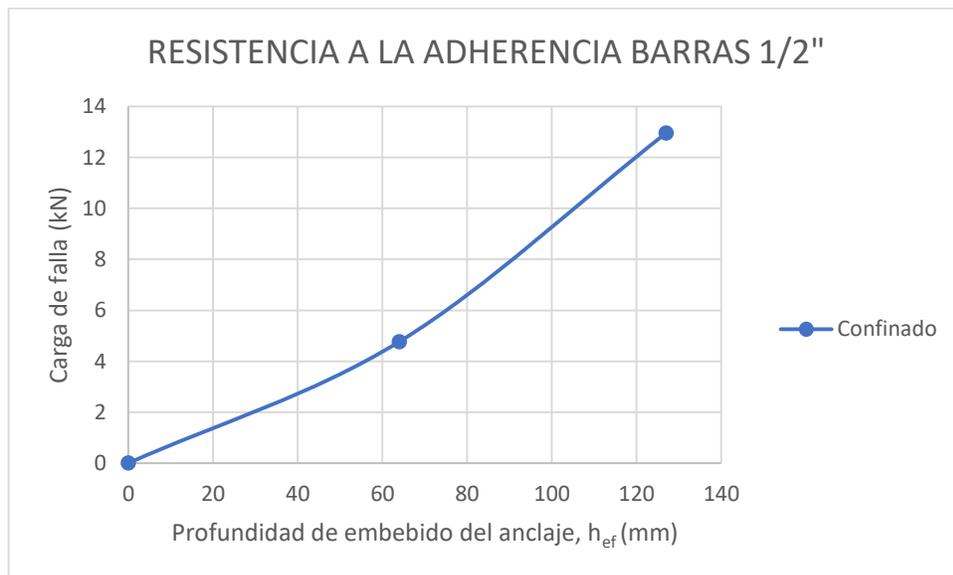


Figura 52. Resistencia teórica a la adherencia barras 1/2".

Fuente: Autor

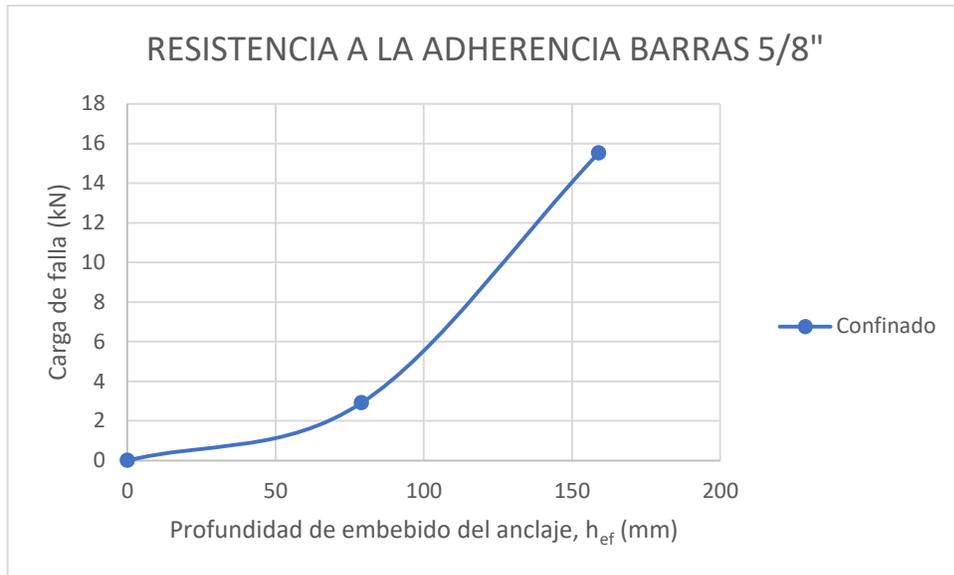


Figura 53. Resistencia teórica a la adherencia barras 5/8".

Fuente: Autor

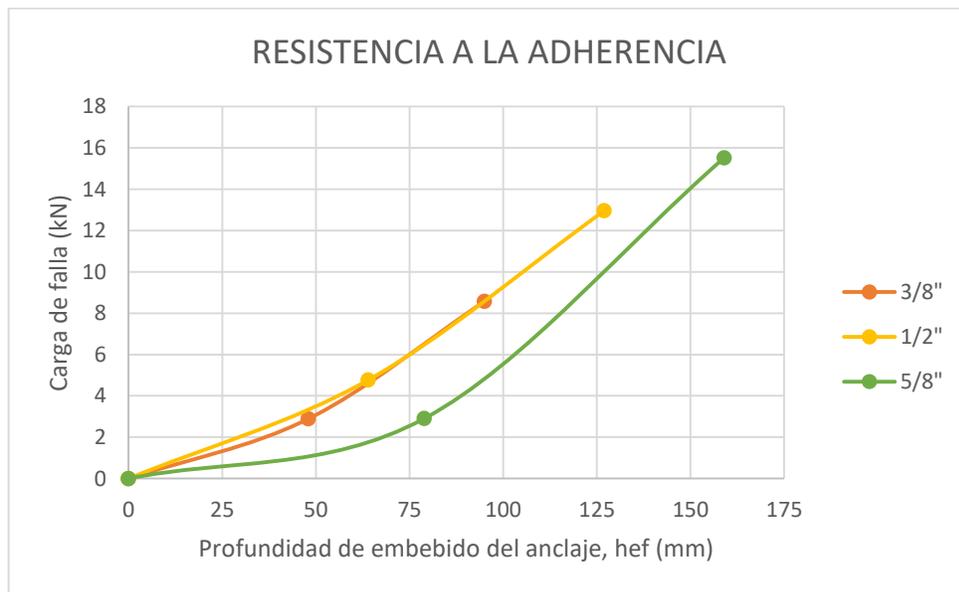


Figura 54. Resistencia teórica a la adherencia.

Fuente: Autor

En la tabla 23 se puede evidenciar una comparativa entre las cargas promedio de falla obtenidos en campo y los resultados del cálculo de la resistencia teórica a la adherencia calculados.

Tabla 23. Resultados ensayos in situ vs N_a .

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla promedio (KN)	N_a (kN)
3/8"	48	Confinado	37,43	2,89
3/8"	95	Confinado	46,63	8,57
1/2"	64	Confinado	33,39	4,77
1/2"	127	Confinado	75,51	12,96
5/8"	79	Confinado	58,6	2,91
5/8"	159	Confinado	114,6	15,52

5.4 Modalidad teórica de falla para de anclajes a tracción

A continuación, se mostrarán las modalidades teóricas de falla en anclajes para barras de diámetro 3/8", 1/2" y 5/8" tal como se muestra en las figuras 55, 56 y 57.

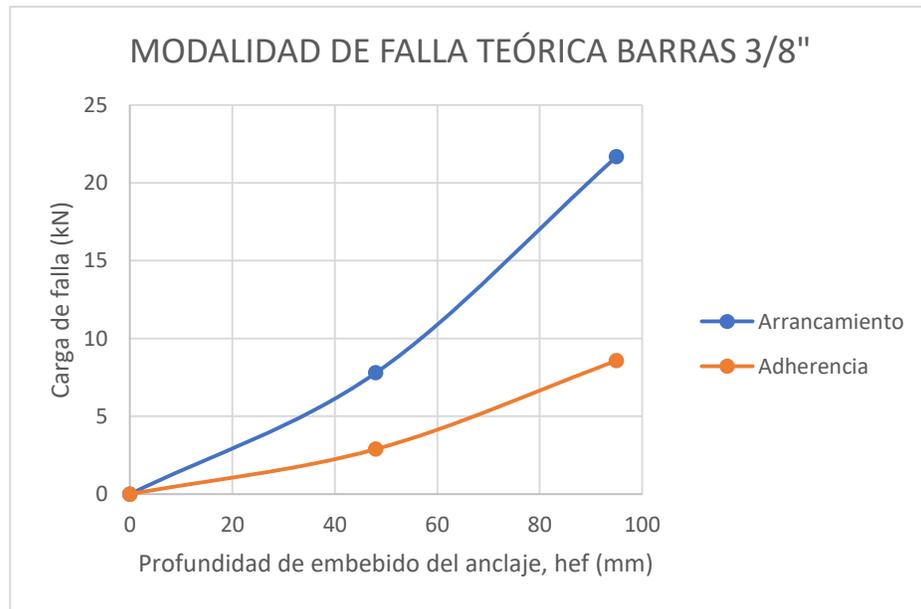


Figura 55. Modalidad de falla teórica barras 3/8".

Fuente: Autor

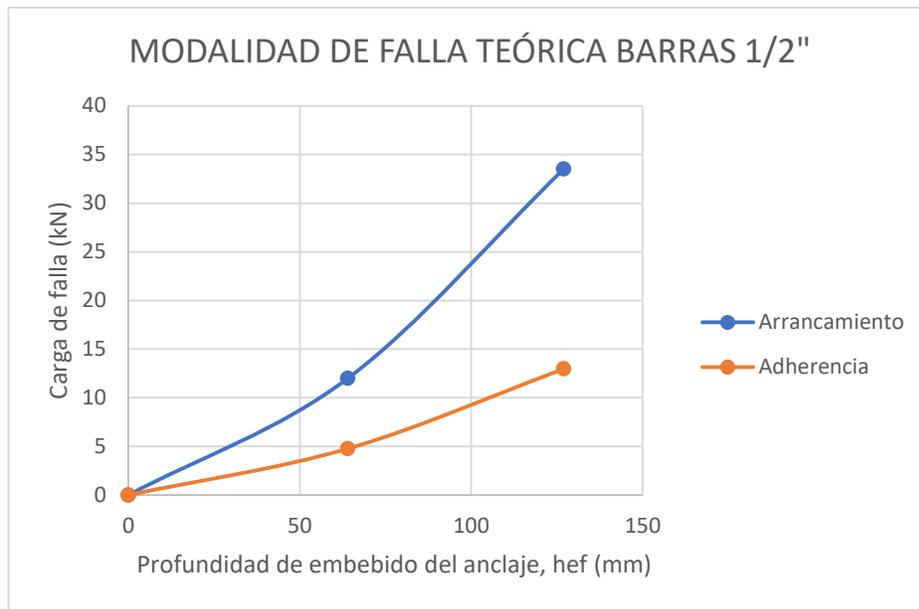


Figura 56. Modalidad de falla teórica barras 1/2".

Fuente: Autor

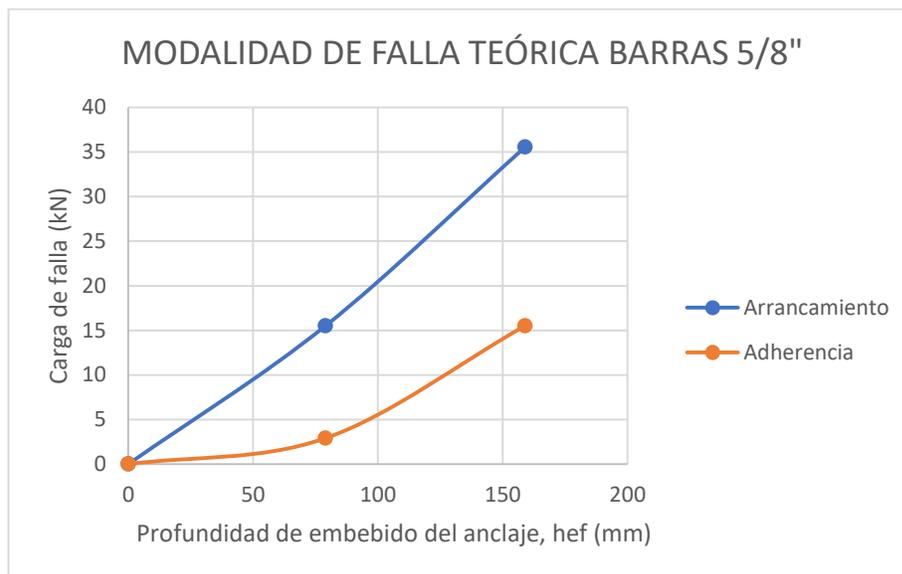


Figura 57. Modalidad de falla teórica barras 5/8".

Fuente: Autor

5.5 Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante.

Esta resistencia se calcula basándose en la sección 17.5.1 del ACI 318s-14 Capítulo 17 la cual nos arroja la siguiente formula:

$$V_{sa} = 0.6 A_{se} v f_{uta}$$

En la tabla 24 se muestran los resultados teóricos de esta resistencia, así mismo en la figura 58 se evidencia de manera gráfica la resistencia del acero en un anclaje sometido a cortante. Es importante resaltar que la varilla utilizada en los experimentos corresponde a varilla corrugada ASTM A-706, la cual según sus propiedades mecánicas tiene un límite de fluencia mínimo de 420 MPa y un máximo de 550 Mpa.

Tabla 24. Resistencia teórica del acero a cortante.

Fuente: Autor

Diámetro en pulgadas	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	f _{uta} (MPa)	V _{sa} (kN)
1/4"	6,4	32	550	10,56
3/8"	9,5	71	550	23,43
1/2"	12,7	129	550	42,57
5/8"	15,9	199	550	65,67
3/4"	19,1	284	550	93,72
7/8"	22,2	387	550	127,71
1"	25,4	510	550	168,3
1-1/8"	28,7	645	550	212,85
1-1/4"	32,3	819	550	270,27
1-3/8"	35,8	1006	550	331,98
1-3/4"	43	1452	550	479,16
2-1/4"	57,3	2581	550	851,73



Figura 58. Resistencia teórica a cortante del acero ASTM A-706.

Fuente: Autor

En la figura 59 se evidencian los resultados de los ensayos a cortante obtenidos en campo.

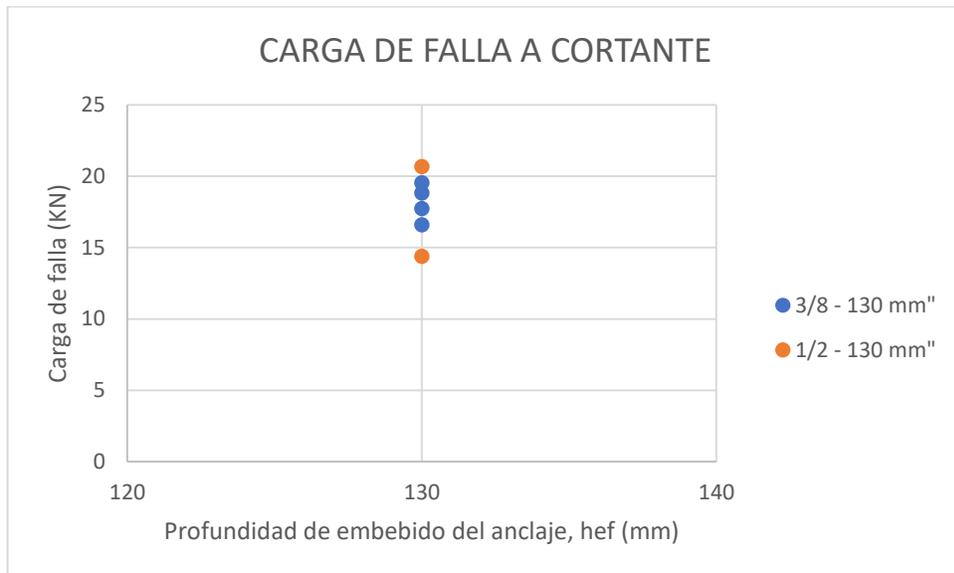


Figura 59. Cargas de falla a cortante.

Fuente: Autor

En la tabla 25 se puede evidenciar una comparativa entre las cargas promedio de falla obtenidos en campo y los resultados del cálculo de la resistencia teórica del acero a cortante calculados.

Tabla 25. Resultados ensayos in situ vs V_{sa} .

Fuente: Autor

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio (kN)	V_{sa} (kN)
3/8"	100	19,52	18,16	23,43
		17,71		
		16,59		
		18,81		
1/2"	125	20,67	17,52	42,57
		14,37		

5.6 Resultados pertenecientes a otras investigaciones.

Con la finalidad de comparar en el capítulo siguiente los resultados obtenidos en campo ejecutados durante esta investigación se recurre a continuación a mostrar los resultados obtenidos de las siguientes dos investigaciones. **“Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte”**, desarrollada como trabajo de grado por el ingeniero **Humberto Morales Monroy**, así como **“Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos”**, desarrollada como trabajo de grado por el ingeniero **Ronald Camilo Ramírez Martínez**.

5.6.1 Resultados ensayos de anclajes en concretos de alta resistencia.

A continuación, en las tablas 26, 27 y 28 se expondrán los resultados obtenidos en campo de la investigación **“Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte”**

Tabla 26. Ensayos confinados a tensión en concretos de alta resistencia.

Fuente: Esta tabla ha sido adaptada de “Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte”, por H. Morales, 2018

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla
3/8	48	15,10	Acero
	95	15,20	Acero
	190	15,50	Acero
1/2	64	27,30	Acero
	127	35,50	Acero
	254	36,00	Acero
5/8	79	40,30	Acero
	159	44,20	Acero
	318	49,80	Acero

Tabla 27. Ensayos no confinados a tensión en concretos de alta resistencia.

Fuente: Esta tabla ha sido adaptada de “Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte”, por H. Morales, 2018

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla
3/8	24	8,80	Adherencia
	48	39,00	Arrancamiento
	79	47,20	Acero
	95	47,60	Acero
1/2	32	17,40	Arrancamiento
	64	42,00	Arrancamiento
	95	72,00	Arrancamiento
	127	89,00	Acero
5/8	40	16,90	Arrancamiento
	79	63,80	Arrancamiento
	119	139,90	Acero
	159	140,70	Acero

Tabla 28. Ensayos a cortante en concretos de alta resistencia.

Fuente: Esta tabla ha sido adaptada de "Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte", por H. Morales, 2018

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla
3/8	48	14,10	Acero
	95	15,10	Acero
1/2	64	25,80	Acero
	127	26,40	Acero

5.6.2 Resultados ensayos de anclajes en concretos livianos.

A continuación, en las tablas 29, 30 y 31 se expondrán los resultados obtenidos en campo de la investigación **"Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos"**

Tabla 29. Ensayos confinados a tensión en concreto liviano.

Fuente: Esta tabla ha sido adaptada de “Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos”, por R. Ramírez, 2019

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla
3/8	48	43,24	39,03	Adherencia
	48	40,37		Adherencia
	48	33,47		Adherencia
	95	54,40	51,32	Acero
	95	47,54		Acero
	95	52,01		Acero
1/2	64	39,26	42,71	Adherencia
	64	40,88		Adherencia
	64	47,99		Adherencia
	127	62,32	63,75	Concreto en el borde
	127	56,15		Concreto en el borde
	127	72,80		Concreto en el borde
5/8	79	45,31	47,28	Concreto en el borde
	79	55,16		Concreto en el borde
	79	41,37		Concreto en el borde
	159	137,91	129,37	Concreto en el borde
	159	149,73		Acero
	159	100,48		Concreto en el borde

Tabla 30. Ensayos no confinados a tensión en concreto liviano.

Fuente: Esta tabla ha sido adaptada de “Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos”, por R. Ramírez, 2019

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla
3/8	48	20,98	21,35	Arrancamiento
	48	21,49		Arrancamiento
	48	21,57		Arrancamiento
	95	35,86	38,66	Arrancamiento
	95	39,75		Arrancamiento
	95	40,39		Arrancamiento
1/2	64	25,61	25,46	Arrancamiento
	64	23,64		Arrancamiento
	64	27,12		Arrancamiento

Tabla 31. Ensayos a cortante en concreto liviano.

Fuente: Esta tabla ha sido adaptada de "Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos", por R. Ramírez, 2019

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio (kN)	Modo de falla
3/8	100	19,52	18,16	Concreto
	100	17,71		Concreto
	100	16,60		Concreto
	100	18,81		Concreto
1/2	125	20,89	21,14	Concreto
	125	18,64		Concreto
	125	23,89		Concreto

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los valores de resistencia teórica obtenidos de las ecuaciones del reglamento ACI 318s-14, y los valores de resistencia real obtenidos de los ensayos realizados se procede a realizar una comparación entre los dos, calculando el coeficiente de reducción de resistencia.

6.1 Coeficiente de relación experimental vs teórico

Para esta investigación, el coeficiente de relación experimental vs teórico se calcula como el valor de la carga promedio de falla sobre la carga teórica calculada como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Coeficiente de relación} = \frac{\text{Carga promedio de falla}}{\text{Carga teórica de falla}}$$

6.2 Ensayos confinados a tensión

A continuación, en la tabla 32 se presentarán los resultados obtenidos de los ensayos confinados a tensión con barras ASTM A-706.

Tabla 32. Resultados ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla promedio (KN)	Carga teórica (KN)	Coef. relación
3/8"	48	Confinado	37,43	39,05	0,96
3/8"	95	Confinado	46,63	39,05	1,19
1/2"	64	Confinado	33,39	70,95	0,47
1/2"	127	Confinado	75,51	70,95	1,06
5/8"	79	Confinado	58,60	109,45	0,54
5/8"	159	Confinado	114,60	109,45	1,05

Como se puede evidenciar en los resultados mostrados por la tabla 31 se puede decir que a mayor profundidad de embebido del anclaje mayor será la carga de falla obtenida, así como a mayor área de la barra más resistencia. Hay una excepción la cual se puede identificar la barra de 1/2" a una profundidad de embebido de 64mm la cual nos arroja una carga de falla inferior a una barra de 3/8" a una profundidad de embebido de 48 mm. Es importante mencionar que en la totalidad de los ensayos confinados a tensión con barras ASTM A-706, el fallo ocurrió en el epóxico tal como se muestra en la figuras 60 y 61. Adicionalmente se observa que los valores de carga promedio obtenidos en campo son similares a excepción de la barra de 5/8" a una profundidad de 79 mm en donde la carga teórica duplica la carga promedio de falla.



Figura 60. Falla por adherencia en ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor



Figura 61. Falla por adherencia en ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor

6.3 Ensayos no confinados a tensión

A continuación, en la tabla 33 se presentarán los resultados obtenidos de los ensayos no confinados a tensión con barras ASTM A-706.

Tabla 33. Resultados ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Tipo	Carga de falla promedio (kN)	Ncb (kN)	Carga obtenida/ Carga calculada	h/d
3/8"	48	No confinado	18,12	7,79	2,3	5
3/8"	95	No confinado	36,52	21,68	1,7	10
1/2"	64	No confinado	28,24	11,99	2,4	5
1/2"	127	No confinado	56,8	33,51	1,7	10
5/8"	79	No confinado	37,27	15,51	2,4	5

Como se puede evidenciar en los resultados mostrados por la tabla se puede decir que a mayor profundidad de embebido del anclaje mayor será la carga de falla obtenida, así como a mayor área de la barra más resistencia. Al igual que en el ensayo anterior se evidencia que la carga de falla para una barra de 5/8" a una profundidad de embebido de 79 mm es menor que la carga de falla de una barra de 1/2" a una profundidad de embebido de 127 mm. Es importante mencionar que en la totalidad de los ensayos no confinados a tensión con barras ASTM A-706, el fallo ocurrió en el concreto por arrancamiento tal como se muestra en la figuras 62 y 63. También se puede evidenciar la notoria diferencia en este ensayo entre los valores de carga promedio y los valores teóricos en donde la gran mayoría la carga promedio de falla duplica e incluso casi triplica en dos situaciones la carga teórica calculada por medio de la normativa del ACI.



Figura 62. Falla del concreto en ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor



Figura 63. Falla del concreto en ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor

6.4 Ensayos a cortante

A continuación, en la tabla 34 se presentarán los resultados obtenidos de los ensayos a cortante con barras ASTM A-706.

Tabla 34. Resultados ensayos a cortante.

Fuente: Autor

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla promedio (kN)	Carga teórica (kN)	Coef. reducción
3/8"	130	18,16	23,43	0,78
1/2"	130	17,52	42,57	0,41

Tal como se evidencia en la tabla 34 se observa que la carga de falla promedio para barras de 1/2" es ligeramente menor que la carga promedio de falla para barras de 3/8". Adicionalmente como se muestra en la figura 64 se puede identificar fallo del concreto en el borde de la losa ensayada, así como el corte en el acero ASTM A-706. En los resultados de este ensayo se logra evidenciar la cercanía en cuanto a resultados de la carga promedio de falla y la carga teórica calculada para barras de 3/8", caso contrario en las barras de 1/2" en las cuales la carga teórica es superior en más del doble a la carga promedio de falla.



Figura 64. Falla del concreto y acero en ensayos a cortante.

Fuente: Autor

6.5 Comparaciones

Con los resultados expuestos en el capítulo 5 en sus numerales 5.5.1 y 5.5.2 se puede analizar lo siguiente:

- El modo de falla predominante de los anclajes en los ensayos confinados a tensión en concreto de alta resistencia es por falla del acero, mientras que en los realizados en concreto liviano con barra corrugada fallan por arrancamiento. Esto se puede explicar debido a las diferencias de los ensayos en cuanto a sus materiales, tipo de barra utilizada, resistencia del concreto, geometría de la losa y separación entre anclajes.
- El modo de falla de los anclajes en los ensayos no confinados a tensión en concreto de alta resistencia no posee un común denominador debido a que como se expone en la tabla 27 se presentan de manera aleatoria, presentándose las tres modalidades de falla (adherencia, arrancamiento y falla en el acero); al contrario, en los anclajes en concreto liviano con barra corrugada fallan en su totalidad por adherencia.
- La modalidad de falla de los anclajes en concreto de alta resistencia en los ensayos a cortante corresponde a la de falla del acero, mientras que en los anclajes en concreto liviano y barra corrugada presentan modalidad de falla en el acero y concreto.
- En anclajes en concreto liviano con barra enroscada durante los ensayos confinados a tensión se presentan las modalidades de falla por adherencia, acero y falla del concreto en el borde. En cambio, en anclajes en concreto liviano con barra corrugada se presenta únicamente falla por adherencia.
- En los ensayos no confinados a tensión en anclajes en concreto liviano con barra enroscada se presenta únicamente falla por arrancamiento al igual anclajes en concreto liviano con barra corrugada.
- Durante los ensayos a cortante en anclajes en concreto liviano con barra enroscada se evidenció modalidad de falla en el acero, en cambio en anclajes en concreto liviano con barra corrugada se presenta modalidad de falla en el concreto y acero.
- A continuación, en la tabla 35 se mostrarán las comparaciones respectivas a la carga de falla en ensayos confinados a tensión entre barras corrugadas y enroscadas en concreto liviano. Es importante resaltar que los valores de carga de falla de las barras enroscadas fueron obtenidos de la tesis **“Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos”** desarrollada por el ingeniero Ronald Camilo Martínez Ramírez.

Tabla 35. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos confinados a tensión en concreto liviano.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio barra corrugada (kN)	Carga de falla promedio barra enroscada (kN)
3/8"	48	31,52	37,43	39,03
		36,45		
		44,33		
	95	49,25	46,63	51,32
		46,3		
		44,33		
1/2"	64	22,81	33,39	42,71
		44,95		
		32,42		
	127	80,28	75,51	63,75
		76,77		
		69,48		
5/8"	79	41,63	58,60	47,28
		61,41		
		72,76		
	159	117,22	114,60	129,37
		130,03		
		96,54		

En la figura 65 se puede evidenciar de manera gráfica las diferencias entre cargas de falla de anclajes corrugados y enroscados en concreto liviano a ensayos confinados a tensión, donde se aprecia que los resultados son similares, siendo ligeramente mayor los anclajes enroscados.

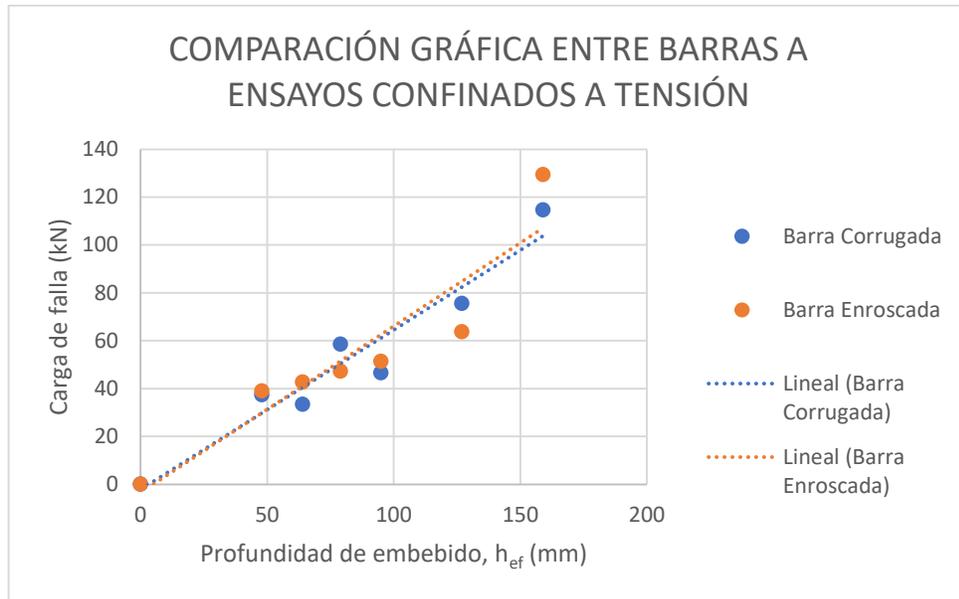


Figura 65. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor

- A continuación, en la tabla 35 se mostrarán las comparaciones respectivas a la carga de falla en ensayos no confinados a tensión entre barras corrugadas y enroscadas en concreto liviano. Al igual que la tabla anterior los valores de carga de falla de las barras enroscadas fueron obtenidos de la tesis **“Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos”** desarrollada por el ingeniero Ronald Camilo Martínez Ramírez.

Tabla 36. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos no confinados a tensión en concreto liviano.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Carga de falla promedio barra corrugada (kN)	Carga de falla promedio barra enroscada (kN)
3/8"	48	18,12	21,35
	95	36,52	38,66
1/2"	64	28,24	25,46
	127	56,8	39
5/8"	79	37,27	31,9

En la figura 66 se puede evidenciar de manera gráfica las diferencias entre cargas de falla de anclajes corrugados y enroscados en concreto liviano a ensayos no confinados a tensión, donde se aprecia que los resultados son similares, siendo ligeramente mayor los anclajes enroscados.

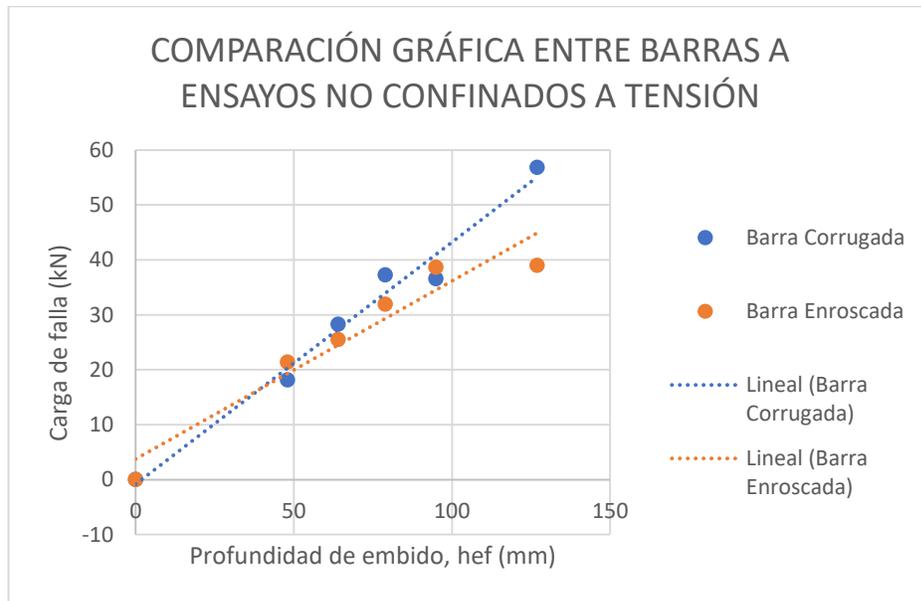


Figura 66. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor

- A continuación, en la tabla 37 se mostrarán las comparaciones respectivas a la carga de falla en ensayos a cortante entre barras corrugadas y enroscadas en concreto liviano. Al igual que las tablas anteriores los valores de carga de falla de las barras enroscadas fueron obtenidos de la tesis **“Anclajes con barra enroscada en placas elaboradas con concretos livianos”** desarrollada por el ingeniero Ronald Camilo Martínez Ramírez.

Tabla 37. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos a cortante en concreto liviano.

Fuente: Autor

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio barra corrugada (kN)	Carga de falla promedio barra enroscada (kN)
3/8"	100	19,52	18,16	18,16
		17,71		
		16,59		
		18,81		
1/2"	125	20,67	17,52	21,14
		14,37		

En la figura 67 se puede evidenciar de manera gráfica las diferencias entre cargas de falla de anclajes corrugados y enroscados en concreto liviano a ensayos de cortante, donde se aprecia que los anclajes enroscados tienen una mayor resistencia.

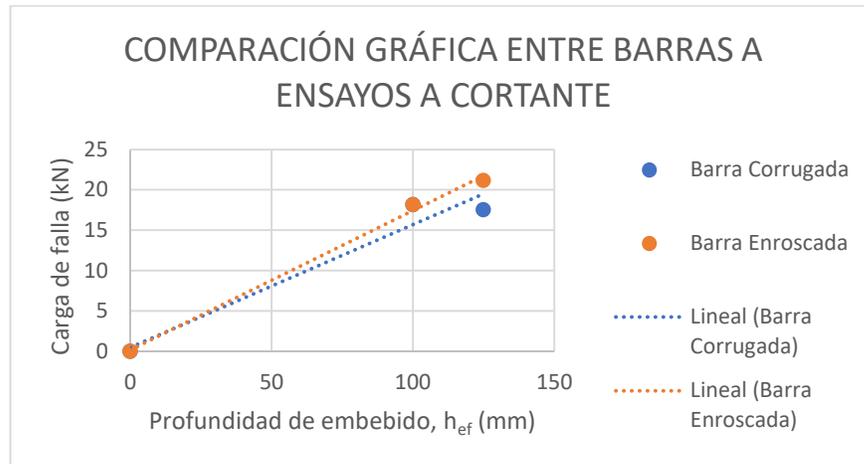


Figura 67. Comparación carga de falla para barras corrugadas y roscadas a ensayos a cortante.

Fuente: Autor

- A continuación, en la tabla 38 se mostrarán las comparaciones respectivas a la carga de falla en ensayos confinados a tensión entre barras corrugadas y enroscadas en concreto de alta resistencia. Es importante resaltar que los valores de carga de falla de las barras enroscadas fueron obtenidos de la tesis **“Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte”** desarrollada por el ingeniero Humberto Morales.

Tabla 38. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio barra corrugada (kN)	Carga de falla promedio barra enroscada (kN)
3/8"	48	31,52	37,43	15,10
		36,45		
		44,33		
	95	49,25	46,63	15,20
		46,3		
		44,33		
1/2"	64	22,81	33,39	27,30
		44,95		
		32,42		
	127	80,28	75,51	35,50
		76,77		
		69,48		
5/8"	79	41,63	58,60	40,30
		61,41		
		72,76		
	159	117,22	114,60	44,20
		130,03		
		96,54		

En la figura 68 se puede evidenciar de manera gráfica las diferencias entre cargas de falla de anclajes corrugados en concreto liviano y en anclajes corrugados en concretos de alta resistencia a ensayos confinados a tensión, donde se aprecia que los anclajes en barra corrugada tienen una mayor resistencia.

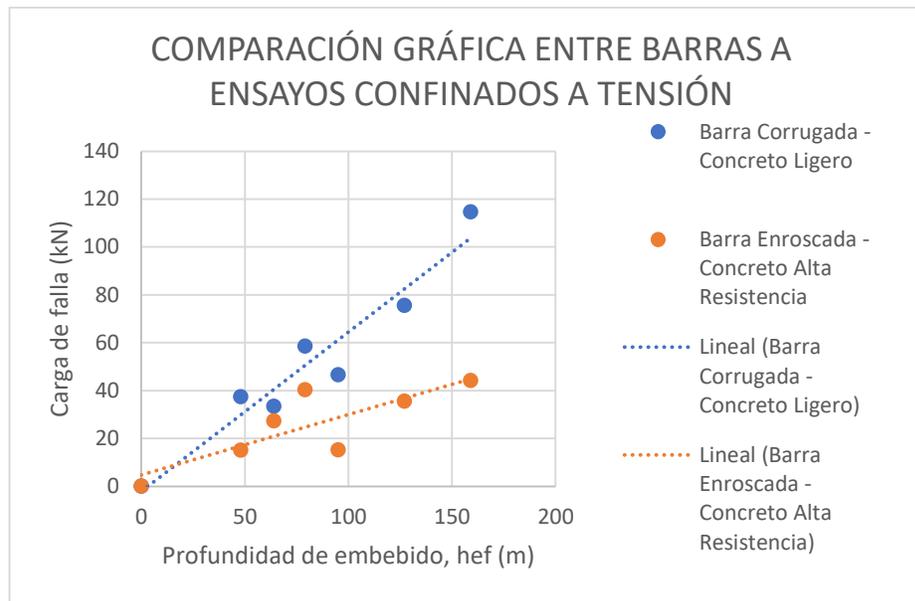


Figura 68. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos confinados a tensión.

Fuente: Autor

- A continuación, en la tabla 39 se mostrarán las comparaciones respectivas a la carga de falla en ensayos no confinados a tensión entre barras corrugadas y enroscadas en concreto de alta resistencia. Es importante resaltar que los valores de carga de falla de las barras enroscadas fueron obtenidos de la tesis **“Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte”** desarrollada por el ingeniero Humberto Morales.

Tabla 39. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor

Diámetro (Pulg.)	Profundidad anclaje (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio barra corrugada (kN)	Carga de falla promedio barra enroscada (kN)
3/8"	48	19,19	18,12	39,00
		16,45		
		18,72		
	95	33,7	36,52	
		34,48		
		41,37		
1/2"	64	31,52	28,24	42,00
		25,61		
		27,58		

En la figura 69 se puede evidenciar de manera gráfica las diferencias entre cargas de falla de anclajes corrugados en concreto liviano y en anclajes corrugados en concretos de alta resistencia a ensayos no confinados a tensión, donde se aprecia que los anclajes en barra enroscada tienen una mayor resistencia.

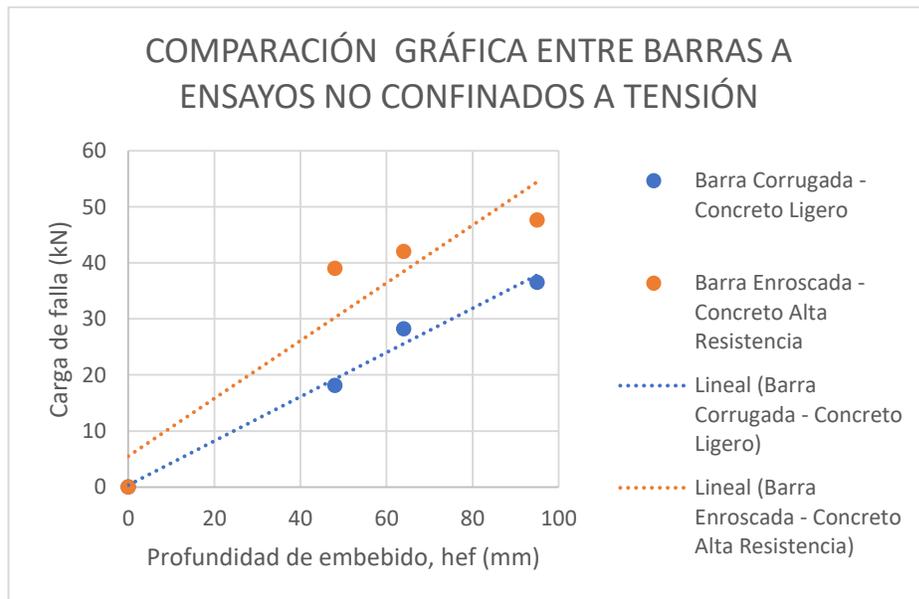


Figura 69. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos no confinados a tensión.

Fuente: Autor

- A continuación, en la tabla 40 se mostrarán las comparaciones respectivas a la carga de falla en ensayos a cortante entre barras corrugadas y enroscadas en concreto de alta resistencia. Es importante resaltar que los valores de carga de falla de las barras enroscadas fueron obtenidos de la tesis “**Comportamiento de anclajes postinstalados en concreto de alta resistencia, sometidos a carga de tensión y corte**” desarrollada por el ingeniero Humberto Morales.

Tabla 40. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos de cortante.

Fuente: Autor

Diámetro (pulg.)	h_{ef} (mm)	Carga de falla (kN)	Carga de falla promedio barra corrugada (kN)	Carga de falla promedio barra enroscada (kN)
3/8"	100	19,52	18,16	15,1
		17,71		
		16,59		
		18,81		
1/2"	125	20,67	17,52	26,4
		14,37		

En la figura 70 se puede evidenciar de manera gráfica las diferencias entre cargas de falla de anclajes corrugados en concreto liviano y en anclajes corrugados en concretos de alta resistencia a ensayos de cortante, donde se aprecia que los anclajes en barra enroscada tienen una mayor resistencia.

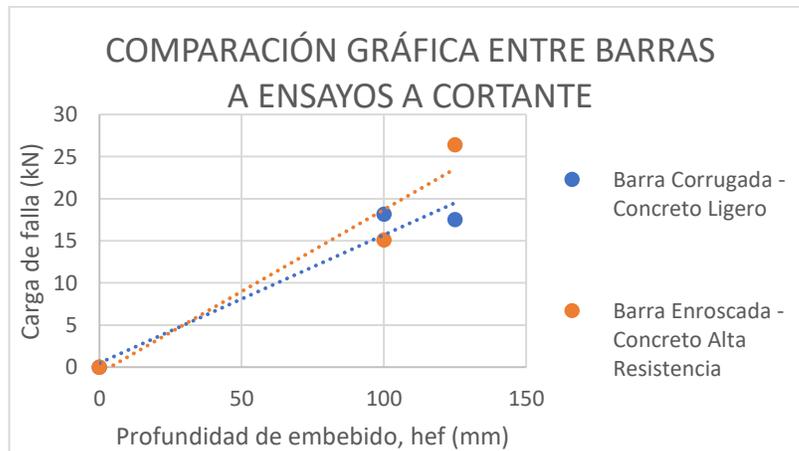


Figura 70. Comparación carga de falla para barras corrugadas en concreto liviano y roscadas en concreto de alta resistencia a ensayos de cortante.

Fuente: Autor

7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos, el tener un proceso claro y correcto desde la dosificación de la mezcla hasta la correcta limpieza de los agujeros para los anclajes y correcta aplicación del adhesivo epóxico permite obtener el modo de falla esperado al utilizar concreto ligero.
- En condiciones no confinadas, la resistencia de anclajes en concreto de alta resistencia es mayor que la resistencia en concreto ligero.
- Realizando un paralelo entre la modalidad de falla de los anclajes post-instalados de concreto ligero con barra corrugada con los anclajes en concreto ligero con barra enroscada se evidencian importantes similitudes en ensayos no confinados a tensión y cortante.
- Es importante respetar las distancias mínimas a los bordes dadas por el ACI 318S-14 Capítulo 17 ya que al no hacerlo se evidencia discrepancia entre los resultados esperados a los obtenidos, tal cual fue el caso de los ensayos confinados a tensión en donde los valores de resistencia teórica poseían una gran discrepancia frente a los valores promedio de falla obtenidos en campo.
- A mayor profundidad de embebido mayor es la carga de falla del anclaje.
- El concreto ligero presenta una solución alternativa cuando las cargas de servicio no son tan exigentes ya que además de presentar una disminución en su peso frente a un concreto convencional permite ser utilizado con la misma dinámica y seguridad que concretos alternativos, respetando ante todo las consideraciones de diseño.
- Durante la ejecución de los ensayos a cortante se presentó una falla horizontal lo cual dañó otros anclajes, por tal motivo durante el desarrollo de la investigación se evidenciaron tan pocos resultados en los ensayos a cortante.
- Al realizar la comparación entre los valores de resistencia teórica y valores experimentales se encontraron resistencias teóricas de hasta 6 veces menores en comparación con las resistencias obtenidas experimentalmente, esto se debe en parte a que las expresiones provistas en el código ACI 318 son conservadores e incluyen varios factores de reducción.

8. RECOMENDACIONES

Para próximas investigaciones que continúen con la línea del presente documento se recomienda:

- Realizar ensayos de barras helicoidales en concreto reforzado de fibra de vidrio.
- Ensayar los anclajes ante cargas de repetición e impacto.

9. BIBLIOGRAFÍA

ACI. 2011. American Concrete Institute. [En línea] Septiembre de 2011. [Citado el: 28 de Octubre de 2019.] <https://es.scribd.com/doc/312253118/ACI-355-4M-11-Qualification-of-Post-Installed-Adhesive-Anchors-in-Concrete-and-Commentary-Metric>. ISBN 978-0-87031-409-4.

ACI, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. 2015. American Concrete Institute. [En línea] 14 de Abril de 2015. [Citado el: 22 de Octubre de 2019.] <https://www.acicolombia.org.co/producto/aci-318s-14/>.

BERMÚDEZ, WILLIAM y PAÉZ, DIEGO. 2017. Modos de falla en anclajes epóxicos post-instalados en concretos pobres, sometidos a ensayos de tracción directa. [En línea] Septiembre de 2017. [Citado el: 4 de Noviembre de 2019.] <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1504/1381>. 2145-9282/2422-2399.

BERMÚDEZ, WILLIAM, CUERVO, CAMILO y RODRÍGUEZ, JUAN. 2017. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 3.4.3 *Efecto de la longitud y el diámetro de barras de acero en anclajes epóxicos, para resistir tracción en concretos de baja resistencia*. [En línea] Octubre de 2017. [Citado el: 5 de Noviembre de 2019.] http://rdigitales.uptc.edu.co/memorias/index.php/3_distancia/admi_agro_2018/paper/viewFile/2327/2388. 2344-7990.

BOJÓRQUEZ, GOZALO, LUNA, ANIBAL y GALLEGOS, RICARDO. 2000. Sílice y lodo de papel, uso de residuos industriales como agregados en un concreto ligero. *Universidad Tecnológica de la Mixteca*. [En línea] Abril de 2000. [Citado el: 3 de Enero de 2020.] http://mmi.utm.mx/edi_anteriores/pdf/e1003.pdf.

BURGOS, ANTONIO ALONSO. 2015. Fomento.es. [En línea] Julio de 2015. [Citado el: 22 de Octubre de 2019.] https://www.fomento.es/recursos_mfom/0710300.pdf.

CARDOZO, ADENAY y CHACON, KARLA. 2012. Web del profesor. [En línea] 2 de Julio de 2012. [Citado el: 22 de Octubre de 2019.] <http://www.webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/Estabilidad.pdf>.

CORTES, ALEXANDER. 2011. Repositorio Institucional . [En línea] 27 de Enero de 2011. [Citado el: 3 de Enero de 2020.] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7506>.

DYMOND y BENJAMIN. 2019. Department of transportation . [En línea] Febrero de 2019. [Citado el: 5 de Diciembre de 2019.] <http://www.dot.state.mn.us/research/reports/2019/201907.pdf>.

LIVITEK. 2019. Livitek.co. [En línea] Enero de 2019. [Citado el: 28 de Octubre de 2019.] https://livitek.co/contenido/uploads/2019/04/LIVITEK_Ficha_tecnica_prototipo.pdf.

OJEDA, ENRIQUE y PONTE, CARLOS. 2017. RELACIÓN PROFUNDIDAD DE ANCLAJE QUÍMICO EN CONCRETO VS DIÁMETRO DE LA VARILLA DE ACERO CORRUGADO QUE GENERA MÁXIMA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN. *Universidad Privada del Norte*. [En línea] 1 de Octubre de 2017. [Citado el: 3 de Enero de 2020.] <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11649>.

PAÉZ, FERNADO y HAMÓN, JENIFFER. 2018. Estudio de la resistencia a tracción en anclajes estructurales. *Scielo.org*. [En línea] 4 de Marzo de 2018. [Citado el: 3 de Enero de 2020.] <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v17n33/1692-3324-rium-17-33-57.pdf>.

RUDA, ARIAS y PAÉZ, DIEGO. 2017. Redalyc.com. [En línea] 13 de Marzo de 2017. [Citado el: 4 de Noviembre de 2019.] <https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91150559007/91150559007.pdf>. 0124-8170/1909-7735.

SIKA. 2017. Mavyal. [En línea] Agosto de 2017. [Citado el: 28 de Octubre de 2019.] https://mavyal.com/folleto_pdf/AnchorFix-3001.pdf.

10. ANEXOS

10.1 Ficha técnica Sika AnchorFix-3001



HOJA TECNICA DE PRODUCTO

Sika AnchorFix-3001

ADHESIVO EPÓXICO DE 2 COMPONENTES PARA ANCLAJES, DE ALTO DESEMPEÑO,
PARA USO EN CONCRETO FISURADO Y NO FISURADO.

DESCRIPCIÓN	El Sika AnchorFix-3001 es un adhesivo epóxico de dos componentes para el anclaje de barras corrugadas y pernos roscados. Fabricado con una tecnología de alta calidad y libre de estireno, el Sika AnchorFix-3001 ha sido específicamente diseñado para proveer una alta resistencia para uso en condiciones secas, húmedas e inundadas en numerosos materiales de base. Es apropiado para cargas medianas y altas en aplicaciones estructurales y no estructurales.
USOS	<ul style="list-style-type: none">• Anclaje de barras corrugadas y pernos roscados en materiales sólidos (concreto, piedra, bloques rellenos con grout).• Para aplicaciones horizontales, verticales y sobre cabeza (referirse a Limitaciones), en donde el fraguado lento permite un tiempo de manejabilidad extendido.• Para anclajes en perforaciones más profundas o en aplicaciones que no deban ponerse en servicio de manera rápida.• Para aplicaciones en ambientes externos, sujetas a cargas dinámicas y vibraciones.• Para anclaje de acero estructural al concreto, barandas de seguridad, balcones, cubiertas corredizas (canopies), vallas, pasamanos, estantes, maquinaria, soportes en mampostería, asientos de escenarios deportivos, barras de acero.
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none">• Producto versátil que permite aplicaciones como un adhesivo y como anclaje.• Fragua en condiciones secas, húmedas e inundadas.• Cura sin exhibir presiones de expansión.• El tiempo gel y el tiempo abierto extendidos sirven para hacer anclajes profundos.• Permite hacer anclajes cerca de los bordes libres.• Para anclaje de barras corrugadas y pernos roscados.• Para anclajes en concreto fisurado y no fisurado.• Resistente a un amplio rango de químicos, que incluyen soluciones acuosas de cloruro de aluminio, nitrato de aluminio al 10% de concentración, combustible de avión, diesel, petróleo doméstico y muchas otras sustancias a 75°C reteniendo al menos el 80% de sus propiedades físicas.• Soporta cargas grandes. <p>Aprobaciones</p> <ul style="list-style-type: none">• Aprobado según IAPMO/ICC-ES. Según AC308 ESR para concreto fisurado y no fisurado. Ver el reporte ESR-3608 del ICC-ES.• Aprobado para el contacto con agua potable según ANSI/NSF estándar 61.• TRA (The Road Authority) que cumple con la especificación MI-120 del Ministry of Transportation of Ontario (MTO): Evaluation of Pull-out testing of Epoxy Coated Dowels in Concrete Using Grouts and Epoxies. ISBN 0-7729-4236-6.• Aprobado según el Ministère des Transports du Québec.
DATOS TECNICOS	Empaque Cartucho de 600 mL Color Bronce

Hoja Técnica de Producto
Sika AnchorFix-3001
Versión: 01/2015

Vide en el recipiente 24 meses si es almacenado en su empaque original, sin abrirse, en un ambiente fresco y en condiciones secas, lejos de los rayos directos del sol a una temperatura entre 5°C y 20°C. Precondicione el producto por encima de 10°C para facilitar su aplicación cuando se usen pistolas manuales y cuando se trabaja a bajas temperaturas.

Relación de mezcla A:B = 1:1 en volumen.

Propiedades a 20°C (68°F) y 50% R.H. (Si no se especifica otra cosa)

Densidad ASTM D1875 : 1.7 kg/L

Aplicación

Temperatura de la resina y el sustrato	Tiempo de manejabilidad	Tiempo de Carga
0° 5°C (32° 41°F)		72 hrs
5° 10°C (41° 50°F)	30 min	30 hrs
10° 15°C (50° 59°F)	20 min	12 hrs
15° 20°C (59° 68°F)	15 min	8 hrs
20° 25°C (68° 77°F)	11 min	7 hrs
25° 30°C (77° 86°F)	8 min	6 hrs
30° 35°C (86° 95°F)	6 min	5 hrs
35° 40°C (95° 104°F)	4 min	4 hrs
40°C (104°F)	3 min	3 hrs

*Adhesivo mantenido a 5°C como mínimo

Resistencia a la compresión ASTM D695	
24 horas	59 MPa (8500 psi)
7 días	85 MPa (12 300 psi)
Módulo de elasticidad a compresión ASTM D695	
7 días	5 GPa
Resistencia a la tensión ASTM D638	
1 día	18 MPa (2610 psi)
7 días	23.5 MPa (3400 psi)
Resistencia a la tensión ASTM D638 (Elongación de rotura)	
1 día	6.6%
7 días	5.9%
Módulo de elasticidad a la tensión ASTM D638	
1 día	5.7 GPa
7 días	5.5 GPa
Esfuerzo a flexión ASTM D790	
24 horas	45 MPa (6525 psi)
Temperatura de deflexión ASTM - D790	
7 días	49°C (120°F)
Conductividad eléctrica/Disipación	
	5.1E+09 Ωcm @ 500 V
	5.4E+09 Ωcm @ 1000 V
	5.3E+09 Ωcm @ 2000 V
	5.0E+09 Ωcm @ 4000 V
VOC (SCAQMD Rule 1168)	4.5 g/L

Las propiedades del producto son valores promedio típicamente, obtenidos en condiciones de laboratorio. Se pueden esperar variaciones razonables en la obra debido a factores locales incluyendo condiciones ambientales, preparación, aplicación, curado y métodos de prueba.

MODO DE EMPLEO

Preparación de la superficie:

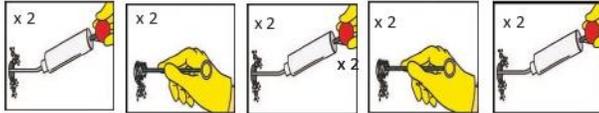
La superficie debe estar limpia y sana. Las superficies/perforaciones pueden estar secas, húmedas o inundadas. Quite el polvo, lechada grasa, agentes curadores, impregnaciones, ceras, partículas extrañas y material suelto.

La resistencia del sustrato puede verificarse, con ensayos de tensión directa (pull-off) si se desconoce su valor.

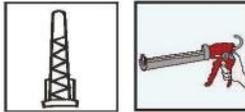
Aplicación: Sustrato sólido.



1. Taladre la perforación con el diámetro y profundidad correctos, usando un taladro roto-percutor y una broca de tungsteno.



2. Limpie totalmente la perforación según la secuencia indicada arriba. Use un soplador (o un compresor) desde el fondo de la perforación y sople 2 veces. El aire a presión debe estar libre de aceite y agua y con una presión de mínimo 6 bares (90 psi).
3. Seleccione un cepillo de cerdas metálicas, asegurándose que esté en buenas condiciones y con el diámetro adecuado para caber en la perforación. Introduzca el cepillo adentro de la perforación y sáquelo/métalo haciendo un movimiento de rotación para retirar todo el material suelto. Repita de nuevo esta operación.

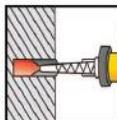


4. Seleccione la boquilla de mezclado y la pistola adecuadas.



5. Desensrosque y quite la tapa protectora. Coloque la boquilla de mezclado en el cartucho. Monte el cartucho en la pistola y accione el gatillo hasta que el producto salga con un color y consistencia uniformes.

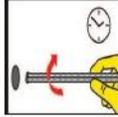
Nota: La boquilla de mezclado Q2 se compone de 2 secciones. Una sección contiene los elementos de mezclado y la otra sección es una extensión. Conecte las dos secciones empujándolas firmemente hasta ajustarlas. Cuando sea necesario, corte una manguera de extensión con la profundidad de la perforación y colóquela en la punta de la boquilla mezcladora. Para barras de 16mm (5/8 pulgada) de diámetro ó superior, ajuste el retenedor de resina correcto al final de la manguera de extensión.



6. Inserte la punta de la boquilla mezcladora (detenedor de resina/manguera de extensión, si es del caso) hasta el fondo de la perforación. Empiece a aplicar la resina con una presión constante y uniforme, sacando lentamente la boquilla de la perforación. Llene la perforación aproximadamente de $\frac{3}{4}$ de su profundidad y retire la boquilla mezcladora.

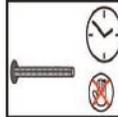
Nota: Si suspende la colocación de la resina, restablezca la consistencia de la misma antes de continuar. Cuando esté utilizando una pistola manual, quite

la presión de los pistones presionando con el pulgar la platina detrás de ellos cada vez que haga una pausa.



7. Inserte el perno roscado o la barra corrugada (ambos deben estar libres de óxido, aceite o cualquier agente extraño) hasta el fondo de la perforación haciendo un movimiento de atrás / adelante y rotando, asegurándose que toda la barra/perno quede embebido. Puede ajustar la posición dentro del tiempo de manejabilidad del producto.

El exceso de resina debe salir de manera uniforme alrededor de la barra/perno indicando que la perforación está llena. Se debe retirar este exceso de resina antes de que endurezca.



8. No mueva la barra/perno hasta que se llegue al tiempo de carga, el cual dependerá de las condiciones del sustrato y la temperatura ambiente.

Limpieza

Recoja con un material absorbente. Elimine de acuerdo con las regulaciones locales. El producto que no ha curado puede retirarse con Colmasolvente Epóxico. El material ya curado solo puede retirarse por medios mecánicos.

Limitaciones

- El Sika AnchorFix-3001 no es un producto con fines decorativos o estéticos y cuando es usado en sustratos porosos o piedra reconstituida, puede manchar. Si esto es una preocupación, se recomienda consultar al Departamento Técnico de Sika, o que se hagan ensayos antes de usar el producto.
- Almacene y precondicione el producto por encima de los 10°C para facilitar la aplicación cuando se utilizan pistolas manuales; a mayor temperatura será más fácil colocar el producto (se recomienda no almacenar a una temperatura mayor a 22°C ya que el tiempo de manejabilidad se reduce significativamente).
- La edad mínima del concreto deberá ser de 28 días, dependiendo de las condiciones de curado.
- No diluir con solventes, ya que no curará de manera apropiada.
- La calidad de la pistola afectará la aplicación. Asegúrese que la pistola esté en buenas condiciones, que los pistones estén alineados de manera correcta para que apliquen la presión de manera uniforme.
- No debe aplicarse el Sika AnchorFix-3001 en sustratos congelados.
- La instalación de anclajes horizontales o sobre-cabeza que deben resistir cargas sostenidas debe realizarse por personal calificado, certificados de acuerdo a un programa según el ACI 318 D.9.2.2 ó D.9.2.3.
- Remítirse a la sección 5 del reporte #3608 del ICC-ES para ver las condiciones de uso. Este reporte está disponible en la página web del ICC, ó si se solicita a Sika Colombia.
- Temperatura mínima de aplicación: 4°C.
- Temperatura máxima de aplicación: 40°C.

NOTA: El Sika AnchorFix-3001 ha sido calificado para soportar cargas sostenidas según el ensayo de creep del ICC-ES AC308, en donde un anclaje es cargado y monitoreado en el tiempo. De acuerdo al AC308, los anclajes que pasan el creep test son adecuados para resistir cargas de tensión sostenidas.

Especificación de Instalación

Propiedad	Simbolo	Unidad							
Perno Roscado Diámetro	d_p	pulg	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1-1/4
Diámetro de perforación	d_p	pulg	1/2	9/16	3/4	7/8	1	1-1/8	1-3/8
Tipo de boquilla	-	-	Q	Q	Q/Q2	Q2	Q2	Q2	Q2
Se requiere manguera de extensión?	-	-	$Y1 > 3.5" h_a$	$Y1 > 3.5" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$
Requiere retenedor de resina?	-	-	NO	NO	$RS18 > 10" h_a$	$RS18 > 10" h_a$	$RS22 > 10" h_a$	$RS22 > 10" h_a$	$RS30 > 10" h_a$
Barra Diámetro	d_b	pulg	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#10
Diámetro perforación	d_p	pulg	9/16	5/8	3/4	7/8	1	1-1/8	1-3/8
Tipo de Boquilla	-	-	Q	Q	Q/Q2	Q2	Q2	Q2	Q2
Se requiere manguera de extensión?	-	-	$Y1 > 3.5" h_a$	$Y1 > 3.5" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$	$Y2 > 10" h_a$
Se requiere retenedor de resina?	-	-	NO	NO	$RS18 > 10" h_a$	$RS18 > 10" h_a$	$RS22 > 10" h_a$	$RS22 > 10" h_a$	$RS30 > 10" h_a$
Máximo Torque	T_{max}	kg.m	2.1	4.2	8.3	13.8	17.3	20.8	27.7

Y1: requiere una manguera de extensión de 3/8" (9 mm) de diámetro en la punta de la boquilla tipo Q.

Y2: requiere una manguera de extensión de 9/16" (14 mm) de diámetro en la punta de la boquilla tipo Q2.

RS18: requiere un retenedor de resina(resin stopper) de 18 mm de diámetro.

RS22: requiere un retenedor de resina(resin stopper) de 22 mm de diámetro.

RS30: requiere un retenedor de resina(resin stopper) de 30 mm de diámetro.

h_a : Profundidad de anclaje

* El ingeniero diseñador del proyecto es el responsable por la interpretación de estos datos.

Resistencia admisible para barras de acero

Tipo de barra		Acero al carbón ASTM A 615 Grade 40	
		Tensión admisible, N_{at}	Cortante admisible, V_{at}
#3	lb	2,178	1,122
	kN	9.7	5.0
#4	lb	3,960	2,040
	kN	17.2	9.1
#5	lb	6,138	3,162
	kN	27.3	14.1
#6	lb	8,712	4,488
	kN	38.7	20.0
#7	lb	11,880	6,120
	kN	52.8	27.2
#8	lb	15,642	8,058
	kN	69.6	35.8
#10	lb	25,146	12,954
	kN	111.9	57.6

Tensión: $0.33 \times f_u \times \text{área de la barra}$. - Cortante: $0.17 \times f_u \times \text{área de la barra}$

f_u : esfuerzo último de la barra

* El ingeniero diseñador del proyecto es el responsable por la interpretación de estos datos.

Resistencia admisible para barras de acero

Tipo de barra		Acero al carbón ASTM A 615 Grade 60	
		Tensión admisible, N_u	Cortante admisible, V_u
#3	lb	3,280	1,690
	kN	14.6	7.5
#4	lb	5,831	3,004
	kN	25.9	13.4
#5	lb	9,111	4,693
	kN	40.5	20.9
#6	lb	13,121	6,759
	kN	58.4	30.1
#7	lb	17,859	9,200
	kN	79.4	40.9
#8	lb	23,326	12,016
	kN	103.8	53.4
#10	lb	37,623	19,381
	kN	167.4	86.2

Tensión: $0.33 \times f_u \times \text{área de la barra}$.

Cortante: $0.17 \times f_u \times \text{área de la barra}$

f_u : esfuerzo último de la barra

* El ingeniero diseñador del proyecto es el responsable por la interpretación de estos datos.

Temperatura de servicio	Factor de Reducción
5°C	1.0
20°C	1.0
43°C	0.9
54°C	0.7
66°C	0.5
76°C	0.4
80°C	0.3

Para temperaturas intermedias, se permite interpolar.

Resistencia admisible para pernos roscados

Diametro perno (in)		Acero al carbón ASTM F 1554 Grade 36 (A307 Gr.C)		Acero al carbón ASTM A193 B7		Acero Inoxidable ASTM F 593 CW		Acero Inoxidable ASTM F 593 SH	
		Tensión Admisible, N_u	Cortante Admisible, V_u	Tensión Admisible, N_u	Cortante Admisible, V_u	Tensión Admisible, N_u	Cortante Admisible, V_u	Tensión Admisible, N_u	Cortante Admisible, V_u
3/8"	lb	2,110	1,080	4,550	2,345	3,360	1,870	4,190	2,160
	kN	9.4	4.8	20.2	10.4	16.1	8.3	18.6	9.6
1/2"	lb	3,750	1,930	8,100	4,170	6,470	3,330	7,450	3,840
	kN	16.7	8.6	36.0	18.5	28.8	14.8	33.1	17.1
5/8"	lb	5,870	3,030	12,655	6,520	10,130	5,220	11,640	6,000
	kN	26.1	13.5	56.3	29.0	45.1	23.2	51.8	26.7
3/4"	lb	8,460	4,360	18,220	9,390	12,400	6,390	15,300	7,880
	kN	37.6	19.4	81.0	41.8	55.2	28.4	68.1	35.1
7/8"	lb	11,500	5,930	24,800	12,780	16,860	8,680	20,830	10,730
	kN	51.2	26.4	110.3	56.8	75.0	38.6	92.7	47.7
1"	lb	15,020	7,740	32,400	16,690	22,020	11,340	27,210	14,020
	kN	66.8	34.4	144.1	74.2	97.9	50.4	121.0	62.4
1-1/4"	lb	23,480	12,100	50,640	26,070	34,420	17,730	38,470	19,820
	kN	104.4	53.8	225.1	116.0	153.1	78.9	171.1	88.2

Tensión admisible: $N_u = 0.33 \times f_u \times \text{área del perno}$.

Cortante admisible: $V_u = 0.17 \times f_u \times \text{área del perno}$

f_u : esfuerzo último del perno

* El ingeniero diseñador del proyecto es el responsable por la interpretación de estos datos.

Diámetro Barra	Profundidad		Capacidad admisible del concreto/adherencia					
			Tensión (lb)			Cortante (lb)		
			Pulg	cm	$f'_c=2,500\text{psi}$	$f'_c=4,000\text{psi}$	$f'_c=8,000\text{psi}$	$f'_c=2,500\text{psi}$
3/8" ó #3	2-3/8"	6.0	1,939	2,032	2,178	2,585	2,710	2,904
	4-15/16"	12.5	4,031	4,225	4,528	5,375	5,633	6,038
	7-1/2"	19.0	6,123	6,418	6,878	8,164	8,557	9,171
1/2" ó #4	2-3/4"	7.0	2,527	2,649	2,839	3,369	3,531	3,785
	6-3/8"	16.2	5,858	6,140	6,581	7,811	8,187	8,774
	10"	25.4	9,186	9,631	10,323	12,252	12,842	13,764
5/8" ó #5	3-1/8"	7.9	3,889	4,076	4,368	5,185	5,434	5,824
	7-13/16"	19.8	9,722	10,189	10,921	12,962	13,586	14,561
	12-1/2"	31.8	15,555	16,303	17,473	20,739	21,737	23,298
3/4" ó #6	3-3/4"	9.5	5,200	5,450	5,841	6,933	7,267	7,788
	9-3/8"	23.8	13,000	13,625	14,603	17,333	18,167	19,471
	15"	38.1	20,799	21,800	23,365	27,732	29,067	31,153
1" ó #8	4"	10.2	8,407	8,811	9,444	11,209	11,749	12,592
	12"	30.5	25,221	26,434	28,332	33,628	35,246	37,776
	20"	50.8	42,035	44,057	47,219	56,046	58,743	62,959
1-1/4" ó #10	5"	12.7	10,529	11,036	11,828	14,039	14,715	15,771
	15"	38.1	31,588	33,108	35,484	42,117	44,144	47,312
	25"	63.5	52,646	55,180	59,140	70,195	73,573	78,853

- Los valores arriba mostrados representan valores últimos promedio y cargas de trabajo admisibles. Las cargas de trabajo admisibles han sido reducidas usando un factor de seguridad de 4 para tensión y 3 para cortante, sin embargo en algunos casos, como en seguridad de vida (life safety) pueden ser necesarios factores de seguridad de 10 ó más.
- Las cargas admisibles deben compararse con la capacidad del acero. Controla el valor más bajo.
- Los datos tabulados son aplicables a anclajes aislados en concreto normal no afectados por factores de reducción por distancia al borde ó espaciamiento entre barras. Los valores son válidos para anclajes instalados en concreto seco en perforaciones hechas con taladro roto-percutor y broca de tungsteno (ANSI carbide drill bit).
- Se pueden interpolar datos

* El ingeniero diseñador del proyecto es el responsable por la interpretación de estos datos.

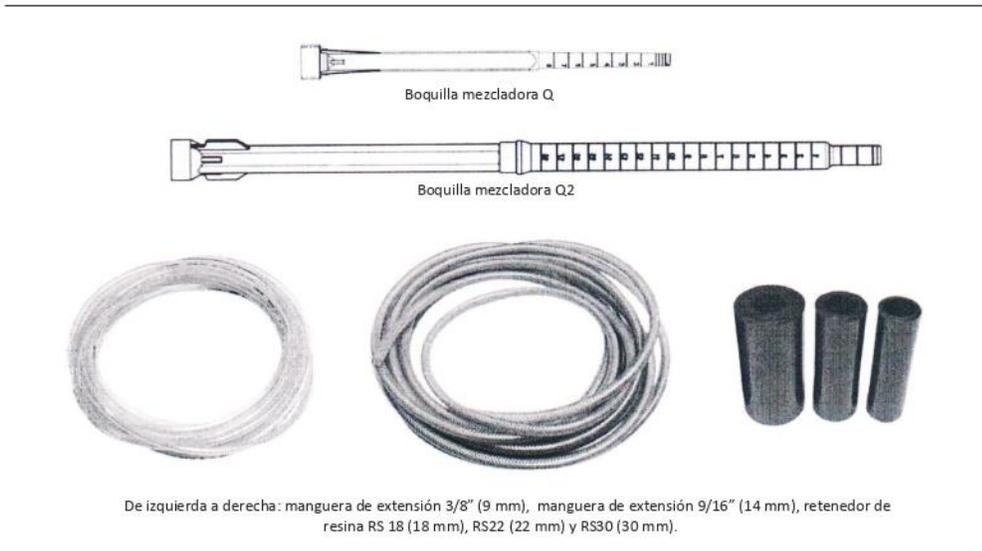
Rendimiento

Diámetro barra:	Pulg	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	
Diámetro perforación:	Pulg	3/8	1/2	9/16	3/4	7/8	1 1/8	1 3/8	
Profundidad:	cm	6.0	6.0	7.0	7.9	9.5	10.2	12.7	
Número de anclajes estimados	Volúmen Cartucho	600 ml	176	99	67	33	20	11	6

* Se asume un desperdicio del 30% en la extrusión inicial y en la perforación llena 3/4 de su profundidad.

Diámetro barra:	Pulg	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	
Diámetro perforación:	Pulg	3/8	1/2	9/16	3/4	7/8	1 1/8	1 3/8	
Profundidad:	cm	7.9	9.5	12.7	15.9	19.0	25.4	31.8	
Número de anclajes estimados	Volúmen Cartucho	600 ml	134	62	37	16	10	4	2

* Se asume un desperdicio del 30% en la extrusión inicial y en la perforación llena 3/4 de su profundidad.



De izquierda a derecha: manguera de extensión 3/8" (9 mm), manguera de extensión 9/16" (14 mm), retenedor de resina RS 18 (18 mm), RS22 (22 mm) y RS30 (30 mm).

NOTA LEGAL

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se debe respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

Sika Ecuatoriana S.A. dispone de un sistema de gestión de la calidad y ambiental certificado de acuerdo a las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 respectivamente, por SGS.

Sika Ecuatoriana S.A. <http://ecu.sika.com>
 Durán.- Km. 3 1/2 vía Durán - Tambo (Casilla 10093) PBX (593-4) 2812700 Fax (593-4) 2801229
 Quito.- Av. Naciones Unidas entre Inaquito y Núñez de Vela. Edificio Metropolitan. PBX (593-4) 2812700
 Cuenca.- Av. Ordoñez Lasso y Los Claveles. Edf. Palermo Tel: +5937 4 089725 - 4102829