

**Maestría en Ingeniería Civil**

**Manual de Diseño de Anclajes al Concreto Según ACI318-19**

**Michell Norvey Muñoz Tirado**

**Bogotá, D.C., 26 de abril de 2021**



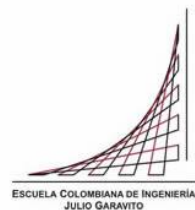
# **Manual de Diseño de Anclajes al Concreto Según ACI318-19**

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

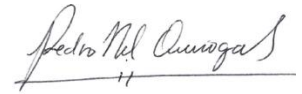
**Pedro Nel Quiroga Saavedra**

**Director**

**Bogotá, D.C., 26 de abril de 2021**



La tesis de maestría titulada “Manual de Diseño de Anclajes al Concreto Según ACI318-19”, presentada por el Ing. Michell Norvey Muñoz Tirado, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.



Director de la tesis

Ing. Pedro Nel Quiroga Saavedra

Jurado

Ing. Carlos Palomino

Jurado

Ing. Jorge Rendón

Bogotá, D.C., día de mes de año

## **Dedicatoria**

El tiempo es el recurso más invaluable que tenemos, poco hacemos y mucho desperdiciamos. A mi esposa Angie Jiménez por ese tiempo brindado y compartido te dedico este logro porque me has inspirado y me has enseñado a valorar el tiempo. A mis padres y mis hermanos por su apoyo y constancia en mi vida. A mis amigos y compañeros que siempre me impulsaron a seguir.

## **Agradecimientos**

Mis más sinceros agradecimientos a todos aquellos que han hecho partícipes en mi formación profesional. Cada una de sus enseñanzas han contribuido a formar mi criterio y fortalecer mi conocimiento para poder realizar este trabajo de grado.

Gracias al Ing. Pedro Nel por su guía durante la ejecución de esta tesis, por sus acertados comentarios y por el tiempo dispuesto de su parte.

## Resumen

Para el diseño de los primeros sistemas de anclajes al concreto se empleaban tablas y se sustentaban en pruebas de carga de tal manera que garantizaran un funcionamiento adecuado ante las solicitaciones de diseño; posterior a esto en año 2002 se incluyeron los sistemas de anclaje al concreto al ACI318 en el apéndice D, pero sin incluir los anclajes adhesivos los cuales aparecen en dicho apéndice hasta el año 2011. El diseño de anclajes requiere de un entrenamiento práctico que debe ser dado en la academia basado en los requisitos de la normatividad vigente actualizada de acuerdo con los estudios de investigación. El poco conocimiento de los ingenieros en el diseño de los anclajes al concreto en el ejercicio profesional se debe a la falta de elementos ilustrativos y académicos que den una guía para encaminar de forma correcta el uso de los anclajes al concreto desde su diseño hasta la instalación en obra. Por tal motivo, el minimizar los errores en el diseño y detallado ampliando el conocimiento sobre los anclajes de concreto y difundiéndolo por medio de la academia, es el objetivo del presente trabajo. El documento presenta los anclajes de acuerdo con la literatura base de estudio y la normatividad del ACI318-19 definiéndolos, indicando los tipos de anclaje, presentando las ventajas y desventajas, las cargas a las que someten, los tipos de falla que presentan, el cálculo de resistencia de los anclajes y como se deben detallar en planos de diseño. Para ello se revisaron estudios que presentan el comportamiento de los anclajes al concreto, preinstalados o postinstalados, en los cuales se informa los tipos de falla y se revisa la formulación presentada en el ACI318-19. Como resultado de este estudio se recopiló la información que sirvió de base para desarrollar un manual de diseño de anclajes al concreto que expone la formulación de la norma de una forma ilustrativa.

**Palabras clave:** anclajes, concreto, modo de falla, cortante, tensión, postinstalados, preinstalado, concreto no fisurado.

## Índice General

Introducción .....	9
Estudios relacionados .....	14
Objetivos .....	21
Objetivo general .....	21
Objetivos específicos .....	21
Alcance .....	22
Contenido .....	23
Capítulo 1. Generalidades .....	23
Capítulo 2. Anclajes: Reseña Histórica, Tipos de Anclaje y Requerimientos .....	23
Capítulo 3. Tipo de Falla y Estados Límites de los Anclajes al Concreto .....	28
Capítulo 4. Diseño de Anclajes Sometidos a Cargas de Tensión .....	32
Capítulo 5. Diseño de Anclajes Sometidos a Cargas de Cortante .....	36
Capítulo 6. Interacción Tracción y Cortante .....	39
Capítulo 7. Consideraciones y Diseño Sismo Resistente .....	39
Capítulo 8. Refuerzo de Anclajes .....	40
Capítulo 9. Ejemplos de Diseño .....	42
Capítulo 10. Anexos .....	51
Bibliografía .....	52

## Índice de Tablas

Tabla 2.2.1 Tipos de anclaje .....	23
Tabla 4.1.1 Número de hilos para anclajes roscados.....	34
Tabla 4.2.1 Factores de modificación para anclajes en tracción.....	36
Tabla 4.5.1 Información de un producto para la obtención del esfuerzo característico.....	38
Tabla 5.2.1 Factores de modificación para anclajes sometidos a cortante .....	38



## Índice de Figuras

Figura 2.1. Tornillo con cabeza hexagonal .....	24
Figura 2.2. Tornillo en J.....	24
Figura 2.3. Tornillo en L.....	25
Figura 2.4. Perno con cabeza soldada.....	25
Figura 2.5. Anclajes adheridos.....	25
Figura 2.6. Anclajes con sobreperforación en su base.....	26
Figura 2.7 Anclajes de expansión con camisa.....	26
Figura 2.8. Anclajes de expansión tipo perno.....	26
Figura 2.9. Anclajes de tornillo.....	27
Figura 2.10. Tipos de sollicitación en anclajes.....	27
Figura 3.1. Falla del acero en anclajes.....	28
Figura 3.2. Falla por deslizamiento del anclaje.....	29
Figura 3.3. Falla por arrancamiento del concreto.....	29
Figura 3.4. Falla por adherencia del concreto.....	29
Figura 3.5. Falla por desprendimiento lateral.....	30
Figura 3.6. Falla por adherencia.....	30
Figura 3.7. Falla del acero en el anclaje por cortante.....	31
Figura 3.8. Falla por desprendimiento del concreto a cortante.....	31
Figura 3.9. Falla por arrancamiento del concreto a cortante.....	31
Figura 4.1. Cálculo para el área efectiva para un solo anclaje.....	33
Figura 8.2. Refuerzo del anclaje a tracción.....	40
Figura 8.2. Refuerzo del anclaje a cortante.....	41
Figura 9.1.1. Esquema ejemplo 9.1.....	40
Figura 9.1.2. Esquema área de influencia.....	41

## **Introducción**

El desarrollo de proyectos de infraestructura se enfrenta, en la actualidad, a grandes demandas de exigencia para suplir las necesidades de la sociedad, teniendo que ser funcionales, eficientes y sostenibles siendo amables con el medio ambiente. Es por tal motivo que debe desarrollarse un proyecto que combine de la mejor forma los materiales optimizando recursos y minimizando tiempos en ejecución de obra.

Sin embargo, cada material ofrece por si solo una capacidad de resistencia que en ocasiones no supe las exigencias de carga o funcionalidad de los proyectos civiles, por tal motivo se trabaja con materiales compuestos, combinando dos o más materiales, aumentando la capacidad en conjunto formando un nuevo material que es mucho más eficiente.

Un ejemplo claro de eso es el concreto reforzado, que aprovecha la capacidad del concreto de resistir compresiones y protege el acero de exposiciones al ambiente y disminuir el riesgo de corrosión que pueda afectar su resistencia y aprovechar su ductilidad para resistir tensiones.

Por otro lado, el desarrollo de proyectos en estructura metálica ha ido creciendo en países como Colombia, en los que la estructura convencional se ha manejado siempre en concreto y mampostería debido a la facilidad de la obtención de estos materiales. Esto hace que se tenga una combinación de materiales en la estructuración de proyectos tales como edificios, bodegas industriales, cubiertas, puentes, entre otros.

Sin embargo, para implantar una estructura metálica se necesita una estructura de soporte la cual transfiera los esfuerzos de carga a la cimentación, en el caso de edificios son los mismos cimientos y para otras estructuras como lo son las cubiertas serán los elementos estructurales como columnas en concreto lo cual es un tipo de construcción muy común en el país.

El reglamento colombiano sismo resistente NSR-10 en su capítulo A.3 en la tabla A.3-4 Sistema Estructural Dual AIS, (2010), hace referencia a los tipos de sistema estructural que se pueden combinar y que hacen parte de un sistema de resistencia sísmica avalado por la normatividad vigente para el desarrollo de edificaciones en el territorio colombiano, de los cuales se pueden destacar sistemas de muros de concreto o mampostería reforzada combinados con pórticos de acero resistentes a momentos, con una capacidad específica de disipación de energía que dependerá de la zona de amenaza sísmica donde se ubique el proyecto.

Otro tipo de estructura metálica combinada con estructura en concreto son los entresijos metálicos que se usan en las edificaciones con el objetivo de reducir tiempos en obra y aligerar cargas muertas de la edificación. Este tipo de sistema son las láminas colaborantes que, por su fácil instalación y reducción de peso con respecto a las placas macizas o aligeradas en estructura convencional, hacen que sean una alternativa creciente en los proyectos de obra civil. En este tipo de entresijos se remplazan los elementos de apoyo o vigas secundarias de concreto por vigas metálicas que transmiten las cargas a las vigas principales del sistema de resistencia sísmica el cual pueden ser vigas de concreto, muros de concreto o muros de mampostería reforzada.

Como se ha mencionado este tipo de combinación de sistemas estructurales requiere una conexión que permita la integración al elemento en concreto por medio de anclajes, ya sea preinstalado o postinstalado, que garantice una adecuada transferencia de carga. Este tipo de anclajes están definidos en el CAPITULO 17 – ANCLAJE AL CONCRETO del reglamento ACI318M-19 American Concrete Institute, (2019) y comentarios (APÉNDICE C-D – ANCLAJE AL CONCRETO del reglamento colombiano sismo resistente NSR-10, el cual resulta ser una adaptación del reglamento ACI318M-19).

Para establecer qué tipo de anclaje es el conveniente para el desarrollo del proyecto, habrá que revisar las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de anclajes que se definen en el reglamento , así como el tipo de proyecto en sí mismo, debido a que, por ejemplo, para un edificio donde la estructura principal de resistencia sísmica se base en pórticos de acero, esta deberá anclarse a la cimentación ya previamente fundida y con los anclajes ya ubicados en los cimientos, de tal forma que las columnas unidas a las placas base seicen y se ubiquen en los sitios pre establecidos.

A diferencia de un proyecto más simple como lo es, por ejemplo, un mezzanine de pequeña área que se desee instalar en un edificio ya terminado de concreto, el tipo de anclaje será, en este caso, un postinstalado o adhesivo. Para los anclajes preinstalados se tiene como ventaja que se logran localizar en zonas donde no se altere u obstruya el refuerzo de acero de los elementos de concreto, por lo que debe existir una gran coordinación entre las diferentes áreas, diseño, taller y obra, porque una vez fundido el concreto estos elementos no se pueden retirar y si al instalar los elemento metálicos no empatan con los anclajes se tendrán que tomar correctivos que pueden retrasar la obra o generar costos no contemplados.

Por otro lado, los anclajes postinstalados requieren que se realice un estudio al elemento de concreto al cual se pretende anclarse para tratar de disminuir el impacto al hacer el orificio, debido a que puede haber contacto con el acero existente del elemento de concreto al que se va a unir, pudiendo cortarlo con la maquinaria a utilizar. La ventaja más notoria, es que este tipo de anclajes le permite al constructor localizar su elemento metálico en el sitio una vez realizada una revisión preliminar en obra y hacer ajustes a planos en la bitácora de obra.

Para el diseño y detallado de los anclajes se debe acudir al ACI318M-19 CAPITULO 17 American Concrete Institute, (2019), donde se encuentra toda la normativa de diseño y las

recomendaciones mínimas que deben cumplir estos elementos. Pese a que existe la normativa para el diseño de los anclajes, en el mundo ha habido números casos de falla de anclajes llevando al colapso de los elementos que sostenían y en algunos casos ocasionando pérdidas de vidas humanas.

Uno de los casos más conocidos es el del colapso del cielo raso del túnel “BIG DIG” de Boston (en este caso los anclajes que fallaron sostenían elementos no estructurales, cielo raso) y el cual motivo a la creación del ACI/CRSI (American Concrete Institute/Concrete Reinforcing Steel Institute) para instaladores de anclajes adhesivos Board, (2006). En este caso los paneles se desprendieron por falla de los anclajes cayendo sobre los autos y dejando una víctima mortal. En el documento realizado por “National Transportation Safety Board - Ceiling Collapse in the Interstate 90 Connector Tunnel Boston, Massachusetts July 10, 2006 Highway” se estableció como una de las causas del colapso fue el uso de un adhesivo epoxico con poca resistencia a cargas de largo plazo.

En Japón, en el túnel Sasago Ministry of Land, Infrastructure, n.d., el desprendimiento del cielo raso, por falla en los anclajes (un caso también en elementos no estructurales) causo la muerte de 9 personas, falla asociada a una inadecuada instalación y a cargas no tenidas en cuenta en el diseño de los anclajes. Al investigar sobre las fallas ocurridas en estos dos casos se encontró que hubo errores en diseño y en obra; en la escogencia del adhesivo a usar y al no tener en cuenta ciertas cargas el diseño no es satisfactorio y algunos anclajes no quedaron instalados correctamente incurriendo así en errores en obra. Estos factores motivan a un cuestionamiento en cual se basa este documento: ¿cuál es el nivel de conocimiento en el ejercicio profesional sobre el diseño y comportamiento de los anclajes al concreto?

En Colombia para el diseño de edificaciones se sigue el “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10” el cual en el “APÉNDICE C-D ANCLAJES AL

CONCRETO” se dan todas las recomendaciones mínimas para el diseño de los anclajes. Sin embargo, es el único documento normativo para utilizar los anclajes y no hay documentos al alcance de los profesionales que puedan seguir para el diseño de los anclajes. El tema de los anclajes ha ido avanzando en estudio con el fin de poder tener más bases para mejorar la normatividad y comprender de mejor manera el comportamiento de estas uniones en el concreto. En la norma se limita el uso de los anclajes adhesivos en concretos que no superen los 55MPa de resistencia a la compresión, exigiendo que cuando se tengan resistencias mayores se realicen ensayos. En este caso ya hay estudios que revisan el comportamiento de los anclajes adhesivos en concretos de alta resistencia debido a que los proyectos en la actualidad son más exigentes y se requieren grandes resistencias en los materiales a usar.

Los requisitos de diseño mínimos para los anclajes en el concreto, que se establecen en la norma (ACI318M-19), son para garantizar una correcta transferencia de las cargas estructurales por tracción, cortante o una combinación de ambas; sin embargo, este documento busca explicar el comportamiento que tienen los anclajes al concreto ante las diferentes cargas, basado en estudios que se han realizado y que se documentan en el estado del arte de esta tesis.

La elaboración del manual tiene como uno de los objetivos el poder minimizar los errores de diseño y de instalación de los anclajes por medio de la formación académica, brindando la herramienta y el conocimiento, por tal motivo se presentarán ejemplos de diseño y detallado en planos de los anclajes preinstalados y postinstalados.

Como base para la elaboración del manual se revisará la documentación existente sobre el diseño de los anclajes que hayan sido diseñados o que hayan seguido las recomendaciones dadas en ACI318.

## **Estudios relacionados**

A medida que surgen nuevos materiales con las propiedades adecuadas para utilizarlos en la construcción es importante determinar su comportamiento a diferentes sollicitaciones simulando las situaciones reales a las que se verán sometidos.

Ensayos de los anclajes sometidos a cargas de tracción y cortante o una combinación de ambos y que se han documentado, son la base de estudio para este documento y componen el estado del arte para poder establecer el comportamiento de los anclajes en concreto.

En los simposios realizados por el Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés) se trató el tema de los anclajes al concreto mostrando los avances de las investigaciones adelantadas en esa época, pero fue solo en el comité del ACI 355 que se publica un documento normativo, ACI 355.1R-91 Creegan et al., (1997), sobre los anclajes al concreto el cual se basa en el comportamiento de estos y en cómo se realiza la transferencia de carga. Se presento los tipos de anclaje clasificándolos en los anclajes instalados en el hormigón in situ y los instalados en el hormigón endurecido; el documento presentaba el comportamiento de los anclajes, las recomendaciones de diseño, las consideraciones constructivas y los requisitos y especificaciones existentes para el diseño.

En este documento se atendían los anclajes colocados en el concreto endurecido mostrando dos tipos básicos de estos (anclajes cementados y los anclajes de expansión) y excluía hasta entonces los anclajes adhesivos.

Los anclajes adhesivos los incluye el ACI en el documento “Understanding Adhesive Anchors” Wollmershauser, Consulting, & Mattis, n.d.,(2010) el cual es un texto técnico base que contenía el comportamiento, materiales, instalación y diseño de dichos anclajes. Este documento presenta la

forma de cómo se deben instalar los anclajes y un método de diseño haciendo énfasis en la falla por desprendimiento del concreto calculando la resistencia del anclaje basados en el método de diseño de la capacidad del concreto (CCD por sus siglas en ingles).

Los anclajes al concreto se incluyeron en las normas del ACI hasta el 2002 con la inclusión del apéndice D al documento ACI 318-02, en el cual se normatizaban los anclajes preinstalados y postinstalados mecánicos y se diseñaban por el método del CCD. Solo hasta el año 2011 en el documento ACI 318-11 se modifica el apéndice D y se incluyen los anclajes adhesivos. En la actualidad, debido a que los documentos del ACI están en una constante renovación, el apéndice D ha pasado a ser el capítulo 17 dentro del documento más reciente el cual es ACI 318M-19 American Concrete Institute, (2019).

Antes de la inclusión de los anclajes a los documentos normativos para el diseño de edificaciones y posterior a esto, se han realizado números investigaciones que ayudan a entender el comportamiento de los anclajes al concreto a diferentes solicitaciones y condiciones de carga basados en los requisitos mínimos dados en el ACI 318M-19.

El uso de los anclajes de tornillo en el concreto ha tenido una gran aceptación en la construcción de edificios por su fácil y rápida instalación Olsen, Pregartner, & Lamanna, (2012). La evaluación de la capacidad de los anclajes de tornillo a tensión se realiza bajo los parámetros expuestos en ACI 318M-19 en los cuales se evalúa la falla del acero, la falla por extracción y la falla del cono de concreto. Las fallas por las cargas de corte son: falla del acero, falla de borde en el concreto y falla por división en el concreto. Olsen, recopila en su documento “Basis for Design of Screw Anchors in Concrete” Olsen et al., (2012) las condiciones a tener en cuenta en el diseño de los anclajes de tornillo basándose en datos de ensayos dados en una base de datos de 500 ensayos a diferente tipos de tornillos, concluyendo la importancia que tienen este tipo de anclaje por su fácil



uso y reafirmando la importancia del método de diseño empleado basado en las bases de datos teniendo en cuenta las limitaciones de los ensayos y asegurando un diseño aceptable para la seguridad de los anclajes de tornillo al concreto.

El comportamiento de los anclajes no solo se limita al concreto reforzado sino también se usan en elementos de concreto presforzado; sin embargo, este tipo de elementos no están incluidos de forma detallada en la normatividad vigente. En estudios realizados Piccinin, Cattaneo, & Biolzi, (2013) sobre el comportamiento de la capacidad de extracción de anclajes en concreto confinado, muestra evidencia experimental de la carga última que resiste los anclajes antes de fallar. El experimento se basa en determinar la carga máxima que soporta los anclajes en relación con la profundidad de embebido del anclaje preinstalado en elementos de concreto, en los cuales también se varía el espesor el cual dependerá de la profundidad del anclaje. Los ensayos se realizan por medio de unos gatos localizados de tal manera que se simule la fuerza de extracción en el anclaje y otros gatos que aplican una compresión lateral en el elemento de concreto. De acuerdo con la documentación base de estudio para estos ensayos se propone una ecuación que predice la carga que resisten los anclajes y se compara con las cargas obtenidas experimentalmente. Como conclusión se encontró que la presión de confinamiento en el concreto incrementa la capacidad de los anclajes a la falla de extracción y mejora el comportamiento de carga versus desplazamiento. También se determinó que se incrementa la capacidad ante la falla de extracción del cono de concreto y reduce la propagación de fisuras.

Como se ha mencionado el uso de los anclajes ha incrementado en la construcción debido a su flexibilidad en la instalación y la reducción de tiempos en obra. Los anclajes adhesivos, por su practicidad en la instalación en concretos endurecidos, permiten al constructor planear de forma más eficiente la implantación de sus estructuras; el comportamiento de los anclajes adhesivos ante

cargas estáticas y dinámicas se ha evaluado por medio de estudios experimentales y estudios analíticos, como en “Tensile behaviour of adhesive anchors under different strain rates” Ahmed & Braimah, (2019), en el cual se realiza una revisión del comportamiento de los anclajes adhesivos por medio del software de análisis LS-DYNA con diferentes relaciones de esfuerzo y se comparan los resultados de las cargas máximas obtenidas con los métodos de diseño del ACI y el CCD. En el análisis realizado se observaron los modos de falla resultantes en la modelación y se encontró que la falla predominante a una relación de esfuerzo baja es la de extracción del cono de concreto y en ocasiones se combina con la falla en la superficie de contacto del anclaje adhesivo con el concreto al incrementar la relación de esfuerzo se presenta, en los anclajes estudiados, una falla en el acero. En las conclusiones de este estudio se determinó que la carga de tensión de anclaje adhesivo incrementa conforme incrementa la relación de esfuerzo; también se observó que la relación de esfuerzo afecta en el modo de falla del elemento; el máximo valor del DIF fue obtenido para el diámetro del anclaje de 19.1mm a una profundidad de 76.2mm y la falla observada fue en el acero del anclaje; la capacidad de tensión incrementa con la profundidad y el cono de concreto incrementa al incrementar el diámetro del anclaje.

El tipo de anclaje a utilizar dependerá de las características y necesidades del proyecto, de tal manera que será responsabilidad del diseñador y del constructor optar por la opción de anclaje de concreto que más favorezca a la ejecución de la obra. Dentro de los tipos de anclaje al concreto preinstalados se encuentran los anclajes con cabeza, para los cuales el comportamiento ante las solicitaciones de carga dependerá de las características de este. Nilforoush et al., (2017) evalúa la capacidad de los anclajes al concreto preinstalados con cabeza a cargas a tensión en concreto no fisurado teniendo en cuenta el espesor del concreto y el tamaño de la cabeza del anclaje.

Para este estudio Nilforoush et al., (2017) evaluó varias profundidades del concreto (50 a 500mm) y varios espesores del elemento de concreto ( $1.5h_{ef}$  a  $5.0h_{ef}$ ) para tres tipos de tamaño de la cabeza del anclaje (pequeña, mediana y grande); el estudio es un análisis numérico el cual se compara con estudios experimentales y modelos empíricos. Para la revisión de los modelos de análisis se realizan elementos finitos con el código de “Análisis de Espacio Macroscópico” (MASA, por sus siglas en inglés) usando la ley del micro plano constitutivo para el concreto; para el análisis de la modelación se calcula la carga resistente de los anclajes utilizando el método de la “Capacidad del Concreto” (CC, por sus siglas en inglés). Como resultado de los análisis realizados Nilforoush et al., (2017) expone siete conclusiones: a) la falla de los anclajes de cabeza pequeña está cerca de la resistencia calculada por el método CC y su variación; sin embargo para profundidades por debajo de los 100mm este método y su variación sobrestima la resistencia del anclaje. b) para anclajes cortos se debe trabajar con la variación del método CC y así tener en cuenta la sobrestimación que se hace en la resistencia del cono de concreto. c) el aumento del tamaño del espesor del elemento del concreto y el aumento de la cabeza del anclaje hace que se incremente la resistencia del anclaje; al aumentar el espesor del elemento de concreto el anclaje se vuelve más dúctil, mientras que al aumentar el tamaño de la cabeza empieza a ser más rígido y frágil. d) los resultados numéricos muestran que los modelos subestiman la profundidad del cono de concreto para anclajes con cabeza grandes. e) se incluyen factores adicionales al método CC que tienen en cuenta la influencia de los espesores del elemento de concreto y el tamaño de la cabeza de los anclajes. f) para grupos de anclaje con cabezas grandes o que estén cerca a bordes libres, el espaciamiento entre anclajes y la distancia al borde del elemento de concreto podría incrementarse en  $5.0h_{ef}$  y  $2.5h_{ef}$  respectivamente. g) estudios realizados basados en experimentos validan los análisis numéricos del estudio.

Los anclajes adhesivos son comúnmente usados en la rehabilitación y reforzamiento de edificaciones, por su práctica instalación en concretos endurecidos son una forma eficiente de transferencia de carga para elementos nuevos sobre elementos existentes. Wang, Wu, Ouyang, He, & Sun, (2017) realizó un ensayo experimental de anclajes de gran diámetro el cual comparo con un modelo de elementos finitos (FE, por sus siglas en inglés) para determinar el rendimiento de este tipo de anclajes adhesivos postinstalados en el concreto. El ensayo consiste en hacer anclajes de varios diámetros (36mm, 48mm, 90mm y 150mm) a diferentes profundidades (8d y 12d) en un concreto con resistencia de 25MPa. Se aplica una fuerza de tensión de extracción por medio de un gato hidráulico midiendo los desplazamientos generados en cada uno de los anclajes. Para el anclaje se utiliza un epóxico comercial tipo HiltiRF-500. Los resultados obtenidos del ensayo se comparan con una simulación hecha por medio de un modelo numérico basado en elementos finitos en el cual se simula el elemento de acero, el anclaje adhesivo y el elemento de concreto. Los resultados de este estudio confirman el rendimiento de los anclajes gran diámetro obtenido de una prueba experimental y al compararlo con la simulación por medio de los elementos finitos se puede tener una base confiable de diseño de este tipo de anclajes.

Al reforzar sísmicamente las estructuras existentes se debe considerar las propiedades físicas de los materiales que las componen y la interacción que tienen con los anclajes adhesivos utilizados para la rehabilitación de los elementos estructurales. Gurbuz & Ilki, (2011) presenta un estudio sobre el comportamiento a la extracción de anclajes total o parcialmente adhesivos en concretos de baja resistencia basado en ensayos realizados con diferentes profundidades de anclaje; para los anclajes totalmente adhesivos se usaron profundidades de 6, 8, 10 y 12 veces el diámetro y para los anclajes parcialmente adhesivos se tomaron longitudes de 4, 6, 8 y 10 veces el diámetro que incluía el anclaje químico y la profundidad total del anclaje es más 6 veces el diámetro. Los anclajes

realizaron en bloques de concreto de baja resistencia medidas de acuerdo con ensayos de cilindros de 12.7MPa y medidas de 250X125X25 a 35cm. El diámetro de la barra de refuerzo utilizado para el ensayo era de 16mm y un esfuerzo de fluencia de 472MPa. Se usaron dos modelos diferentes de testeo, uno confinado y otro no confinado, el sistema de carga se basó según lo dispuesto en ASTM E488-96. La de falla presentada para los anclajes totalmente embebido en el químico es la de extracción del cono de concreto, mientras que para los parcialmente embebido en el químico la falla presentada fue deslizamiento del anclaje sin extracción del concreto. Como conclusiones del estudio determinó que para concretos de baja resistencia los anclajes parcialmente adhesivos presentan un mejor comportamiento debido al tipo de falla presentado y son un anclaje prometedor para el ejercicio de reforzamiento de estructuras, que la resistencia de los anclajes aumento conforme aumenta la profundidad y que la correcta instalación, incluyendo una adecuada limpieza de los orificios antes de instalar cualquiera de los dos tipos de anclajes, es crucial para el buen desempeño de estos y que se alcancen las resistencias esperadas.

Los anclajes al concreto son un método constructivo eficiente para a transferencia de carga entre diferentes tipos de estructura, permiten el poder combinar elementos estructurales y garantizan un adecuado comportamiento ante las diferentes solicitaciones a las que se ven sometidos, siempre y cuando se cumplan los requisitos de diseño y la buena colocación de estos en obra. Por tal motivo, el minimizar los errores en el diseño y detallado ampliando el conocimiento sobre los anclajes de concreto y difundiendo por medio de la academia, es el objetivo del manual de diseño de anclajes al concreto.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar un manual para el diseño de anclajes al concreto de acuerdo con las especificaciones del ACI-318.

### **Objetivos específicos**

O.1 – Revisar el estado del arte relacionado a la historia, diseño y comportamiento de los anclajes al concreto.

O.2 – Revisar la normatividad actual para el diseño de anclajes al concreto.

O.3 – Elaborar el documento bajo los parámetros establecidos por la editorial.

## **Alcance**

Este documento presenta las principales recomendaciones para el diseño e instalación de anclajes al concreto definido en la normatividad vigente ACI 318-19. Se pretende dar un panorama claro de los diferentes tipos de anclaje avalados por el reglamento, los requisitos mínimos para tener en cuenta para su diseño siguiendo las fórmulas allí dispuestas, las solicitaciones a las que se someten y las condiciones y requisitos mínimos para su instalación.

## **Contenido**

El diseño de los anclajes al concreto debe seguir lo dispuesto en el ACI 318-19 cumpliendo los requisitos mínimos allí expuestos. En ningún caso el diseñador debe obviar los parámetros de diseño ni considerar resistencias menores a las allí dispuestas. Para un adecuado entendimiento y aplicabilidad de las fórmulas de una manera más educativa e ilustrativa, el presente documento se divide en una serie de capítulos que se describen a continuación:

### **Capítulo 1. Generalidades**

El primer capítulo del manual incluye información general que solo pretende dar una introducción al tema central e indicar la nomenclatura a utilizar.

- 1.1. Introducción: se indica de forma general el énfasis del documento basado en los anclajes al concreto.
- 1.2. Nomenclatura: se indica los símbolos a usar con su explicación para una adecuada interpretación del documento.
- 1.3. Definiciones: se especifican todos aquellos conceptos inherentes a la formulación base del diseño de los anclajes al concreto.

### **Capítulo 2. Anclajes: Reseña Histórica, Tipos de Anclaje y Requerimientos**

Este capítulo presenta una reseña histórica de los anclajes al concreto y como se incluyeron en la normatividad para el diseño de elementos en concreto. También se hace referencia a los tipos de anclaje definidos en el ACI 318-19 con sus ventajas y desventajas y por último las cargas y tipo de solicitaciones a las que se revisan los anclajes.

- 2.1. Reseña histórica: se recalca de forma breve el uso de los anclajes en la construcción y su inclusión en el ACI318-19.



2.2. Tipos de sistema de anclaje: en este numeral se indican que es un anclaje y sistema de anclaje, los tipos de sistemas de anclaje y las ventajas y desventajas de cada uno.

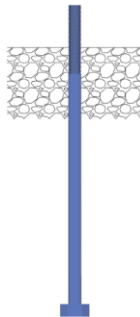
**Tabla 2.2.1**

*Tipos de Anclaje*

Anclajes Preinstalados	Anclajes Postinstalados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tornillos con Cabeza Hexagonal</li> <li>• Tornillo en J y L</li> <li>• Perno con Cabeza Soldada (Espárragos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adheridos               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Adhesivos</li> <li>○ Grout</li> </ul> </li> <li>• Mecánicos               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Expansión</li> <li>○ Atornillados</li> <li>○ Sobre Perforados</li> </ul> </li> </ul>

**Figura 2.1**

*Tornillo con Cabeza Hexagonal*



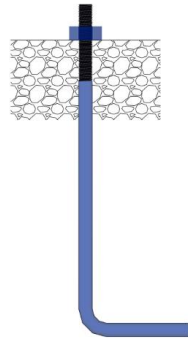
**Figura 2.2.**

*Tornillo en J.*



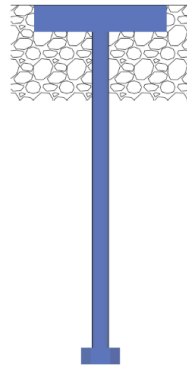
**Figura 2.3.**

*Tornillo en L*



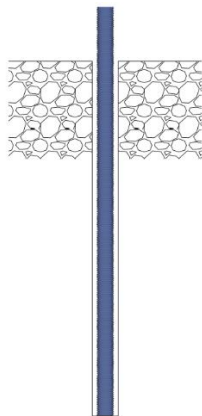
**Figura 2.4.**

*Perno con Cabeza Soldada*

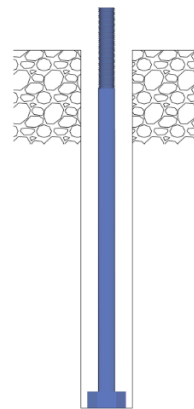


**Figura 2.5.**

*Anclajes Adheridos*



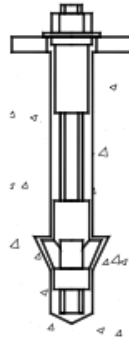
*a. i. Anclaje con Adhesivo químico*



*a. ii. Anclaje con Grout*

**Figura 2.6.**

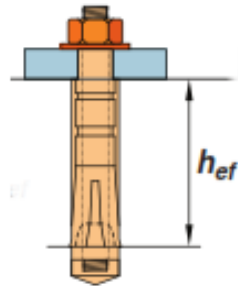
*Anclajes con Sobreperforación en su base.*



Tomado de Anchorage in Concrete Construction Elgehausen, (2006)

**Figura 2.7.**

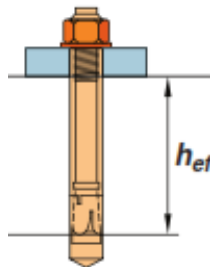
*Anclajes de Expansión con camisa.*



Tomado del ACI318 American Concrete Institute, (2019)

**Figura 2.8.**

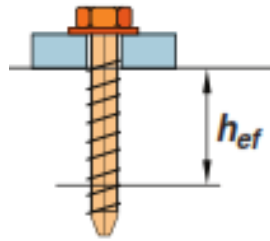
*Anclajes de expansión tipo Perno.*



Tomado del ACI318 American Concrete Institute, (2019)

**Figura 2.9.**

*Anclajes de Tornillo.*



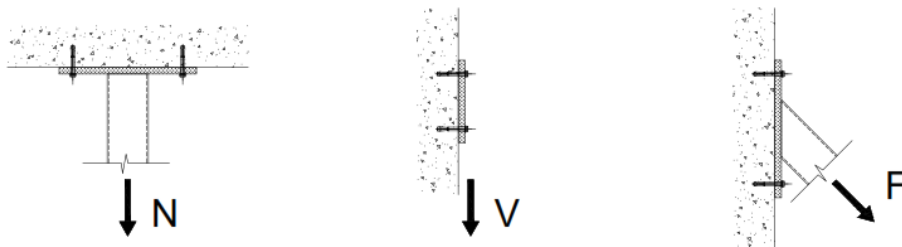
Tomado del ACI318 American Concrete Institute, (2019)

2.3. Solicitaciones: Los sistemas de anclajes se ven sometidos a diferentes tipos de carga

R. Eligehausen, (2006) los cuales se clasifican de acuerdo con frecuencia de ocurrencia y duración. De acuerdo con la frecuencia se debe distinguir las cargas permanentes, tales como, las cargas muertas (peso propio, particiones, maquinaria fija, mobiliario fijo, acabados, entre otros), cargas presentes en periodos de tiempo, cargas transitorias (tránsito de personas, mobiliario movable, vehículos, nieve, empozamiento de agua, entre otros) y las cargas dinámicas que pueden ser ocasionadas por sismos, explosiones y maquinas vibratorias. En este numeral se presentan las diferentes solicitaciones a las que se ven sometidos los anclajes.

**Figura 2.10**

*Tipos de solicitación en anclajes.*



Fuente propia.

### Capítulo 3. Tipo de Falla y Estados Límites de los Anclajes al Concreto

Una vez definido los tipos de anclaje y a las solicitaciones a las que están sujetos, en este capítulo se presentan los diferentes tipos de fallas a los que están expuestos los anclajes y las causas de estas fallas, basado en los estudios relacionados en el estado del arte.

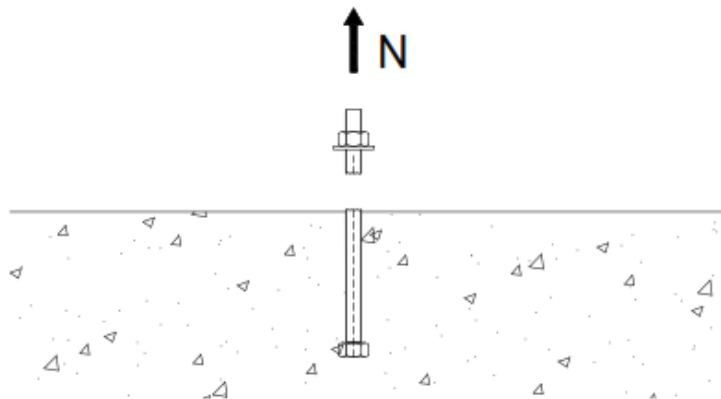
El diseño de los anclajes al concreto se basa en la normativa ACI 318-19 y la formulación presentada será la allí expuesta, se hará referencia al reglamento y se explicará de forma educativa e ilustrativa los requisitos mínimos de diseño para tener en cuenta.

#### 3.1. Tipo de falla en los Anclajes Sometidos a Cargas de Tensión: El ACI318-19

American Concrete Institute, (2019) establece para los anclajes sometidos a tracción seis tipos de falla básicas: falla del acero, falla por deslizamiento, falla por arrancamiento del concreto, falla por hendimiento del concreto, falla por desprendimiento lateral y falla de adherencia. Esta última corresponde a los anclajes postinstalados, específicamente a los anclajes adheridos.

#### **Figura 3.1.**

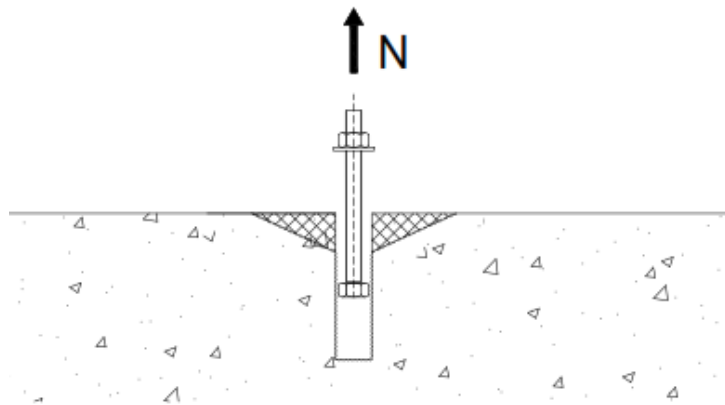
*Falla del acero en el anclaje.*



Fuente propia.

**Figura 3.2.**

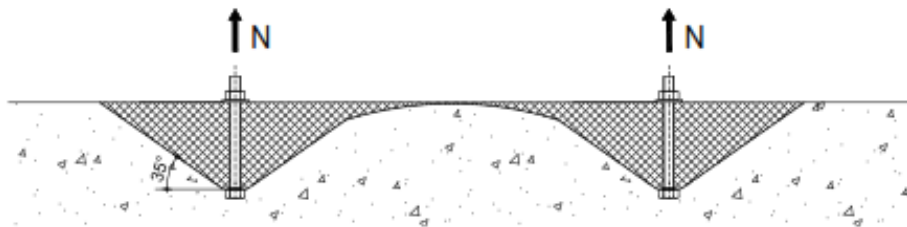
*Falla por deslizamiento del anclaje.*



Fuente propia.

**Figura 3.3.**

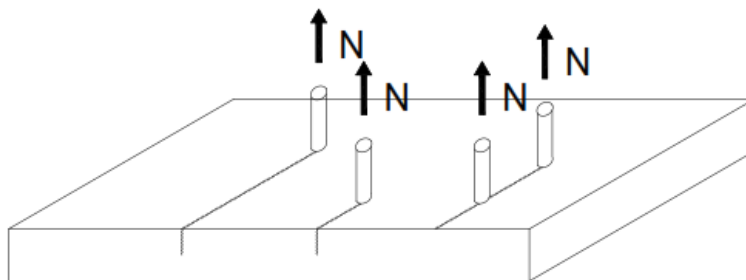
*Falla por arrancamiento del concreto.*



Fuente propia.

**Figura 3.4.**

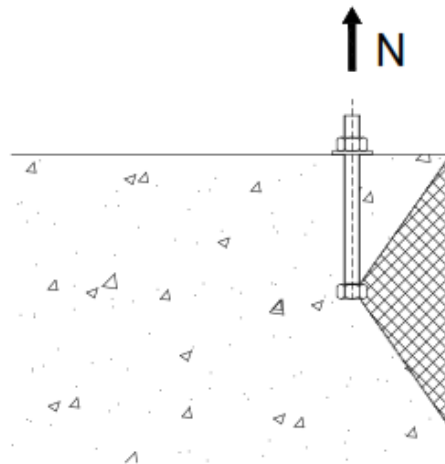
*Falla por hendimiento del concreto.*



Fuente propia.

**Figura 3.5.**

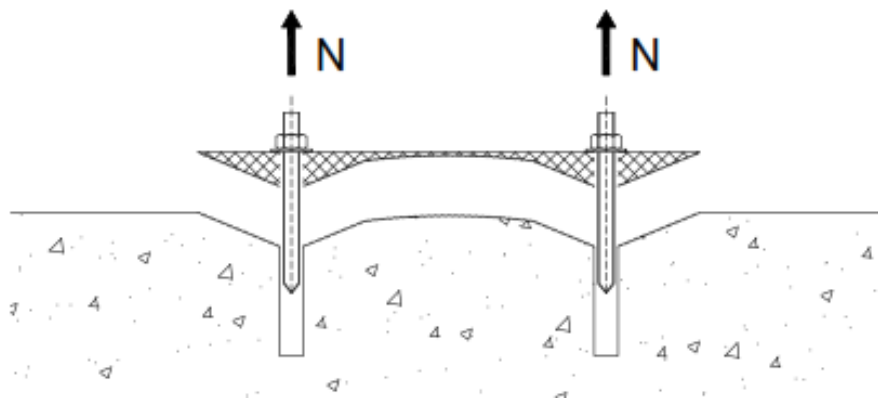
*Falla por desprendimiento lateral del concreto.*



Fuente propia.

**Figura 3.6.**

*Falla por adherencia.*

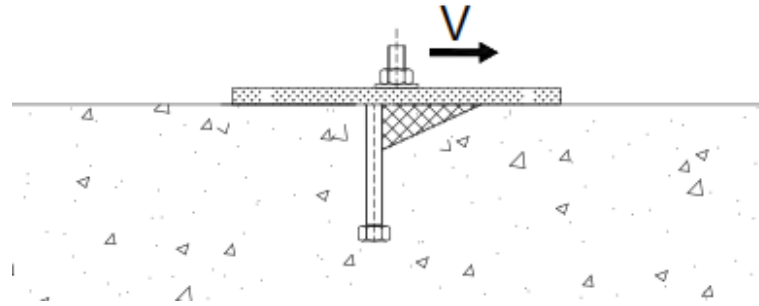


Fuente propia.

- 3.2. Tipo de falla en los Anclajes Sometidos a Cargas de Cortante: El ACI318-19 American Concrete Institute, (2019) establece para los anclajes sometidos a cortante tres tipos de falla básicas: falla del acero, falla por desprendimiento del concreto y falla por arrancamiento del concreto.

**Figura 3.7.**

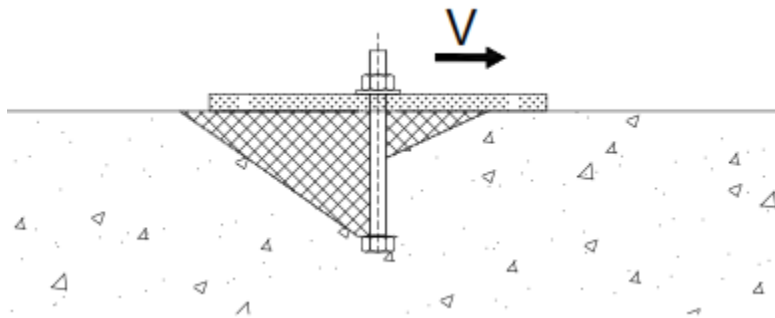
*Falla del acero en el anclaje por cortante.*



Fuente propia.

**Figura 3.8.**

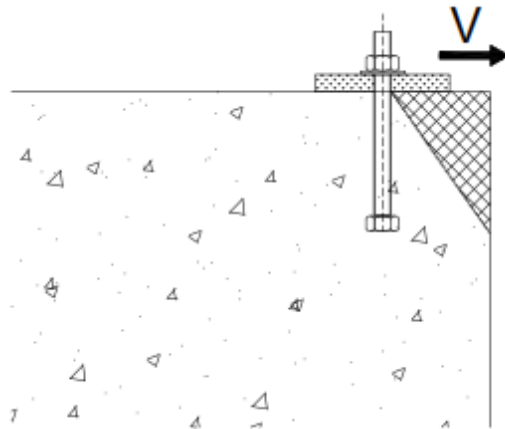
*Falla por desprendimiento del concreto a cortante.*



Fuente propia.

**Figura 3.9.**

*Falla por arrancamiento del concreto a cortante.*



Fuente propia.



## Capítulo 4. Diseño de Anclajes Sometidos a Cargas de Tensión

Una vez estudiados los tipos de falla que se presentan en los anclajes sometidos a cargas de tensión, en este capítulo se presentan los estados límites para tener en cuenta en el diseño de los sistemas de anclajes preinstalado y postinstalados de acuerdo con lo establecido en ACI318-19.

4.1. Resistencia del Acero: este estado limita la falla de los anclajes cuando las cargas en tracción supera el esfuerzo de fluencia ultimo. Esta revisión se realiza teniendo en cuenta las propiedades del material del anclaje y sus dimensiones. Se presentan las fórmulas establecidas en el ACI318-19 para el cálculo de está resistencia.

Se presenta la tabla 4.1.1 como base para tomar número de hilos por milímetro en un tornillo roscado. El cálculo del área efectiva presentada en la tabla se basa en la formula indicada en el manual.

**Tabla 4.1.1**

*Numero de hilos para anclajes roscados.*

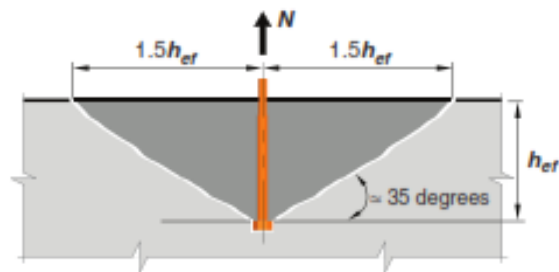
<i>DIAMETRO DEL ANCLAJE</i> $d_a$ (plg)	<i>DIAMETRO DEL ANCLAJE</i> $d_a$ (mm)	<i>NUMERO DE HILOS POR MILIMETRO</i> ( $n_t$ )	<i>ÁREA</i> $A_{se,N}$ (mm <sup>2</sup> )
<i>1/4</i>	6.35	0.787	20.53
<i>3/8</i>	9.50	0.630	49.68
<i>1/2</i>	12.7	0.512	91.55
<i>5/8</i>	15.9	0.433	146.3
<i>3/4</i>	19.9	0.394	238.5
<i>7/8</i>	22.2	0.354	297.1
<i>1</i>	25.4	0.315	390.8
<i>1-1/4</i>	31.75	0.276	625.2
<i>1-3/8</i>	34.9	0.236	743.9
<i>1-1/2</i>	38.1	0.236	906.6

Adaptado de “The Reinforced Concrete Design Manual” American Concrete Institute, (2013)

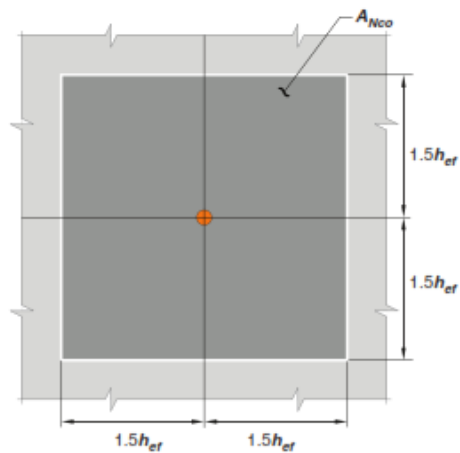
4.2. Resistencia al arrancamiento del concreto: el cálculo de la resistencia al arrancamiento del concreto se evalúa teniendo en cuenta el área proyectada en la superficie que simula el área del cono de arrancamiento; en este estado límite se cambia el cono de arrancamiento por una pirámide lo cual simplifica los cálculos.

**Figura 4.1.**

*Cálculo del área efectiva para un solo anclaje.*



(a) Sección del cono de falla



(b) Planta.

Tomado del ACI318 American Concrete Institute, (2019)

Figura ejemplo para el cálculo del área máxima de influencia de un solo anclaje que determina el volumen del concreto susceptible a desprenderse ante cargas de tracción.

Para los cálculos de la resistencia del anclaje al arrancamiento del concreto se incluye la tabla 4.2.1 indicando los factores modificación.

**Tabla 1**

*Factores de modificación para anclajes en tracción.*

	Resistencia del acero, $N_{sa}$	Resistencia al arrancamiento, $N_{cb}$	Resistencia a la extracción por deslizamiento, $N_{pn}$	Resistencia al desprendimiento lateral, $N_{sb}$	Resistencia a la falla por adherencia, $N_a$
Factor de excentricidad, $Y_{ec}$ Ver figura 22.	N/A	$\frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1$	N/A	N/A	$\frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1$
Factor de efecto de borde, $Y_{ed}$	N/A	* si $c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ entonces $\Psi_{ed} = 1.0$ * si $c_{a,min} < 1.5h_{ef}$ entonces $\Psi_{ed} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}}$	N/A	N/A	* si $c_{a,min} \geq c_{Na}$ entonces $\Psi_{ed} = 1.0$ * si $c_{a,min} < c_{Na}$ entonces $\Psi_{ed} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{c_{Na}}$
Factor de efecto fisuración, $Y_c$	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se asume un valor de 1.25 para anclajes preinstalados</li> <li>Se asume un valor de 1.4 para anclajes postinstalados</li> <li>En todos los casos para concreto fisurado se asume un valor de 1.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para concreto donde no se presenta fisuración <math>Y_c = 1.40</math></li> <li>En concreto donde se presenta fisuración <math>Y_c = 1.0</math></li> </ul>	N/A	N/A
Factor de hendimiento, $Y_{cp}$	N/A	*† si $c_{a,min} \geq c_{ac}$ entonces $\Psi_{cp} = 1.0$ *† si $c_{a,min} < c_{ac}$ entonces $\Psi_{cp} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \geq \frac{1.5h_{ef}}{c_{ac}}$  $Y_{cp} = 1.0$ para todos los demás casos incluyendo los anclajes preinstalados.	N/A	N/A	* si $c_{a,min} \geq 2h_{ef}$ entonces $\Psi_{cp} = 1.0$ * si $c_{a,min} < 2h_{ef}$ entonces $\Psi_{cp} = \frac{c_{a,min}}{2h_{ef}} \geq \frac{c_{Na}}{2h_{ef}}$

\*  $c_{a,min}$  es la menor distancia de recubrimiento lateral de un anclaje.

†  $c_{ac}$  distancia crítica al borde. A menos de que se determine por ensayos de acuerdo con ACI355.2 o ACI355.4 se debe determinar así:

$C_{ac} = 4h_{ef}$  anclajes controlados por torque, por desplazamiento o de tornillo.

$C_{ac} = 2.5h_{ef}$  anclajes con sobre perforación en su base

$C_{ac} = 2.5h_{ef}$  anclajes adheridos

- 4.3. Resistencia a la extracción por deslizamiento: el ACI318-19 evalúa la resistencia a la extracción por deslizamiento para un solo anclaje en tracción ya sea preinstalado o postinstalado de expansión o de sobreperforación o de tornillo, excluyendo a los anclajes adheridos los cuales deben ser calculados para fallas por adherencia.
- 4.4. Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto: los requisitos dados en el ACI318-19 para la evaluación de la resistencia al desprendimiento lateral del concreto están dados para anclajes con cabeza los cuales generalmente son anclajes preinstalados debido que los anclajes postinstalados son controlados por la falla de hendimiento causada en el concreto.
- 4.5. Resistencia a la Falla por Adherencia de Anclajes Adheridos en Tracción: el cálculo de la resistencia nominal en tracción por adherencia se hace para anclajes adheridos, ya sea individuales o en un grupo de anclajes. Para la evaluación de los anclajes adheridos debe considerarse que aquellos anclajes que tienen longitudes de embebido pequeñas presentan fallas por arrancamiento del concreto y que aquellos con longitudes mayores producen fallas por adherencia. Para este numeral se anexa la tabla 4.5.1 como ejemplo para obtener los valores de esfuerzo característico necesarios para el cálculo de la resistencia de adherencia. Estos valores presentados son tomados de varios productos (ICC Evaluation Service, 2020c, 2020e, 2021d, 2021b, 2021e) estableciendo un valor promedio para las condiciones básicas comunes supuestas en la tabla. Para el diseño definitivo, el diseñador deberá remitirse a las características del producto y solicitar o informarse sobre las condiciones y parámetros de uso de este.

## Capítulo 5. Diseño de Anclajes Sometidos a Cargas de Cortante

Para cargas de corte el ACI318-19 contempla tres estados límites los cuales se estudian en el presente capítulo. En el cálculo de las resistencias nominales la normativa establece unos factores de corrección que se presentan en la tabla 5.2.1. En todos los casos de estudio las solicitaciones vienen previas a un análisis correspondiente de cargas de acuerdo con las suposiciones que realiza el ingeniero calculista.

**Tabla 4.5.1**

*Información de un producto para la obtención del esfuerzo característico.*

INFORMACIÓN DE DISEÑO		Símbolo	Unidades	DIAMETRO NOMINAL DEL ANCLAJE ROSCADO (pulgadas)						
				3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/4
Profundidad mínima de embebido		$h_{ef,min}$	inch (mm)	2 /8 (60)	2 /4 (70)	3 /8 (79)	3 /2 (89)	3 /2 (89)	4 (102)	5 (127)
Profundidad máxima de embebido		$h_{ef,max}$	inch (mm)	7 /2 (191)	10 (254)	12 /2 (318)	15 (381)	17 /2 (445)	20 (508)	25 (635)
<b>110°F (43°C)</b> Temperatura máxima de servicio a largo plazo;	Esfuerzo característico en concreto fisurado <sub>1</sub>	$\tau_{k,cr}$	psi	796	781	789	804	798	783	784
			N/mm	5.6	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5	5.5
<b>140°F (60°C)</b> temperatura máxima de servicio a corto plazo	Esfuerzo característico en concreto no fisurado <sub>1</sub>	$\tau_{k,uncr}$	psi	1414	1371	1325	1296	1265	1233	1196
			N/mm	9.9	9.6	9.3	9.1	8.9	8.6	8.4
<b>110°F (43°C)</b> Temperatura máxima de servicio a largo plazo;	Esfuerzo característico en concreto fisurado <sub>1</sub>	$\tau_{k,cr}$	psi	609	591	589	597	586	581	572
			N/mm	4.3	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.0
<b>176°F (80°C)</b> temperatura máxima de servicio a corto plazo	Esfuerzo característico en concreto no fisurado <sub>1</sub>	$\tau_{k,uncr}$	psi	1187	1143	1106	1066	1035	1010	989
			N/mm	8.3	8	7.7	7.5	7.2	7.1	6.9

<sup>1</sup>Los valores del esfuerzo de adherencia corresponden a un esfuerzo de compresión del concreto  $f'_c=2500$ Psi. Los valores del esfuerzo de adherencia no se deben incrementar si se consideran resistencias mayores de compresión del concreto.

Adaptado del informe ESR-4778 del ICC-ES. ICC Evaluation Service, (2021)

5.1. Resistencia del Acero del Anclaje Sometido a Cortante: al igual que el chequeo del acero de anclajes en tracción la revisión se realiza teniendo en cuenta las propiedades del material del anclaje y sus dimensiones. Para esto se debe definir dependiendo del

tipo de anclaje el área transversal efectiva, la cual para anclajes postinstalados que tengan reducción en su sección transversal deberá ser suministrada por el fabricante.

5.2. Resistencia al Arrancamiento del Concreto de Anclajes a Cortante: Al igual que en el arrancamiento del concreto por tracción, en el cálculo de resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante las ecuaciones suponen un cono de arrancamiento con base piramidal con un ángulo de  $35^\circ$  aproximadamente. Es así entonces que la zona de falla de arrancamiento está dada por una distancia mínima de falla al borde libre.

5.3. Resistencia de Anclajes en Cortante por Desprendimiento del Concreto por Cabeceo del Anclaje: La resistencia a cortante por desprendimiento del concreto por cabeceo se presenta regularmente en anclajes situados lejos de un borde libre y presenta arrancamiento del concreto debido a una rotación del anclaje. De acuerdo con lo establecido en las investigaciones en las que se basa el capítulo 17 del ACI318-19, la resistencia por cabeceo se supone como una o dos veces la resistencia a la tracción del anclaje, ya sea para el anclaje individual o un grupo de anclajes, dependiendo de la profundidad ( $h_{ef}$ ).

**Tabla 5.2.1**

*Factores de modificación para anclajes sometidos a cortante.*

+estos valores se deben usar cuando el análisis ante cargas de servicio indica fisuración en el elemento de concreto.

	Resistencia del acero, $V_{sa}$	Resistencia al arrancamiento, $V_{cb}$	Resistencia al desprendimiento por cabeceo, $V_c$
Factor de excentricidad, $\Psi_{ec}$	N/A	$\frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_v}{3c_{a1}}\right)} \leq 1.0$	N/A
Factor de efecto de borde, $\Psi_{ed}$		* si $c_{a2} \geq 1.5c_1$ entonces $\Psi_{ed} = 1.0$	
	N/A	* si $c_{a2} < 1.5c_{a1}$ entonces $\Psi_{ed} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}}$	N/A
Factor de efecto fisuración, $\Psi_c$	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se asume un valor de 1.40 para anclajes en concreto no fisurado</li> <li>• +Se asume un valor de 1.0 para anclajes sin refuerzo suplementario</li> <li>• +Se asume un valor de 1.2 para anclajes con refuerzo consistente mayor a una barra No 13.</li> <li>• +Se asume un valor de 1.4 para anclajes con refuerzo consistente mayor a una barra No 13 y refuerzo transversal separados máximo cada 100mm.</li> </ul>	N/A
Factor de arrancamiento por espesor, $\Psi_h$	N/A	*† si $h_a < 1.5c_{a1}$ entonces $\Psi_{h,v} = \sqrt{\frac{1.5c_{a1}}{h_a}} \geq 1.0$  $\Psi_{h,v} = 1.0$ para todos los demás casos.	N/A

## **Capítulo 6. Interacción Tracción y Cortante**

En ciertas condiciones el anclaje o grupo de anclaje se encuentra solicitado a una combinación de carga tal que se producen simultáneamente fuerzas de tracción y cortante. Es por tal motivo que en el diseño de anclajes al concreto debe considerarse dicha condición revisando si la interacción es considerable para tener en cuenta; en este capítulo se indican los límites para cargas de tracción y cortante para determinar si se deben realizar cálculos adicionales en el diseño de anclajes.

## **Capítulo 7. Consideraciones y Diseño Sismo Resistente**

A lo largo del texto se ha venido presentando los dos casos de carga a los que se ven sometidos los anclajes, tracción y cortante, así como la resistencia mínima que se debe satisfacer para un uso adecuado de estos. Las solicitaciones estáticas supuestas provienen de un análisis previo en el que se consideraron todas aquellas cargas permanentes y semipermanentes en la estructura, despreciando la componente inercial presentes en las fuerzas horizontales ocasionadas por los desplazamientos relativos que se generan en la presencia de sismos.

La obtención de las acciones sísmicas para el diseño de los sistemas de anclaje debe obedecer a lo descrito en las normas vigentes y a la zona donde se ubique el proyecto. En el presente capítulo se pretende dar los parámetros de diseño basados en cargas ya previamente establecidas por el ingeniero calculista que contengan acciones sísmicas considerables.

- 7.1. Resistencia de Anclajes a Tracción por Cargas de Sismo: cuando la carga última de diseño del anclaje tiene una componente sísmica que representa la mayor participación en esta, se deben considerar las acciones sísmicas las cuales deben cumplir con los parámetros que se indican en este numeral.



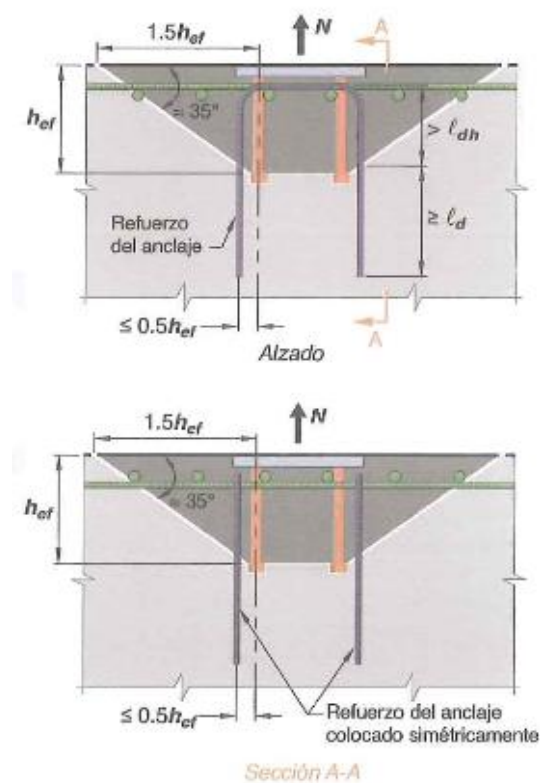
7.2. Resistencia de Anclajes a Cortante por Cargas de Sismo: al igual que en el caso a tracción se debe revisar la participación de la componente sísmica en la carga ultima de diseño, de ser esta la de mayor influencia se deben considerar las acciones sísmicas las cuales deben cumplir con los parámetros que se indican en este numeral.

## Capítulo 8. Refuerzo de Anclajes

En este capítulo se presenta las disposiciones del refuerzo de anclaje que se pueden tener en cuenta según lo dispuesto en ACI318-19 para el diseño de anclajes en el capítulo 17. El refuerzo de anclaje debe diferenciarse del refuerzo suplementario que se calcula para el miembro de concreto y se obtiene bajo las sollicitaciones que transmiten los anclajes a este.

### Figura 8.1.

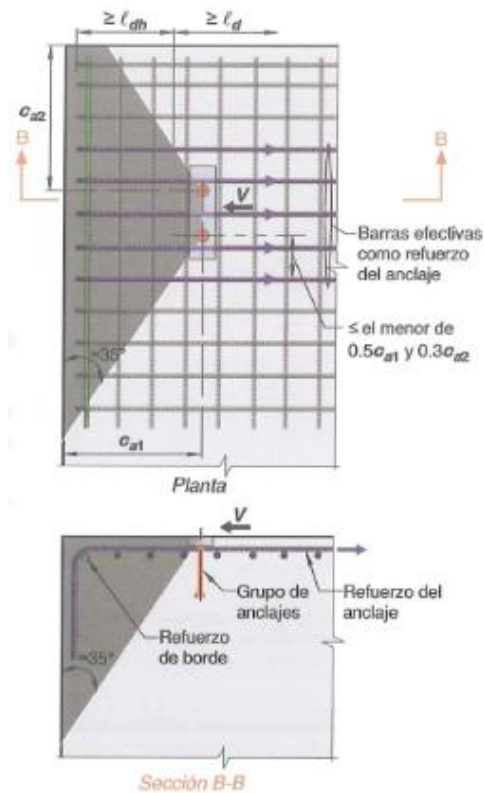
*Refuerzo de anclaje a tracción.*



Tomado del ACI318-19 American Concrete Institute, (2019)

## Figura 8.2

*Refuerzo de anclaje a cortante.*



Tomado del ACI318-19 American Concrete Institute, (2019)

- 8.1. Consideraciones para el Refuerzo de Anclajes en Tracción: en los planos detalle se debe procurar distinguir del refuerzo del miembro de concreto del refuerzo de anclaje, por tal motivo se recomienda que los detalles y especificaciones de los anclajes estén situados en un plano diferente a los detalles estructurales de refuerzo de los elementos de concreto.
- 8.2. Consideraciones para el Refuerzo de Anclajes en Cortante: para colocar el refuerzo de anclajes sometidos a cortante se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) El refuerzo de anclaje puede consistir en estribos, estribos cerrados de confinamiento, amarres u horquillas situados lo más cerca posible al anclaje.
- b) El refuerzo de anclaje a cortante debe estar en contacto con el anclaje.
- c) El refuerzo de anclaje se debe localizar a una distancia que no supere a  $0.5c_{a1}$  o  $0.3c_{a2}$ , el menor de los dos, medido desde el centro del anclaje.
- d) El refuerzo dispuesto como refuerzo del anclaje a cortante debe garantizar fluencia.
- e) El diámetro mayor utilizado para el refuerzo del anclaje debe ser menor o igual a la varilla No. 16 (15.9mm).

## **Capítulo 9. Ejemplos de Diseño**

En el presente capítulo se desarrollan ejemplos con el objetivo de aplicar lo visto en los capítulos anteriores. Se busca con esto brindar de la forma más práctica los recursos necesarios para el diseño de anclajes en las situaciones más comunes que se puedan presentar en diferentes proyectos estructurales. Los ejemplos aquí presentados son adaptados del manual de diseño de anclajes al concreto del ACI “The Reinforced Concrete Design Manual” volumen 2 American Concrete Institute, (2013).

## 9.1 Ejemplo 1

Una tubería con un diámetro de 45cm que se usa para el transporte de agua se suspende por debajo de una placa de concreto por medio de unos anclajes de soporte distanciados cada 8.50m. Los anclajes tienen un diámetro de 3/4" y son tipo ASTM F1554 Grado 36. considere que los anclajes son preinstalados con una profundidad de anclaje de 15cm. El espesor de la placa de concreto reforzado es de 30cm y tiene una resistencia a la compresión de  $f'_c=35\text{MPa}$ . Cada soporte de la tubería resiste una carga sísmica según el análisis de cargas de 20KN.

### Datos

#### Cargas

$$E= 18.00\text{KN}$$

$$CM= 3.75\text{KN/m}$$

$$PP= 0.05\text{KN/m}$$

$$s= 8.50\text{m Separación entre anclajes}$$

#### Anclaje

$$d_a = 19.90\text{mm} \quad 3/4$$

#### Propiedades ASTM F1554

$$f_{uta} = 400\text{MPa}$$

$$f_{ya} = 250\text{MPa}$$

$$h_{ef} = 180\text{mm}$$

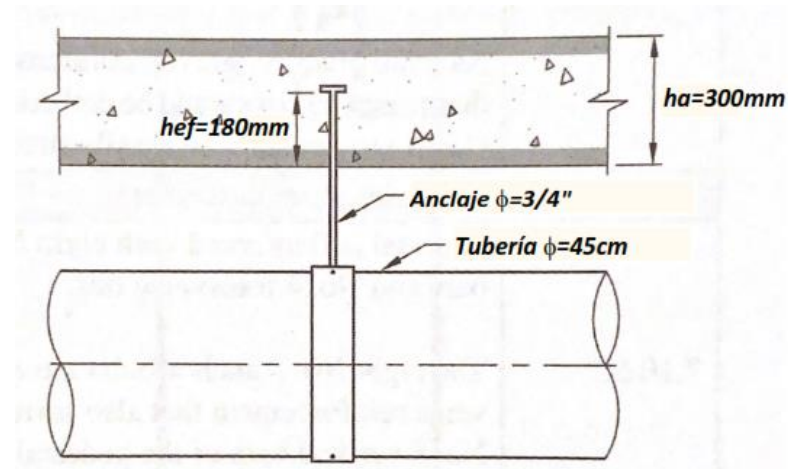
#### Elemento de concreto

$$f'_c = 35\text{MPa}$$

$$h_a = 0.30\text{m}$$

$$\lambda_a = 1.00 \text{ Para concreto liviano}$$

Figura 9.1.1 Esquema ejemplo 9.1



Para el diseño del anclaje se supone el concreto fisurado con el refuerzo necesario para controlar la fisuración, pero no como refuerzo suplementario del anclaje.

Para el diseño del anclaje se debe determinar la carga última para las combinaciones de carga dadas en el título B del NSR-10.

$$U = 1.4CM \quad \text{Para evaluar la carga muerta se debe tener en cuenta la separación entre anclajes y el peso propio de la tubería.}$$

$$U = 1.4CM + E$$

$$U = 1.4*(3.75 + 0.05) * 8.5 = \quad 45.22KN$$

$$1.2*(3.75 + 0.05) * 8.5 + 18$$

$$U = \quad = \quad 56.76KN \quad \text{Carga de diseño}$$

$$N_{ua} = \quad 56.76KN$$

Se verifica entonces si la carga de diseño tiene una componente sísmica; de ser así se evalúa la incidencia de la componente sísmica en la carga de diseño ( $E < 0.20N_{ua}$ ):

$$0.20N_{ua} = \quad 11.35KN \quad \text{Como la carga } E=18KN \text{ es mayor al 20\% de la carga de diseño se deben considerar las acciones sísmicas en el diseño del anclaje.}$$

Para este ejemplo se consideran las acciones sísmicas de acuerdo con lo descrito en el capítulo 7.1 en literal (a) lo cual corresponde a lo dispuesto en el ACI318-19 capítulo 17.10.5.3.

El esfuerzo nominal gobernado por el concreto debe ser al menos 1.2 veces el esfuerzo nominal del acero.

$$1.2N_{sa} < \begin{cases} N_{cb} \text{ (arrancamiento del concreto)} \\ N_{pn} \text{ (Deslizamiento del anclaje)} \end{cases}$$

Se debe revisar las condiciones de ductilidad del anclaje. Se supone que el anclaje cumple los requisitos de ductilidad.

Se debe verificar que la longitud del anclaje este acorde con la recomendación de 8da para un adecuado funcionamiento en eventos sísmicos.

$$8*d_a = 8 * 19.9 = 159.20mm < 180mm \text{ cumple}$$

Cuando se consideran las acciones sísmicas se debe garantizar que ante reversiones de carga el anclaje no falle por pandeo. En este ejemplo la carga considerada es a tracción y no se presentan reversiones de carga entonces no se considera el pandeo.

Para anclajes roscados se debe cumplir con:

$$\frac{f_{uta}}{f_{ya}} \geq 1.3$$
$$400/250 = 1.60 > 1.3 \text{ cumple}$$

Estados limite a revisar:

Capítulo 3.1	Falla del acero	Aplica	
Capítulo 3.2	Falla por deslizamiento	Aplica	
Capítulo 3.3	Falla por arrancamiento del concreto	Aplica	
Capítulo 3.4	Falla por hendimiento	No aplica	no aplica para anclajes individuales
Capítulo 3.5	Falla por desprendimiento lateral del concreto	No aplica	el anclaje se encuentra lejos del borde

## Resistencia del acero

Para la evaluación de la resistencia del acero del anclaje nos remitimos al capítulo 4.1 y consideramos las ecuaciones allí dadas, entonces:

$$N_{sa} = A_{se,N} f_{uta} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$f_{uta}$  no debe exceder  $1.9f_{ya}$  o  $860\text{MPa}$ .

$$1.9*f_{ya} = 1.9 * 250 = 475\text{MPa} > f_{uta} = 400\text{MPa}, \text{ cumple.}$$

Hallando el área del perno de acuerdo con la ecuación 4.2:

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \left[ d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right]^2$$

Se toma el valor de  $n_t$  de acuerdo con la tabla 2 del capítulo 4.

$$n_t = 0.394$$

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \left[ 19.90 - \frac{0.9743}{0.394} \right]^2 = 238.5\text{mm}^2$$

Para el anclaje dado entonces se calcula la resistencia del acero como sigue:

$$N_{sa} = 238.5 * 400 = 95,400\text{N}$$

$$N_{sa} = 95.40\text{KN}$$

La resistencia nominal se debe multiplicar por el factor de resistencia  $\phi$  para obtener la resistencia de diseño:

$$\phi = 0.75$$

$$\phi N_{sa} = 71.55 \text{ KN}$$

$$\phi N_{sa} = 71.55 \text{ KN} > N_{ua} = 56.76 \text{ KN} \quad \text{Cumple}$$

### Resistencia al arrancamiento del concreto

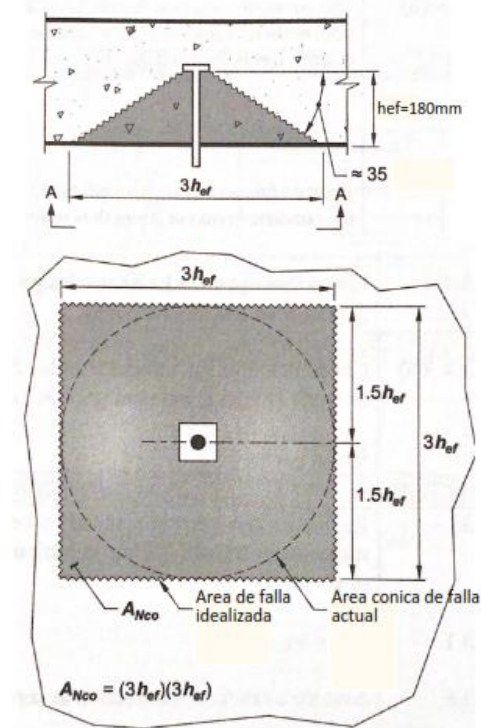
Para la evaluación de la resistencia al arrancamiento del concreto nos remitimos al capítulo 4.2 y consideramos las ecuaciones allí dadas, entonces:

Se debe chequear el arrancamiento del concreto porque no se ha provisto acero de refuerzo del anclaje.

La resistencia nominal del arrancamiento del concreto debe ser calculada de acuerdo con la ecuación 3 del capítulo 4, resistencia para un solo anclaje:

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

Figura 9.1.2 Esquema área de influencia





Se debe determinar cada término de la ecuación. El primer término se refiere a la relación entre áreas.

Para este caso  $A_{Nc} = A_{Nco}$ .

$$A_{Nc}/A_{Nco} = 1.00 \text{ Recordemos que } A_{Nc} \text{ hace referencia al área proyectada de un grupo de anclajes, al tener un solo anclaje la relación de áreas es igual a 1.}$$

Para determinar los valores de los factores  $\Psi_{ed,N}$ ,  $\Psi_{c,N}$  y  $\Psi_{cp,N}$  se debe remitir a la tabla 3 del capítulo 4.2.

$$\Psi_{ed,N} = 1.00 \text{ para } camin > 1.5h_{ef}; \text{ para este caso el anclaje no se encuentra cercano a un borde}$$

Para concreto que se considera

$$\Psi_{c,N} = 1.00 \text{ fisurado}$$

$$\Psi_{cp,N} = 1.00 \text{ Para anclajes preinstalados}$$

La resistencia básica al arrancamiento se determina de acuerdo con la ecuación 9 del capítulo 4.2:

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

$$K_c = 10 \text{ Para anclajes preinstalados}$$

$$N_b = 10 * 1.0 * \sqrt{35} * (150)^{1.5} = 142,871N$$

$$N_b = 142.9KN$$

La resistencia nominal al arrancamiento será entonces:

$$N_{cb} = 1*1*1*1*142.9 = 142.9KN$$

La resistencia nominal se debe multiplicar por el factor de resistencia  $\phi$  para obtener la resistencia de diseño:

$$\phi = 0.70$$

$$\phi N_{cb} = 100.03 \text{ KN}$$

Para considerar las acciones sísmicas sobre el anclaje la resistencia se debe reducir por  $0.75 \phi N_b$ :

$$0.75 \phi N_{cb} = 75.02 \text{ KN}$$

$$0.75 \phi N_{cb} = 75.02 \text{ KN} > N_{ua} = 56.76 \text{ KN} \quad \text{Cumple}$$

Adicional a esto se debe revisar las consideraciones sísmicas supuestas:  $N_{cb} \geq 1.2 N_{sa}$

$$1.2 N_{sa} = 114.48 \text{ KN} < N_{cb} = 142.9 \text{ KN} \quad \text{Cumple}$$

### Resistencia al deslizamiento

Para la evaluación de la resistencia al deslizamiento nos remitimos al capítulo 4.3 y consideramos las ecuaciones allí dadas, entonces:

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

Para determinar los valores de los factores  $\Psi_{c,p}$  se debe remitir a la tabla 3 del capítulo 4.2.

$$\Psi_{c,p} = 1.00 \quad \text{Para concreto que se considera fisurado}$$

La resistencia básica al deslizamiento se determina de acuerdo con la ecuación 12 del capítulo 4.3:

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

El área  $A_{brg}$  es aquella correspondiente a cabeza del anclaje menos el área neta del anclaje. La proyección del área de arrancamiento se hace tomando un ángulo de  $35^\circ$  medidos a partir de la cabeza del anclaje.

$$A_{brg} = 421.9 \text{ mm}^2 \quad \text{Valor tomado de catálogo para un anclaje de } 3/4" \text{ con cabeza hexagonal.}$$

La resistencia nominal al deslizamiento será entonces:

$$N_p = 8 \cdot 421.9 \cdot 35 = 118,132N$$

$$N_p = 118.1KN$$

La resistencia nominal se debe multiplicar por el factor de resistencia  $\phi$  para obtener la resistencia de diseño:

$$\phi = 0.70$$

$$\phi N_p = 82.67KN$$

Para considerar las acciones sísmicas sobre el anclaje la resistencia se debe reducir por  $0.75\phi N_b$ :

$$0.75\phi N_{cb} = 62.00KN$$

$$0.75\phi N_p = 62.00KN > N_{ua} = 56.76KN \quad \text{Cumple}$$

Adicional a esto se debe revisar las consideraciones sísmicas supuestas:  $N_p \geq 1.2N_{sa}$

$$1.2N_{sa} = 114.48KN < N_p = 118.1KN \quad \text{Cumple}$$

El resumen de e cargas queda entonces de la siguiente manera:

Resistencia Nominal		Fuerza
Resistencia del acero	$\phi N_{sa}$	71.55KN
Resistencia al arrancamiento	$0.75\phi N_{cb}$	75.02KN
Resistencia al deslizamiento	$0.75\phi N_p$	62.00KN

La falla en el anclaje estará controlada por la resistencia al deslizamiento

## **Capítulo 10. Anexos**

En el presente capítulo se presentan tablas adaptadas de información de productos adhesivos los cuales fueron base de estudio para elaborar la tabla ejemplo para valores de esfuerzo característico del capítulo 5 (tabla 4.5.1). Estos anexos corresponden a informes de evaluación del ICC Evaluación Service (ICC Evaluation Service, 2020c, 2020a, 2020a, 2020b, 2020d, 2021d, 2021b, 2021a, 2021e, 2021c).

## ***Bibliografía***

- Ahmed, L. T., & Braimah, A. (2019). Tensile behaviour of adhesive anchors under different strain rates. *Engineering Structures*, *192*, 113–125.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.072>
- AIS, A. C. de I. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 TÍTULO A — REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. 1.*
- American Concrete Institute. (2013). The Reinforced Concrete Design Manual. *Sp-17(11)2*, Vol. 3, p. 201.
- American Concrete Institute. (2019). *318M–19: Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary*. <https://doi.org/10.14359/51716937>
- Board, N. T. S. (2006). *highway Ceiling Collapse in the Interstate 90 Connector Tunnel National Transportation Safety Board*. Retrieved from <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HAR0702.pdf>
- Creegan, P. J., Burdette, E. a, Cannon, R. W., Carrato, P. J., Courtois, P. D., Funk, R. R., ... Wollmershauser, R. E. (1997). *Informe sobre el Estado del Arte. 91.*
- Gurbuz, T., & Ilki, A. (2011). Pullout performance of fully and partially bonded retrofit anchors in low-strength concrete. *ACI Structural Journal*, *108*(1), 61–70.  
<https://doi.org/10.14359/51664203>
- ICC Evaluation Service. (2020a). *ICC-ES Evaluation Report*. (July). Retrieved from [www.icc-](http://www.icc-)

es.org

ICC Evaluation Service. (2020b). *ICC-ES Evaluation Report*. (March 2021). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2020c). *ICC-ES Evaluation Report ESR-2583*. (December). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2020d). *ICC-ES Evaluation Report ESR3829*. (March 2021). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2020e). *Reporte de Evaluación ICC-ES ESR-3187*. Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2021a). *ICC-ES Evaluation Report*. (March). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2021b). *ICC-ES Evaluation Report ESR-2582*. (February). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2021c). *ICC-ES Evaluation Report ESR-4027*. (January). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

ICC Evaluation Service. (2021d). *ICC-ES Evaluation Report ESR-4778*. (February), 31.

ICC Evaluation Service. (2021e). *Reporte de Evaluación ICC-ES ESR-3814-SP*. (800). Retrieved from [www.icc-es.org](http://www.icc-es.org)

Ministry of Land, Infrastructure, T. and T. (MLIT) of J. (n.d.). *Sasago Tunnel Ceiling Collapse on the Chuo Expressway on the Chuo Expressway (Sequence of Events and Countermeasures)*. Retrieved from [http://www.mlit.go.jp/road/road\\_e/03key\\_challenges/1-](http://www.mlit.go.jp/road/road_e/03key_challenges/1-)

2-1.pdf

Nilforoush, R., Nilsson, M., Elfgrén, L., Ožbolt, J., Hofmann, J., & Eligehausen, R. (2017).

Tensile capacity of anchor bolts in uncracked concrete: Influence of member thickness and anchor's head size. *ACI Structural Journal*, 114(6), 1519–1530.

<https://doi.org/10.14359/51689503>

Olsen, J., Pregartner, T., & Lamanna, A. J. (2012). Basis for design of screw anchors in concrete.

*ACI Structural Journal*, 109(4), 559–568.

Piccinin, R., Cattaneo, S., & Biolzi, L. (2013). Breakout capacity of headed anchors in confined

concrete: Experimental evidence. *ACI Structural Journal*, 110(3), 469–479.

R. Eligehausen, R. M. and J. F. S. (2006). *Anchorage in Concrete Construction* (First edit; ©

2006 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2006 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG., Ed.).

Wang, D., Wu, D., Ouyang, C., He, S., & Sun, X. (2017). Simulation analysis of large-diameter

post-installed anchors in concrete. *Construction and Building Materials*, 143(April), 558–565. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.149>

Wollmershauser, R. E., Consulting, W., & Mattis, L. (n.d.). *Understanding Adhesive Anchor*. 1–

11.