

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DESARROLLO DE CONTENIDO PARA CURSO ABIERTO MASIVO EN
LÍNEA (MOOC) SOBRE ANCLAJES DE CONCRETO ARMADOS
PREINSTALADOS**

Presentado por:

Paúl R., José Á.

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como
Requisito para optar al Título de:**

INGENIERO CIVIL

Cantaura, Marzo de 2017

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DESARROLLO DE CONTENIDO PARA CURSO ABIERTO MASIVO EN
LÍNEA (MOOC) SOBRE ANCLAJES DE CONCRETO ARMADOS
PREINSTALADOS**

Asesor:

**Ing. Martínez, Jhonatan
Asesor Académico**

Cantaura, Marzo de 2017

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DESARROLLO DE CONTENIDO PARA CURSO ABIERTO MASIVO EN
LÍNEA (MOOC) SOBRE ANCLAJES DE CONCRETO ARMADOS
PREINSTALADOS**

Jurado Calificador

El Jurado hace constar que asignó a esta a Tesis la calificación de:

APROBADO

**Ing. Jhonatan Martínez
Asesor Académico**

**Ing. González, Anabel
Jurado Principal**

**Ing. Cabrera, Daniel
Jurado Principal**

Cantaura, Marzo de 2017

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicado CU-034-2009:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.”



DEDICATORIA

A Dios primeramente ya que sin el nada es posible, por acompañarme en este largo camino y darme las fuerzas para continuar a pesar de cualquier adversidad.

A mis padres por estar a mi lado en todo momento y guiarme en todas las decisiones que he tomado a lo largo de este camino sin su apoyo nada de esto sería posible, gracias por estar ahí para darme su mano cuando más lo necesito. A mi hermana Jessica por ser un ejemplo y motivación en mi vida.

A los ingenieros Alexander Rodríguez y Jhonatan Martínez por ser los que me introdujeron en el desarrollo de este proyecto y confiaron en mis capacidades para llevarlo a cabo.

Dedicado a todos los profesionales de las ciencias y de la ingeniería, quienes a través de la investigación se esmeran día a día en obtener nuevos avances con el fin de fomentar el desarrollo en la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios y a mi familia, mis padres por estar en todo momento a mi lado. A mis hermanos; Gracias por siempre estar ahí y siempre hacer lo que esté en sus manos para ayudarme a lograr mis sueños, son los mejores, los quiero. A mis sobrinos por sacarme una sonrisa en esos días difíciles son uno de mis mejores tesoros, los quiero.

A cuatro personas muy importantes que me han acompañado en este camino a mis cuñados Eduardo y Alexandra porque me han apoyado de tal manera como si fueran mis hermanos, a Karina por ayudarme en todo lo que estuvo en sus manos y a mami Ana por darme todo su cariño y apoyo incondicional.

A mis apreciadas amigas Chiqui, Alfre, Yeni y María Isabel por estar conmigo incondicionalmente desde que las conozco y darme su apoyo para alcanzar mis metas. A mis fieles compañeros y amigos Andreina, Arturo y Jhosglerkis por estar conmigo en este trayecto algunos han estado conmigo desde el liceo espero seguir contando con su apoyo y amistad a lo largo de mi vida.

A cada uno de los profesores que han dedicado su tiempo para mi formación tanto profesional como personal en especial a mi tutor Jhonatan Martínez, Ramón Loaiza, Alexander Rodríguez y Elys Rondón cada uno de ustedes han sido muy importantes en mi formación, cada uno de sus regaños y consejos; como si fueran mis padres gracias son excelentes personas y profesionales, gracias por convertirme en una persona resiliente.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DESARROLLO DE CONTENIDO PARA CURSO ABIERTO MASIVO EN
LÍNEA (MOOC) SOBRE ANCLAJES DE CONCRETO ARMADOS
PREINSTALADOS**

Autor: Paul R., José A
Asesor académico: Ing. Martínez, Jhonatan
Fecha: Marzo de 2017

RESUMEN

La investigación consistió en el desarrollo y creación de contenido para un curso masivo en línea (MOOC) sobre el diseño de anclajes preinstalados al concreto, de acuerdo a las consideraciones expresadas en el código ACI 318, publicado en el año 2014. Se desarrolló una investigación de tipo documental y explicativa, basada en la revisión de fuentes de carácter técnico, orientada a profundizar los conocimientos relacionados con la temática planteada. La investigación se limitó a la incursión de los cursos MOOC en la Universidad de Oriente. Finalmente se elaboró una serie de contenido audio visual y un conjunto de manuales como material de apoyo para el curso el cual será difundido a través de una plataforma gratuita. Además, se elaboró una hoja de cálculo con la ayuda de Microsoft Excel, para el diseño de anclajes individuales; con los datos obtenidos de esta se realizaron una serie de graficas de relación profundidad de empotramiento y la carga de diseño, así como también una tabla de dimensiones mínimas para la estructura de acuerdo a los criterios de diseños expresados en el código ACI 318-14.

Descriptor: ACI, Anclaje, Profundidad de embebido, factores de modificación, concreto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRAFICOS	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I	17
EL PROBLEMA	17
1.1. Planteamiento del Problema	17
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo General	20
1.2 Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Bases Teóricas Referenciales	23
2.2.1 Cursos Abiertos Masivos en Líneas (MOOC)	23
2.2.2 Anclaje	26
2.2.3 Bulón	26
2.2.4 Profundidad efectiva de embebido (h_{ef})	27
2.2.5 Métodos de aseguramiento	28
2.2.5.1 Enclavamiento Mecánico	29
2.2.5.2 Aseguramiento por Fricción	29
2.2.6 Sistemas de anclajes	30
2.2.7 Anclaje Preinstalado	30
2.2.7.1 Anclajes embebidos no regulables	31
2.2.7.2 Conexiones abulonadas	32
2.2.7.3 Anclajes regulables	32
2.2.8 Materiales para los pernos de anclajes	32
2.2.9 Características del concreto	34
2.2.10 Características del acero	36
2.2.10.1 Resistencia a la tracción del acero	37
2.2.10.2 Resistencia al corte del acero	38
2.2.11 Espaciamiento mínimo de pernos y distancia mínima al borde ..	38
2.2.12 Factores de reducción de la resistencia	39

2.2.13 Factores ambientales.....	40
2.2.14 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción	41
2.2.14.1 Área de fallas proyectadas AN y ANo	42
2.2.14.2 Resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción (Nb).....	45
2.2.14.3 Factores de modificación para elementos a tracción	46
2.2.15 Resistencia a la extracción por deslizamiento	47
2.2.16 Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en tracción	47
2.2.17 Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante	48
2.2.18 Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje a cortante.....	49
2.2.18.1 Área proyectada de corte A_v y A_{vo}	50
2.2.18.2 Resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto (V_b).....	52
2.2.18.3 Factores de modificación para elementos a tracción	52
2.2.19 Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo sometido a cortante	55
2.2.20 Interacción de las fuerzas de tracción y cortante	56
2.2.21 Refuerzo de los anclajes.....	56
2.2.22 Instalación e inspección de los anclajes	57
CAPÍTULO III	58
MARCO METODOLÓGICO	58
3.1 Tipo de Investigación.....	58
3.2 Nivel de Investigación.....	59
3.3 Técnicas de recolección de datos	60
3.3.1 Revisión documental.....	60
3.3.2 Análisis de datos.....	61
CAPÍTULO IV.....	62
RESULTADOS.....	62
4.1 Etapas del Proyecto	62
4.2 Requerimientos del Código ACI 318-14 en consideración al diseño de anclajes al concreto.....	63
4.2.1 Diseño de anclajes al concreto	65
4.2.2 Resistencia del acero de un anclaje para cargas a tracción.....	66
4.2.3 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje a tracción	66
4.2.4 Resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción.....	66
4.2.5 Resistencia del acero sometido a cortante	67
4.2.6 Resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante.....	68
4.2.7 Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje sometido a cortante	68

4.2.8 Interacción de las fuerzas de tracción y cortante	68
4.3 Casos de sistemas de anclajes	69
4.3.1 Modelo de un anclaje individual	70
4.3.2 Diseño de pernos con cabeza próximo a un borde.....	73
4.3.3 Diseño de grupo de cuatro pernos con cabeza	78
4.3.4 Diseño de un grupo de bulones en L	82
4.3.5 Diseño de un grupo de ocho pernos	86
4.4 Tablas de diseño para anclajes individuales	92
4.4.1 Elaboración de tablas de diseño en Microsoft Excel.....	93
4.4.2 Modelo de diseño con las tablas.....	98
4.4.3 Análisis de tablas de diseño	100
4.5 Elaboración de curso MOOC.....	111
CAPÍTULO V.....	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
5.1. Conclusiones.....	113
5.2. Recomendaciones.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	116
ANEXOS.....	119
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Propiedades del material ASTM F1554	33
Tabla 2.2: Propiedades dimensionales de los anclajes preinstalados	34
Tabla 2.3: Tipos de concreto según sus características	35
Tabla 2.4: Tipos de concreto según su peso	35
Tabla 2.5: Tipos de concreto según su resistencia	35
Tabla 2.6: Composición del acero/resistencia	36
Tabla 2.7: Factores de reducción de la resistencia.....	39
Tabla 4.1: características mecánicas.....	71
Tabla 4.2: Dimensiones mínimas para pernos de anclajes preinstalados. .	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: profundidad efectiva de embebido	26
Figura 2.3: Cono de falla en relación con la profundidad efectiva de embebido	27
Figura 2.3: Enclavamiento mecánico	29
Figura 2.4: Aseguramiento por fricción	30
Figura 2.5: Anclajes embebidos no regulables	31
Figura 2.6: Corte a través de un cono de falla y vista de planta	43
Figura 2.7: Ejemplos de cálculo de AN para anclajes individuales y grupos de anclajes.....	43
Figura 2.8: Cálculo de A_v	50
Figura 2.9: Cálculo de A_{vO}	51
Figura 4.1: Pernos con cabeza a un borde	73
Figura 11: Distribución de carga a tracción.....	74
Figura 4.3: Área proyectada modelo 2.....	75
Figura 4.4: Vista de planta del modelo 3.....	78
Figura 4.5: Vista lateral del modelo 3.....	79
Figura 4.6: área proyectada modelo 2	80
Figura 4.7: Vista de planta grupo de 6 pernos	83
Figura 4.8: Anclajes en “L”	83
Figura 18: Vista de planta de ocho pernos	86
Figura 4.10: Ventana de bordes.....	94
Figura 4.11: Algoritmo para el cálculo del área neta efectiva (A_{se})	95
Figura 4.12: Algoritmo para el cálculo del diámetro del perno	95
Figura 4.13: Algoritmo para el cálculo de la profundidad efectiva de empotramiento del perno	96

Figura 4.14: Algoritmo para el cálculo de la superficie de apoyo del perno ..	97
Figura 4.15: Tabla de diseño pernos individuales	98
Figura 4.16: Calculo de Ase y diámetro del anclaje	99
Figura 4.17: Calculo de hef y tipo de tuerca o cabeza	99
Figura 4.14: imagen de l video tutorial.....	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafico 4.1: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=250\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G36°)	102
Grafico 4.2: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G36°)	103
Grafico 4.3: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G36°)	104
Grafico 4.4: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=250\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G55°)	105
Grafico 4.5: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=300\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G55°)	106
Grafico 4.6: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G55°)	107
Grafico 4.7: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=250\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G105°)	108
Grafico 4.8: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=300\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G105°)	109
Grafico 4.9: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G105°).	110

INTRODUCCIÓN

Durante estos últimos años el Comité ACI 318 tomo la delantera en el desarrollo de requisitos codificados para el diseño de anclajes mecánicos tanto preinstalados como pos-instalados. Producto de estos estudios se ha generado una serie de consideraciones en el diseño de Pernos de Anclaje que en la actualidad, están siendo incorporadas y difundidas en todo el mundo, ampliando criterios con trabajos como los del Prof. Richard Klingner de la Universidad de Texas en Austin, que han sido plasmadas en el Código ACI 318.

La difusión de estos criterios de diseño ha sido lenta, ya que el capítulo que contiene los requerimientos para el diseño de anclajes al concreto del código ACI 318, es considerado como el más difícil de entender, con las características que nos ofrece la nueva tendencia en educación, como son MOOC diferentes personas tendrán la oportunidad de acceder a esta información.

Es relevante mencionar que la principal finalidad de la realización de este estudio es hacer que el modelo de enseñanza tradicional evolucione aprovechando al máximo el avance tecnológico con el que contamos en la actualidad, además de difundir los criterios de diseño expresados en el código ACI 318 de una manera más práctica y accesible para facilitar el aprendizaje y utilización del método. El trabajo está estructurado en cinco capítulos. En el Capítulo I se establece el planteamiento del problema, que incluye a su vez el alcance y la justificación de la investigación; se señalan también el objetivo general y los objetivos específicos del estudio. El Capítulo II corresponde al marco teórico referencial, el cual se encuentra conformado

por los antecedentes y las bases teóricas que sustentan el desarrollo de la investigación.

Por otra parte, en el Capítulo III se describe la metodología adoptada en la ejecución de la investigación. El Capítulo IV incluye los resultados obtenidos y, finalmente, en el Capítulo V se plantean las conclusiones y recomendaciones inherentes al estudio realizado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Como efecto de todo avance tecnológico, surgen en el área de la educación los Cursos Abiertos Masivos en Líneas o mejor conocido en sus siglas en inglés (MOOC), de acuerdo a un estudio realizado por Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), esta nueva tendencia ha venido adquiriendo especial importancia en el contexto académico y en especial en la educación superior, pues han contribuido a certificar a sus participantes en diferentes áreas y especialidades, permitiendo que los procesos de enseñanza-aprendizaje en ambientes virtuales sean eficaces; de esta manera los MOOC, ofrecen diversos beneficios o ventajas para los usuarios ya que representan una nueva alternativa educativa, sirven como complemento a la educación tradicional, va dirigido a personas de diferentes localidades y a través de éstos, diferentes personas pueden tener las mismas oportunidades para acceder a una educación de calidad.

En cuanto a la utilización de este tipo de plataformas o aulas virtuales, es oportuno mencionar que en los países de Europa y algunos de América, como el caso de Estados Unidos, la educación ha evolucionado de una manera sorprendente al incursionar en esta tendencia; El ingeniero venezolano Rafael Reif, presidente del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), antes de llegar a la presidencia, Reif realizó un trabajo pionero en el MIT, con plataformas de cursos en línea que ofrecen a estudiantes de todo el mundo el acceso a todos los cursos que se dictan en la universidad; Esto permite, por ejemplo, que un estudiante de maestría

course un semestre a distancia sin pagar un dólar, y dependiendo del resultado y de un examen sea admitido en el campus de Cambridge para completar el curso y recibir el diploma.

Igualmente, en Venezuela, también se ha realizado este tipo de plataformas en algunas de las universidades del país, como es el caso de Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), y la Universidad Metropolitana (UNIMET). La Universidad de Oriente (UDO), también cuenta con una plataforma de aula virtual; pero debido a problemas de presupuesto la misma no funciona en óptimas condiciones. Es relevante mencionar que la principal finalidad de la realización de este estudio es hacer que el modelo de enseñanza tradicional evolucione aprovechando al máximo el avance tecnológico con el que contamos en la actualidad, mejorando de esta manera el modelo académico tradicional, proporcionando los materiales de un curso habitual como son los vídeos, lecturas y cuestionarios; los MOOC, proporcionan foros de usuarios interactivos que ayudan a construir una comunidad para los estudiantes, profesores y los asistentes de enseñanza. Lo que nos permitirá contar con una plataforma ágil, completa, accesible, económica y de fácil manejo la cual será una innovación en el país al estar dirigida a estudiantes de ingeniería civil.

En relación a lo antes mencionado, se desea implementar los cursos MOOC, en la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, y así todo estudiante de ingeniería civil de dicha institución u otra que tenga acceso a internet, pueda mejorar su calidad de aprendizaje y romper con cualquier barrera que pudiera limitar su nivel de aprendizaje, garantizando la formación de ingenieros civiles con un mayor potencial y calidad al incursionar en el modelo de educación virtual el cual es tendencia en las principales potencias del mundo.

Para, efectuar el principal objetivo de este estudio, es necesario crear contenidos, guías de estudios, videos y guías de diseño agregando herramientas de evaluación en línea a partir de un servidor externo de manera piloto que facilite el acceso para desarrollar este proyecto. Con la ayuda de este servidor se facilitará el acceso al contenido del presente proyecto; para el desarrollo de este tema se aplicarán los conocimientos adquiridos en materias como Estructuras Metálicas I y Proyectos de Ingeniería I, además del cumplimiento de diferentes normativas tanto nacionales como internacionales, Tales como las normas Covenin (Comisión Venezolana de Normas Industriales), la ACI (Instituto Americano del Concreto), la cual es una organización que desarrolla normas y recomendaciones técnicas referentes al concreto, el Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad (FONDONORMA) y la ASTM F1554 (Asociación Americana de Ensayos de Materiales).

Así mismo se tomarán como referencias la Covenin 1.753-2.006, Proyecto de Construcción de obras en Concreto Estructural, ACI 318-14 y su comentario ACI 318R-05, ACI 349-76, ACI 355.2-01 y comentario ACI 355.2R-01, Reglamento para concreto estructural, FONDONORMA, y ASTM-1994 En función de los distintos requerimientos y normativas antes mencionadas éstas servirán de apoyo en la investigación.

De esta manera, toda la información recolectada será simplificada en un conjunto de manuales, los cuales les servirán de guías de estudio a los estudiantes, ya que estos estarán dirigidos para facilitar a estos la introducción al tema, además de contar con ejercicios propuestos y resueltos, así como también contará con toda la información necesaria a la hora de diseñar un sistema de anclaje (tipo de material, condiciones ambientales, tipos de anclajes, cálculos de resistencias, entre otros).

De esta forma, se estará brindando a la (UDO) Extensión Cantaura, una innovación no solamente por el diseño de un aula virtual, sino además al incursionar en un tema como el diseño de pernos de anclajes, el cual no se le ha tomado la debida importancia, ya que las normas nacionales solo dan referencias para seleccionar un sistema de anclaje mas no especifica su diseño este mismo problema se observa en la mayoría de los países latinoamericanos los cuales se guían por normas internacionales para elaborar un diseño y además un gran porcentaje de profesionales no poseen conocimientos sobre cómo realizar un diseño de un sistema de anclajes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar curso abierto masivo en línea (MOOC) sobre anclajes de concreto armado preinstalado.

1.2 Objetivos Específicos

- Describir los requisitos para el diseño de pernos de anclajes en hormigón preinstalados establecidos en el Código ACI 318-14, la FONDONORMA 1756-2006 y la ASTM-1994.
- Confeccionar guías teórico prácticas sobre el diseño de pernos de anclajes en hormigón preinstalados utilizando los requisitos para el diseño establecidos en el Código ACI 318-14, la FONDONORMA 1756-2006 y la ASTM-1994.

- Adaptar el contenido del MOOC de diseño de pernos de anclajes en hormigón preinstalados en presentaciones escritas, audiovisuales y diferentes métodos de evaluación de conocimientos.
- Diagramar el contenido para la plataforma virtual para el MOOC de diseño de anclajes en hormigón preinstalados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Los antecedentes descritos a continuación servirán de aporte para el desarrollo de la investigación. A continuación se mencionan algunos trabajos elaborados por diferentes autores en el área de la ingeniería civil; de cada uno de éstos se tomarán los elementos más importantes para desarrollar el objetivo del trabajo de investigación.

De este modo, Borjas Y Colab. (2012), desarrollaron un curso en línea basado en el diseño de estructuras metálicas, haciendo principal hincapié en el cálculo, comprobación y construcción de las estructuras metálicas realizadas con aceros estructurales. Se centró fundamentalmente en los elementos de edificaciones y se apoyó en la normativa del Código Técnico de la Edificación. Sus contenidos fueron desarrollados principalmente en los estados límites últimos y de servicio y el dimensionamiento de uniones atornilladas y soldadas.

Para tal efecto, el desarrollo de este MOOC, brindó a sus participantes conocimientos aplicados de las propiedades tecnológicas y leyes de cómo se comportaran los materiales y elementos empleados habitualmente en la construcción de estructuras metálicas de acero estructural, así como también la capacidad de interpretar y aplicar la normativa vigente, nacional y europea, relativa al proyecto y a la construcción de estructuras metálicas de acero estructural; además de la capacidad para concebir, proyectar, calcular,

construir y mantener estructuras metálicas de acero estructural de moderada complejidad.

Ahora bien, hasta la década de los 70, según el Prof. Richard Wollmershauser, miembro del Comité ACI 355, los estudios sobre anclajes permanecieron en datos experimentales sin ser reglamentados oficialmente por los organismos especializados, tales como el ACI y ASTM, que son algunos de los principales organismos que han sido utilizados como referencias para la elaboración de las normativas Venezolanas.

Sin embargo, en el año 2002, el Código ACI 318-02, presenta el Apéndice D, con requisitos para el diseño de anclajes en concreto, tanto para hormigonados in situ o preinstalados como para elementos incorporados a hormigones endurecidos, sustentado en ensayos realizados y reglamentados por el Comité ACI 355-2. Producto de estos estudios se han generado una serie de consideraciones en el diseño de Pernos de Anclaje, que en la actualidad están siendo incorporadas y difundidas en todo el mundo, ampliando criterios con trabajos como los del Prof. Richard Klingner, de la Universidad de Texas en Austin, que han sido plasmadas en el Código ACI 318-08, dando nuevas herramientas de cálculo para dar mayor seguridad a este tipo de anclajes y con ello aumentar su confiabilidad y su utilización en los diferentes proyectos de ingeniería.

2.2 Bases Teóricas Referenciales

2.2.1 Cursos Abiertos Masivos en Líneas (MOOC)

Estos cursos masivos en línea son una manera de aprender de forma informal y libre, creando una tendencia abierta donde la limitación depende

del participante, con el apoyo de la Internet, la cual es una red de comunicación fundamental. Cabe destacar que se basan en la participación activa de gran cantidad de estudiantes, los cuales organizan sus objetivos de aprendizaje de manera abierta, considerando sus conocimientos previos, habilidades e intereses personales de forma emergente y fragmentaria a partir de elementos dispersos y diversos. George Siemens, Stephen Downes y Dave Cormier, son los creadores de la metodología MOOC. Desde 2008, más de 10000 personas han participado en los diferentes cursos que han organizado.

Así mismo, este tipo de curso fue elaborado, según McAuley, Stewart, Siemens y Cormier (2010), en respuesta a las preguntas de los conocimientos, habilidades y actitudes que las personas necesitan para prosperar en la actual sociedad. Los MOOC, sirven como un ecosistema para explorar de manera abierta y libre, donde el participante negocia su alcance y naturaleza de acuerdo a sus necesidades y deseos individuales; esto permite a las personas de una comunidad de aprendizaje sobre cualquier temática de estudio la posibilidad de practicar a un ritmo que le sea cómodo, además hace posible el acceso a un gran número de personas que de otro modo podrían ser excluidos por razones tales como: tiempo, ubicación geográfica, requisitos formales, dificultades económicas u otra que se pudiese presentar.

Por otra parte, los MOOC son fácilmente accesibles a través de Internet. Para inscribirte sólo tienen que visitar las páginas de los centros mencionados o de los portales de MOOC más conocidos como Coursera, EdX, uDacity o Miriadax, éste último de mayor contenido en castellano; y seguir las instrucciones de registro e inscribirte en tu primer MOOC.

Así mismo, en un artículo publicado por Escalada (2016), en la revista el Economista de la ciudad de Valencia, España, dice que la aportación de los MOOC, al mundo de la formación es la tendencia a democratizar la educación superior de élite, permitiéndote entrar en contacto con las mejores fuentes de educación. Es por ello, que aunque los primeros cursos MOOC, fueron creados por las principales universidades de élite, éstos las han democratizado permitiendo que cualquier persona pueda acceder a una educación de alto nivel.

Mientras que según Timms (2016), los MOOC no han penetrado en todas las partes del mundo de los negocios debido a que aún hay personas que al escuchar MOOC, no tienen conocimiento referente a ello. Es un área muy interesante que necesita mayor atención, pero continúa tarareando en silencio. No ha sido una revolución masiva pero se están convirtiendo en otro aspecto de lo que las empresas buscan; esto hace referencia a que las principales empresas buscan personas que posean cursos MOOC, siempre y cuando lo relacionen con su objetivo de trabajo, ya que hay que considerar la gran variedad de información que ofertan las principales páginas de cursos en líneas, es por esto que se recomienda que cada persona adquiera los conocimientos del área en la que se desea desarrollar, siendo las áreas de crecimiento empresarial las que más se han desarrollado.

Partiendo de lo supuesto anteriormente, según la Confederación de Industria Británica (2016), las empresas reconocen que los cursos en línea son una forma accesible de educación de alta calidad, pero la elección del proveedor adecuado es esencial si los cursos son para cumplir con los objetivos y esperanzas de los participantes; es decir, el participante debe enfocarse en la realización de cursos que se relacionen con su

desenvolvimiento laboral y de esta manera enfocar su formación en el área de trabajo correspondiente.

De acuerdo a lo establecido en el ACI 318 (2014), definen los siguientes términos:

2.2.2 Anclaje

Un dispositivo de acero ya sea preinstalado antes de colocar el concreto, o postinstalado en un elemento de concreto endurecido y usado para transmitir fuerzas aplicadas, incluidos los tornillos con cabeza, los tornillos con extremo en forma de gancho (J ó L), pernos con cabeza, anclajes de expansión o anclajes con sobre perforación en su base.

2.2.3 Bulón

La palabra bulón se utiliza para denominar pernos de acero estructural de diámetro y tamaño relativamente grande, con rosca solo en la parte extrema de su cuerpo, y generalmente con cabeza redonda, cuadrada o hexagonal con superficie de apoyo plana que son utilizados en obras de ingeniería y en mecánica industrial. (Ver figura 2.1).

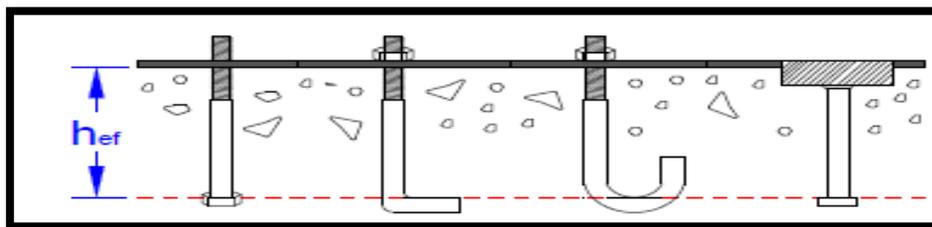


Figura 2.1: profundidad efectiva de embebido

Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

2.2.4 Profundidad efectiva de embebido (h_{ef})

Profundidad total a través de la cual el anclaje transfiere fuerzas hacia o desde el concreto que lo rodea. La profundidad efectiva de embebido generalmente es la profundidad de la superficie de falla del concreto en las aplicaciones de tracción. Para tornillos con cabeza preinstalados y pernos con cabeza, la profundidad efectiva de embebido se mide desde la superficie de contacto de apoyo de la cabeza. (Ver figura 2.1).

De esta manera, la profundidad de embebido juega un papel fundamental a la hora de diseñar un sistema de anclajes, esto es debido, a que el comportamiento del sistema de anclaje, frente a la tracción, tiene una relación directa con la profundidad efectiva, que el elemento de acero penetra en el concreto. Los estudios hechos relacionan el cono de falla en relación a la profundidad de efectiva (Ver figura 2.2).

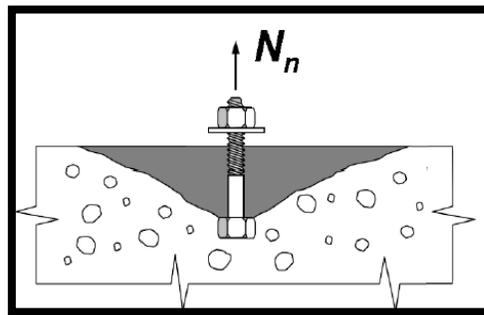


Figura 2.3: Cono de falla en relación con la profundidad efectiva de embebido
Fuente: ACI 318

Para anclajes individuales que se encuentran alejados de los bordes la profundidad efectiva se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$h_{ef} = \frac{Nu}{\phi \cdot \Psi \cdot 24 \cdot \overline{f'_c}}^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Nu: es la carga de diseño.

Ψ : este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

ϕ : factor de reducción de la resistencia; este será de 0,70 para cuando no existen estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75

f'_c : resistencia del concreto.

En caso contrario, se puede utilizar la ecuación anterior como un punto de partida para determinar la profundidad efectiva y esta se definirá a través de un proceso interactivo en la cual se debe cumplir la siguiente condición:

$$A_N \leq n \cdot A_{No} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

A_N : es el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (C_{amin}), de $1,50(h_{ef})$.

A_{No} : $9h_{ef}^2$

n: es el número de pernos.

2.2.5 Métodos de aseguramiento

Son las maneras como el anclaje transmite las cargas al concreto, éstas pueden ser:

- Enclavamiento Mecánico o Mediante Base de Soporte.
- Aseguramiento por fricción.
- Enclavamiento Químico o por Adherencia.

2.2.5.1 Enclavamiento Mecánico

De acuerdo al ACI (2014), es el mecanismo de transferencia de carga (N) que emplea un cojinete de aseguramiento entre el anclaje y el concreto, generalmente es empleado por los sistemas de anclaje hormigonados “in-situ”. (Ver figura 2.3).

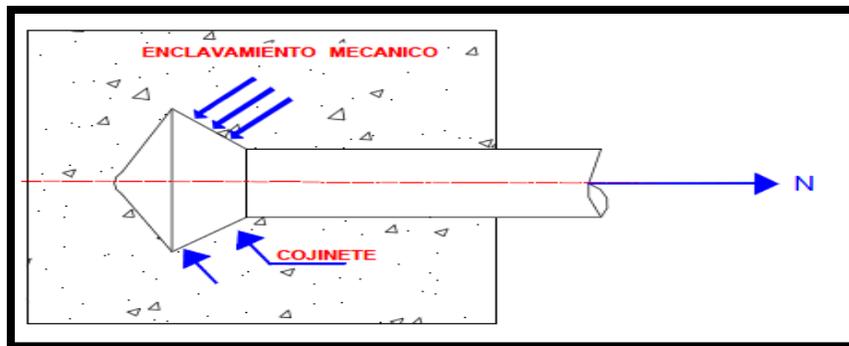


Figura 2.3: Enclavamiento mecánico
Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

2.2.5.2 Aseguramiento por Fricción

Según ACI (2014), es el mecanismo de transferencia de carga (N) que emplea la fuerza de fricción generada entre el anclaje y la pared del orificio al actuar esfuerzos principalmente de tracción sobre el sistema de anclaje. (Ver figura 2.4).

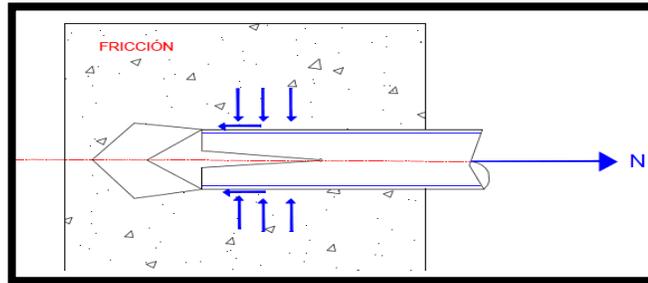


Figura 2.4: Aseguramiento por fricción
Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

2.2.6 Sistemas de anclajes

Estos sistemas son un conjunto de elementos de acero que permiten recibir o transmitir cargas estructurales al concreto y pueden ser:

- Anclaje Preinstalado o Sistemas hormigonados “in situ” (Cast-in-Anchor).
- Anclaje Postinstalado o Sistemas instalados en concreto endurecido (Post- installed anchor).

Para este proyecto se estudiarían solamente los sistemas de anclajes preinstalados o sistemas hormigonados “in situ”.

2.2.7 Anclaje Preinstalado

Son sistemas donde los anclajes se instalan antes de colocar el concreto. Generalmente empleados cuando se conoce la posición exacta de colocación. Pueden ser:

- Anclajes embebidos no regulables.
- Conexiones abulonadas.

- Anclajes regulables.

2.2.7.1 Anclajes embebidos no regulables

Estos anclajes tienen un dispositivo de fijación o base de soporte en su extremo, como por ejemplo un lazo, una cabeza (cojinete), una tuerca o una placa, para mejorar las propiedades del método de anclaje y así desarrollar plenamente la resistencia potencial por enclavamiento mecánico. Existen varios tipos como:

- Bulones comunes (Ver figura 2.5)
- Bulones en “J” o “L” terminados en gancho. (Ver figura 2.5)
- Barras roscadas. (Ver figura 2.5)
- Acero de armaduras
- Insertos roscados
- Placas para soldadura de pernos

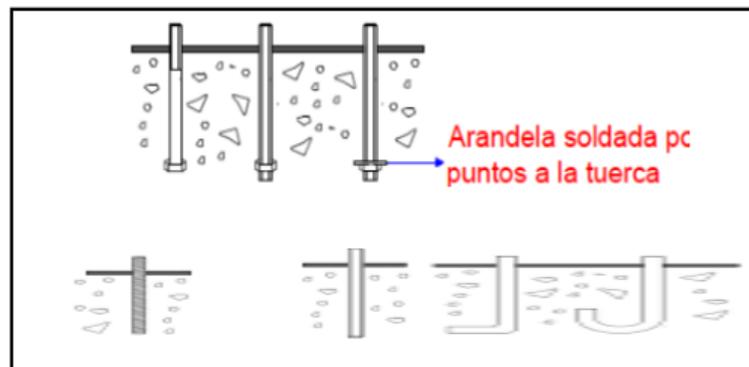


Figura 2.5: Anclajes embebidos no regulables

Fuente: ACI 318 (rediseñado por el autor)

2.2.7.2 Conexiones abulonadas

Consisten en bulones con cabeza, tales como los conectores embebidos o instalados en agujeros pasantes. Empleado en elementos estructurales delgados, especialmente en losas donde la profundidad efectiva de embebimiento sobrepasa el espesor de concreto.

2.2.7.3 Anclajes regulables

Permiten ajustar su posición, tanto lateral como en profundidad, Empleado para anclar elementos temporales y variables.

2.2.8 Materiales para los pernos de anclajes

De acuerdo a lo establecido en el ASTM (1994), los aceros para los pernos de anclaje y barras con hilo que están permitidos son:

- ASTM A36/A36M
- ASTM A193/A193M
- ASTM A354
- ASTM A449
- ASTM A572/A572M
- ASTM A588/A588M
- ASTM F1554

El acero tipo ASTM F1554 es el material preferido para pernos de anclaje en sus diferentes grados (36, 55 y 105). El material más utilizado para pernos de anclaje es el acero ASTM F1554 Gr 36. Los Pernos de anclaje

hechos de acero ASTM F1554 Gr 55 se usan cuando se tienen grandes tracciones debido a conexiones de momento o levantamiento asociado a volcamiento. Por otro lado, el acero ASTM F1554 Gr 105 es un acero de alta resistencia, y debe ser usado sólo cuando no es posible desarrollar la resistencia requerida usando pernos más largos con acero Gr 36 o Gr 55.

A este respecto, en la siguiente tabla, se puede observar información sobre el material ASTM F1554 en sus diferentes grados, esta representa valores correspondientes a la resistencia a tracción (f_{ut}) y a la resistencia especificada (f_y); además de los requisitos de alargamiento y reducción de área necesarios para determinar si un material se debe considerar como un acero frágil o como un acero dúctil, generalmente los materiales utilizados para la fabricar anclajes son de acero dúctil.

Tabla 2.1: Propiedades del material ASTM F1554

Norma aplicable al material	Grado	Diámetro	Resistencia a la tracción para el diseño (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción mínima (kg/cm^2)	Tensión de fluencia mínima		Alargamiento mínimo		Reducción del área mínima (%)
					Ksi	Método	%	longitud	
ASTM F 1554	36	≤ 2	4078	4078-5625	36	0.2%	23	2 in	40
	55	≤ 2	5273	5273-6680	55	0.2%	21	2 in	30
	105	≤ 2	8789	8789-10546	105	0.2%	15	2 in	45

Fuente: ASTM-1994

En este mismo sentido, las especificaciones de las propiedades dimensionales de los anclajes preinstalados se encuentran en la siguiente tabla (ver tabla 2.2), la cual contiene información sobre el área de la sección transversal efectiva (A_{se}) y el área de apoyo (A_{brg}), para anclajes de hasta dos pulgadas de diámetro.

Tabla 2.2: Propiedades dimensionales de los anclajes preinstalados

Diámetro del anclaje (do) in	Área bruta del anclaje (cm ²)	Área efectiva del anclaje (cm ²) (Ase)	Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A _{brg}) (cm ²)			
			Cuadrada	Cuadrada pesada	Hexagonal	Hexagonal pesada
¼	0.316	0.206	0.916	1.296	0.755	1.077
3/8	0.710	0.503	1.806	2.335	1.058	1.929
1/2	1.264	0.916	2.993	3.670	1.877	3.012
5/8	1.980	1.458	4.470	5.302	2.928	4.328
¾	2.851	2.154	5.315	7.230	4.218	5.876
7/8	3.876	2.980	7.230	9.449	5.747	7.663
1	5.063	3.909	9.449	11.965	7.501	9.681
9/8	6.411	4.921	11.958	14.777	9.494	11.939
5/4	7.914	6.250	14.371	17.886	11.720	14.429
11/8	9.578	7.482	17.860	21.285	14.184	17.151
3/2	11.397	9.095	21.253	24.981	16.880	20.111
7/4	15.512	12.255	-----	-----	-----	26.729
2	20.266	16.125	-----	-----	-----	34.288

Fuente: ASTM-1994. (Rediseñada por el autor)

2.2.9 Características del concreto

Según lo indicado en la ASTM-1994, el hormigón o concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua, cuyo comportamiento como material base del sistema de anclaje ha sido producto de los últimos estudios, a partir de los años setenta del siglo pasado, por los investigadores de institutos, organizaciones y empresas especializadas en el tema, determinando que su importancia va más allá de la simple resistencia para las sollicitaciones requeridas por el elemento a fijarse en una estructura.

Producto de lo anterior, se empieza a incluir en el diseño de anclajes el comportamiento del concreto en el cual se va aplicar el sistema, así como

sus características. La ASTM, clasifica a los tipos de concretos según sus características (ver tabla 2.3), según su peso (ver tabla 2.4) y de acuerdo a su resistencia a la compresión (Ver tabla 2.5). A continuación mostramos tablas de características elementales de los hormigones que son importantes tener presentes para estudiar al concreto.

Tabla 2.3: Tipos de concreto según sus características

Tipo	Características
I	Uso general
II	Resistencia moderada a los sulfatos
II(MH)	Moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación
III	Alta resistencia inicial
IV	Bajo calor de hidratación
V	Alta resistencia a los sulfatos

Fuente: ASTM-1994

Tabla 2.4: Tipos de concreto según su peso

Tipo	Peso específico (ton/m³)
Pesado	Mayor a 3,7
Normal	2,3
Liviano estructural	Alrededor de 1,7
Liviano celular	Entre 1,3 y 1,5

Fuente: ASTM-1994

Tabla 2.5: Tipos de concreto según su resistencia

Tipo de concreto	Resistencia (Kg/cm²)
Baja resistencia	170-240
Común	240-460
Alta resistencia	460-560

Fuente: ASTM-1994

Según lo indicado en la FONDONORMA 1753:2006, las resistencias a compresión para concretos más utilizadas son 210 kgf/cm², 250 kgf/cm² y 350 kgf/cm², aunque se pueden utilizar otras resistencias para el concreto.

2.2.10 Características del acero

Para el ACI 318, el acero estructural como material base, de los sistemas de anclaje ha sido estudiado de manera paralela al concreto, sabiendo que sus características dependen principalmente de sus propiedades físicas y químicas. Es así como se ha realizado ensayos para lograr mejorar la adherencia al concreto, protegerlo de ataques químicos, mejorar su método de aseguramiento.

Aunado a la situación, es importante recordar que el acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,20% y el 0,30%. Porcentajes mayores que el 2,00% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros), se moldean.

Tabla 2.6: Composición del acero/resistencia

Porcentaje de carbono	Denominación	Resistencia (kg/cm ²)
0,1-0,2	ACEROS EXTRASUAVES	2.600-3.300
0,2-0,3	ACEROS SUAVES	3.300-3.800
0,3-0,4	ACEROS SEMISUAVES	3.800-4.300
0,4-0,5	ACEROS SEMIDUROS	4.300-4.900
0,5-0,6	ACEROS DUROS	4.900-5.200
0,6-0,7	ACEROS EXTRADUROS	5.200-5.600
Más de 0,7	ACEROS ESPECIALES	

Fuente: ASTM-1994

Como se puede inferir, la composición del acero es importante dentro del sistema de anclaje, tanto por su resistencia a las sollicitaciones estructurales como a las exigencias de otro tipo de factores como las del medio ambiente donde es instalado, ataques químicos de sustancias propias del uso de la infraestructura, corrosión electroquímica y otros.

2.2.10.1 Resistencia a la tracción del acero

De acuerdo al ACI 318, esta característica es fundamental para el funcionamiento de los sistemas de anclaje, especialmente cuando se emplea elementos frágiles. Según las experimentaciones hechas, registradas en los códigos internacionales, el ACI recomienda que la resistencia específica del acero a tracción (f_{uta}), no debe superar al menor valor comparado entre la resistencia específica del acero del anclaje $1,9f_{ya}$ y $8.788,38 \text{ kgf/cm}^2$. Por lo que concluye que la resistencia nominal de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción N_s no debe exceder a:

$$\phi N_s = \phi \cdot n \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

N : es el número de anclajes.

A_{se} : es el área de sección efectiva.

ϕ : factor de reducción de la resistencia

$$A_{se} \geq \frac{N_u}{\phi \cdot n \cdot f_{ut}} \quad (\text{Ec.4})$$

2.2.10.2 Resistencia al corte del acero

Según ACI 318, una característica importante del acero de anclaje, es su resistencia al corte, aunque teóricamente no sea apropiado calcular una falla asociada a esta, por su complejo comportamiento y la interacción con los esfuerzos de tracción y flexión. Por esto generalmente se asume que la falla ocurre al ser sobrepasada la capacidad a tracción, que es común, antes de la falla a corte.

Sin embargo, la resistencia a corte se puede calcular a través de la siguiente ecuación y de acuerdo a lo establecido en el ACI, Para anclajes individuales, se calcula de acuerdo a la (ecuación) mientras para sistemas de anclajes se calcula de acuerdo a la (ecuación).

$$\phi V_s = \phi A_s e f_{ut} \quad (\text{Ec.5})$$

$$\phi V_s = \phi n \cdot 0,60 A_s e f_{ut} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

n: es el número de anclajes.

Ase: es el área de sección efectiva.

ϕ : factor de reducción de la resistencia.

f_{ut} : es la resistencia del material.

2.2.11 Espaciamiento mínimo de pernos y distancia mínima al borde

De acuerdo con el ACI 318, Para evitar las fallas por hendimientos, se debe tomar en cuenta las distancias mínimas requeridas del anclaje hacia el borde, el espaciamiento entre anclajes, y el espesor del concreto; El

espaciamiento mínimo entre centro y centro de los anclajes debe ser de 4da para anclajes preinstalados que no serán sometidos a torsión (da es el diámetro del perno), y 6da para anclajes preinstalados que serán sometidos a torsión.

Las distancias mínimas al borde para los anclajes con cabeza preinstalados que no serán torsionados deben basarse en los requisitos mínimos de recubrimiento para la protección del acero refuerzo de concreto. Para los anclajes con cabeza preinstalados que serán sometidos a torsión, la distancia mínima al borde es de 6da.

2.2.12 Factores de reducción de la resistencia

Según el ACI 318, Los factores ϕ , se basan en el uso de f_u para determinar la resistencia nominal del anclaje en vez de f_y como se usa en el diseño de elementos de concreto reforzado. A pesar de que los factores ϕ parecen bajos, estos conducen a un nivel de seguridad consistente; los factores ϕ menores para cortantes que para tracción no reflejan las diferencias básicas de los materiales, en cambio tienen en cuenta la posibilidad de una distribución no uniforme del cortante en las conexiones con varios anclajes.

Tabla 2.7: Factores de reducción de la resistencia

Resistencia determinada por	Factor de reducción de la resistencia ϕ
Anclajes controlados por la resistencia de un acero dúctil	
❖ Tracción	❖ 0,75
❖ cortante	❖ 0,65
Anclajes controlados por la resistencia de un elemento de acero frágil	
❖ Tracción	❖ 0,65
❖ Cortante	❖ 0,60

Fuente: ACI 318. (Rediseñada por el autor)

Continuación Tabla 2.7: Factores de reducción de la resistencia

Resistencia determinada por	Factor de reducción de la resistencia ϕ	
	Condición A	Condición B
Anclajes controlados por la resistencia al arrancamiento, desprendimiento lateral, extracción por deslizamiento o desprendimiento por cabeceo del anclaje		
❖ Tracción	❖ 0,75	❖ 0,70
❖ Cortant	❖ 0,75	❖ 0,70

La condición A se aplica donde existe refuerzo suplementario excepto para resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.

La condición B se aplica donde no existe refuerzo suplementario, o donde controla la resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.

Fuente: ACI 318. (Rediseñada por el autor)

2.2.13 Factores ambientales

De acuerdo con la ASTM-1994, Considerar el ambiente de servicio es fundamental para lograr una prolongada vida útil, especialmente en aquellas regiones en las cuales los anclajes pudieran estar en contacto con salpicaduras de agua marina o sales anticongelantes. El acero no protegido es particularmente vulnerable a la corrosión cuando permanece expuesto a las condiciones atmosféricas. En el caso de los anclajes de expansión, existe vulnerabilidad a la corrosión en la región del mecanismo de expansión donde hay espacio disponible para permitir la acumulación de humedad. La corrosión reducirá la habilidad de los anclajes de funcionar satisfactoriamente, especialmente en el caso de los anclajes de expansión de torque controlado.

De igual manera, en los ambientes corrosivos se debería considerar el uso de sistemas con recubrimientos protectores o el empleo de materiales

resistentes a la corrosión. El uso de delgados revestimientos de zinc no proporcionará protección permanente contra la corrosión bajo condiciones de exposición exteriores normales.

Con un correcto detallado se asegurará que el agua que escurre no pueda llegar a los anclajes en las áreas en las cuales hay presencia de nieve o sales anticongelantes. Se sabe que la alternancia de períodos de humedecimiento y secado ha producido corrosión incluso en ausencia de cloruros. Si una fundación estará expuesta a un ambiente agresivo se deberían sellar las juntas entre las placas base de acero y la superficie de concreto. De manera similar, los morteros de arena-cemento colocados en seco que están expuestos a condiciones de congelamiento y deshielo se deberían cubrir con un sellador para impedir la absorción de agua.

Es también relevante que, en las áreas sujetas a temperaturas elevadas o que potencialmente estarán expuestas al fuego no se deben utilizar adhesivos químicos, sellos de plomo ni otros materiales que en temperaturas elevadas tienen una alta tasa de fluencia lenta. También puede ser necesario realizar investigaciones especiales para determinar los posibles efectos de los productos químicos utilizados en los procesos de las plantas industriales. La exposición intermitente puede ser una condición de servicio más severa que la exposición permanente.

2.2.14 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tracción

De acuerdo a lo establecido en el ACI, 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:

❖ Para un solo anclaje:

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \cdot \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot N_b \quad (\text{Ec.7})$$

❖ Para un grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = \frac{A_N}{A_{No}} \cdot \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \Psi_4 \cdot N_b \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

A_N : es el área proyectada de la superficie de falla de un anclaje o un grupo de anclajes.

A_{No} : es el área proyectada de la superficie de falla de un solo anclaje.

2.2.14.1 Área de fallas proyectadas A_N y A_{No}

Según lo descrito en el ACI, para el cálculo de las áreas de fallas proyectadas, A_{No} es el área máxima proyectada para un solo anclaje. (Ver figura 2.6), mientras que A_N es el área proyectada para un grupo de anclajes.

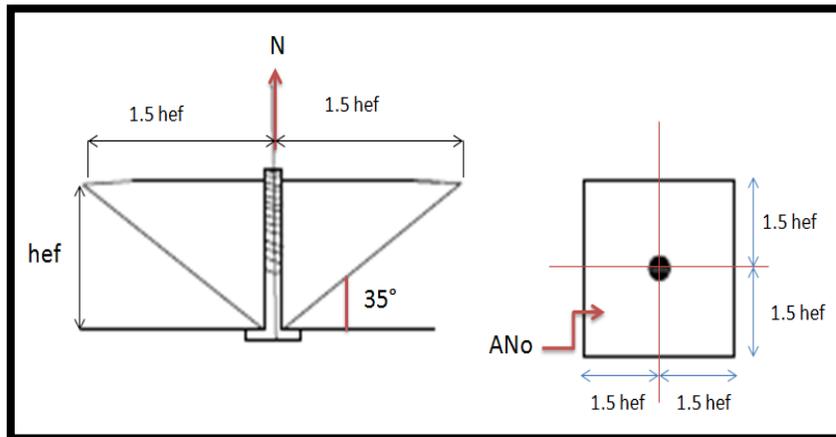


Figura 2.6: Corte a través de un cono de falla y vista de planta
Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

De acuerdo a esto se puede calcular A_{No} a través de la siguiente ecuación:

$$A_{No} = 2 \cdot 1,5hef \cdot 2 \cdot 1,5hef = 9,00 \cdot hef^2 \quad (\text{Ec.9})$$

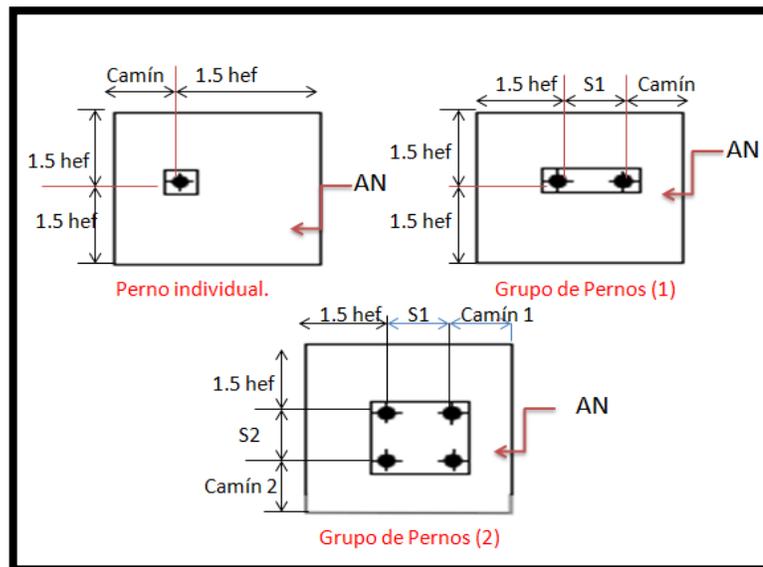


Figura 2.7: Ejemplos de cálculo de AN para anclajes individuales y grupos de anclajes

Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

Para el caso de perno individual, mostrado en la figura anterior, se debe cumplir con la siguiente condición para que de esta manera el anclaje funcione adecuadamente.

$$C_{amin} < 1,50 \cdot h_{ef} \quad (\text{Ec.10})$$

Por lo tanto AN será igual al área del rectángulo proyectado:

$$AN = C_{amin} + 1,50 \cdot h_{ef} \cdot 2 \cdot 1,5 h_{ef} \quad (\text{Ec.11})$$

Para el caso de Grupos de pernos (1), mostrado en la figura anterior, se pueden observar dos pernos en la cual se agrega la separación entre pernos la cual también se debe verificar que cumpla con las siguientes condiciones:

$$C_{amin} < 1,5 \cdot h_{ef} \quad (\text{Ec.12})$$

$$S_1 < 3,00 \cdot h_{ef} \quad (\text{Ec.13})$$

Por lo tanto AN será igual al área del rectángulo proyectado:

$$AN = C_{amin} + S_1 + 1,50 \cdot h_{ef} \cdot 2 \cdot 1,50 \cdot h_{ef} \quad (\text{Ec.14})$$

Para el caso de Grupos de pernos (2), mostrado en la figura anterior, se pueden observar cuatro pernos en la cual se agrega la separación entre pernos la cual también se debe verificar que cumpla con las siguientes condiciones:

$$C_{amin} < 1,50 h_{ef} \quad (\text{Ec.15})$$

$$\text{Camin } 2 < 1,50\text{hef} \quad (\text{Ec.16})$$

$$S1 < 3\text{hef} \quad (\text{Ec.17})$$

$$S2 < 3\text{hef} \quad (\text{Ec.18})$$

Por lo tanto AN será igual al área del rectángulo proyectado:

$$AN = \text{Camin } 1 + S1 + 1,50\text{hef} \quad \text{Camin } 2 + S2 + 1,50\text{hef} \quad (\text{Ec.19})$$

Como se puede observar, el cálculo es constante y al aumentar el número de pernos se deben considerar las separaciones entre pernos; si los grupos de anclajes están colocados de tal manera que sus áreas proyectadas se traslapan, es necesario que el valor de AN sea reducido de acuerdo con ello.

2.2.14.2 Resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción (Nb)

En consideración a lo descrito en el ACI 318, la resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción embebido en concreto fisurado, N_b , no debe exceder de:

$$N_b = 24 \cdot \overline{f'_c} \cdot \text{hef}^{1.5} \quad (\text{Ec.20})$$

2.2.14.3 Factores de modificación para elementos a tracción

Según el ACI 318, existen cuatro factores de modificación los cuales varían su valor dependiendo del caso en que se encuentre:

En este sentido, el factor de modificación para grupos de anclajes sometidos a cargas excéntricas a tracción Ψ_1 , este factor se aplica cuando hay múltiples filas de anclajes traccionados y se utiliza un enfoque de diseño elástico. En este caso se supone que cada fila individual de anclajes traccionados soporta diferentes niveles de carga con la resultante de la tracción aplicada con una excentricidad (e').

$$\Psi_1 = \frac{1}{1 + \frac{e'N}{3h_{ef}}} \quad (\text{Ec.21})$$

En este caso, solo se deben considerar los anclajes en tracción para determinar $e'N$. Pero Ψ_1 no debe tomarse mayor que la unidad.

Si se utiliza el enfoque de diseño plástico se supone que todos los anclajes soportan la misma carga y el factor de excentricidad, Ψ_1 , se toma igual a 1,00.

En cuanto, al factor de modificación de efectos de borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tracción Ψ_2 , este factor considera la distribución no uniforme de las tensiones para los anclajes ubicados próximos a un borde libre. Este se calcula como:

$$\Psi_2 = 1,00 \quad \text{si } C_{amin} \geq 1,50 \cdot h_{ef} \quad (\text{Ec.22})$$

$$\Psi_2 = 0,70 + 0,30 \cdot \frac{C_{amin}}{1,50 \cdot h_{ef}} \text{ si } C_{amin} < 1,50 \cdot h_{ef} \quad (\text{Ec.22})$$

Mientras que, el efecto de modificación por zonas de fisuración Ψ_3 , este factor se toma igual a 1,00 cuando el anclaje está ubicado en una zona de un elemento donde un análisis indica que es probable que haya fisuración. Si el análisis indica que no es probable que bajo cargas de servicio se produzca fisuración se puede tomar Ψ_3 igual a 1,25 para anclajes preinstalados. Por último, el factor de modificación por hendimiento Ψ_4 , siempre será igual a la unidad para sistemas de anclajes preinstalados.

2.2.15 Resistencia a la extracción por deslizamiento

De acuerdo al ACI 318, la resistencia nominal a la extracción por deslizamiento ϕN_p , en tracción de un anclaje preinstalado no debe exceder:

$$\phi N_p = \phi \cdot \Psi_4 \cdot A_{brg} \cdot 8,00 \cdot f'_c \quad (\text{Ec.23})$$

Donde:

ϕ : factor de reducción. (Siempre es igual a 0,70 para este caso).

Ψ_4 : factor de modificación.

A_{brg} : superficie de apoyo de la cabeza o tuerca.

f'_c : resistencia del concreto.

2.2.16 Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en tracción

En cuanto al ACI 318, el descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón se debe considerar si la distancia entre el centro del anclaje y el borde más próximo es menor que:

$$0,40h_{ef} > C_{amin} \quad (\text{Ec.24})$$

Dentro de este marco, para un anclaje individual con cabeza con un embebido profundo cercano a un borde ($h_{ef} > 2,50 C_{amin}$), la resistencia al desprendimiento lateral (N_{sb}), no debe exceder:

$$N_{sb} = 160,00 \cdot C_{amin} \cdot \overline{A_{brg}} \cdot \overline{f'_c} \quad (\text{Ec.25})$$

En este mismo sentido, para un grupo de anclajes con cabeza con embebido profundo localizados cerca de un borde ($h_{ef} > 2,50 C_{amin}$) y con un espaciamiento entre los anclajes menores que $6C_{amin}$, la resistencia nominal de esos anclajes susceptibles a falla por desprendimiento lateral del concreto N_{sbg} no debe exceder:

$$N_{sbg} = 1 + \frac{s}{6,00 \cdot C_{amin}} \cdot N_{sb} \quad (\text{Ec.26})$$

2.2.17 Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante

De acuerdo al ACI 318, la resistencia nominal de un anclaje a cortante cuando está controlada por el acero (V_{sa}), debe ser evaluada por cálculo con base en las propiedades del material del anclaje y las dimensiones físicas del anclaje. Cuando la resistencia al arrancamiento del concreto es uno de los modos potenciales de falla, la resistencia requerida del acero en cortante debe ser consistente con la superficie de falla de arrancamiento supuesta.

La resistencia nominal de un anclaje en cortante, V_{sa} , se calculó de la siguiente manera para pernos con cabeza preinstalados:

$$V_{sa} = A_{se} \cdot f_{uta} \quad (\text{Ec.27})$$

Donde:

A_{se} : es el área transversal efectiva.

f_{uta} : resistencia del acero.

Para anclajes preinstalados de tornillo con cabeza o con gancho se calcula de la siguiente manera:

$$V_{sa} = 0,60 \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \quad (\text{Ec.28})$$

2.2.18 Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje a cortante

Según el ACI 318, 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:

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

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{vo}} \cdot \Psi_5 \cdot \Psi_6 \cdot \Psi_7 \cdot V_b \quad (\text{Ec.29})$$

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

$$V_{cbg} = \frac{A_v}{A_{vo}} \cdot \Psi_5 \cdot \Psi_6 \cdot \Psi_7 \cdot \Psi_8 \cdot V_b \quad (\text{Ec.30})$$

Donde:

A_v : es el área proyectada de la superficie de falla.

A_{vo} : es el área proyectada para un anclaje individual.

V_b : resistencia básica al arrancamiento por cortante.

En este mismo sentido, para fuerzas cortantes paralelas a un borde, se permite que V_{cb} o V_{cbg} sea el doble del valor de la fuerza cortante actúa perpendicular al borde. 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.

2.2.18.1 Área proyectada de corte A_v y A_{vo}

De acuerdo a lo establecido en el ACI 318, A_v 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. Se puede evaluar a A_v como la base de medio tronco de pirámide proyectada a la cara lateral del elemento donde la parte superior de la media pirámide está definida por el eje de la fila de anclajes seleccionada como crítica. (Ver figura 2.8).

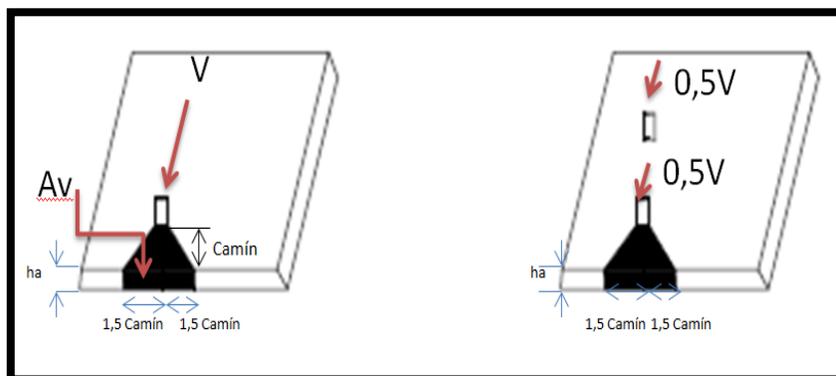


Figura 2.8: Cálculo de A_v
Fuente: ACI 318. (Rediseñado por el autor)

Mientras que, A_{vo} es el área proyectada para un anclaje individual en un elemento alto con una distancia al borde igual o mayor que $1,50 \text{ Camín}$, en dirección perpendicular a la fuerza cortante. Se permite evaluar A_{vo} como la base de una media pirámide con una longitud lateral paralela al borde de 3 Camín y una profundidad de $1,50 \text{ Camín}$.

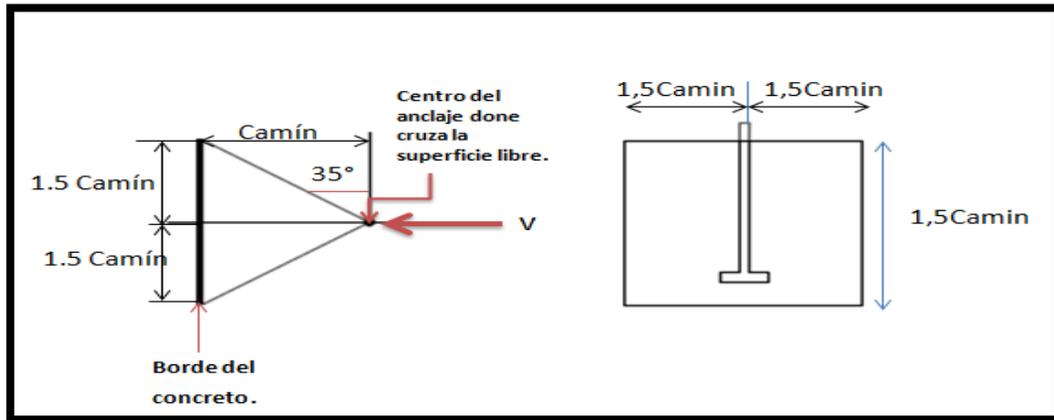


Figura 2.9: Cálculo de A_{vo}
Fuente: ACI 318. (Rediseñado por el autor)

Se puede apreciar, en la figura anterior, el área proyectada de falla por corte la cual se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$A_{vo} = 4,5 \text{ Camín}^2 \quad (\text{Ec.31})$$

En esta perspectiva, cuando los anclajes se encuentran ubicados a distintas distancias del borde de manera que se distribuyan la fuerza a todos los anclajes, se puede apreciar la resistencia basándose en la distancia desde el borde hasta la fila más alejada. En este caso, se puede basar el valor Camín en la distancia desde el borde de la fila de anclajes más alejada que fue seleccionada como crítica, y se debe suponer que toda la fuerza cortante será resistida solo por esta fila crítica de anclajes.

2.2.18.2 Resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto (Vb)

Según el ACI 318, la resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto de un anclaje individual en concreto fisurado (Vb), se calcula a través de alguna de las siguientes ecuaciones:

$$V_b = \left(7 \frac{l_e}{d_o}\right)^{0,20} \cdot \overline{d_o} \cdot \overline{f'c} \cdot \text{Camin}^{1,50} \quad (\text{Ec.32})$$

Donde:

Le: es la longitud de apoyo de carga del anclaje en cortante es igual a hef.

do: diámetro del perno.

f'c: resistencia del concreto.

Camín: separación mínima.

$$V_b = 9,00 \cdot \overline{f'c} \cdot (\text{Camin})^{1,50} \quad (\text{Ec.33})$$

Para los pernos preinstalados con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho. Se utiliza la siguiente ecuación.

$$V_b = \left(8,00 \cdot \frac{l_e}{d_o}\right)^{0,20} \cdot \overline{d_o} \cdot \overline{f'c} \cdot (\text{Camin})^{1,50} \quad (\text{Ec.34})$$

2.2.18.3 Factores de modificación para elementos a tracción

Según lo estipulado en el ACI 318, existen cuatro factores de modificación para anclajes sometidos a fuerzas cortantes, el primero de estos

factores de modificación se aplica cuando la carga de corte aplicada no actúa en el baricentro de los anclajes solicitados a corte, es decir, son sometidos a cargas excéntricas (Ψ_5), este factor se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\Psi_5 = \frac{1,00}{\left(1,00 + \frac{2,00 \cdot e'v}{3,00 \cdot \text{Camin}}\right)} \quad (\text{Ec.35})$$

Donde:

$e'v$: es la distancia desde donde es aplicada la carga cortante hasta el eje más desfavorable.

Camín: separación mínima al borde.

En esta perspectiva, el factor Ψ_5 , no debe tomarse mayor que la unidad. Si la carga en un grupo de anclajes es tal que solo algunos anclajes se encuentran cargados en corte en la misma dirección, solo los anclajes que están cargados en corte en la misma dirección pueden ser considerados al determinar la excentricidad $e'v$.

De igual manera, el factor de modificación para el efecto del borde (Ψ_6), para anclajes sencillos o grupos de anclajes cargados en cortante, este factor debe calcularse como se expresa a continuación:

$$\Psi_6 = 1,00 \text{ si } \text{Camin2} \geq 1,50 \cdot \text{Camin1} \quad (\text{Ec.36})$$

$$\Psi_6 = 0,70 + 0,30 \cdot \frac{\text{Camin2}}{1,5 \cdot \text{Camin1}} \text{ si } \text{Camin2} < 1,5 \text{Camin1} \quad (\text{Ec.37})$$

Donde:

Camin1: es la distancia del centro del anclaje al borde, del lado con la misma dirección de la carga cortante.

Camin2: es la distancia del centro del anclaje al borde, del lado con la dirección opuesta de la carga cortante.

En cuanto, al factor por fisuración del concreto Ψ_7 , para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde el análisis indica que no hay fisuración debido a cargas de servicio se permite que Ψ_7 sea igual a 1,40. Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde el análisis indica fisuración para niveles de cargas de servicio, se permiten los siguientes factores de modificación:

- ❖ Para anclajes en concreto fisurado sin refuerzo suplementario o con refuerzo de borde menor que una barra de diámetro No.4, Ψ_7 igual a 1,00.
- ❖ Para anclajes en concreto fisurado con refuerzo consistente en una barra de diámetro No.4, o mayor localizadas entre el anclaje y el borde, Ψ_7 igual a 1,20.
- ❖ Para anclajes en concreto fisurado con refuerzo consistente en una barra de diámetro No.4, o mayor, localizada entre el anclaje y el borde, y con el refuerzo confinado por estribos espaciados a no más de 4 pulg.

El factor de modificación para anclajes ubicados en un elemento de concreto, donde $h_a < 1,50 \cdot \text{Camin}$, Ψ_8 debe calcularse así:

$$\Psi_8 = \frac{1,50 \text{ Camin}}{h_a} \quad (\text{Ec.38})$$

Donde:

Camín: separación mínima al borde.

h_a: espesor del concreto.

Pero Ψ_8 , no debe tomarse mayor que la unidad (1,00).

2.2.19 Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo sometido a cortante

De acuerdo con el ACI 318, La resistencia nominal al desprendimiento por cabeceo del anclaje causado por cortante, para un anclaje individual V_p y V_{pg} no debe exceder:

Para un solo anclaje:

$$V_p = k_p \cdot N_b \quad (\text{Ec.39})$$

Para un grupo de anclajes:

$$V_{pg} = k_p \cdot N_{bg} \quad (\text{Ec.40})$$

Donde N_b y N_{bg} se calculan de acuerdo a las (ecuaciones 7 y 8) y k_p es igual a 1,00 para $h_{ef} < 2,50$ pulg. Y k_p es igual a 2,00 para $h_{ef} > 2,50$ pulg.

2.2.20 Interacción de las fuerzas de tracción y cortante

Para el ACI 318, el aspecto más importante de los requisitos para la interacción entre los esfuerzos de tracción y corte es que tanto la resistencia a tracción ϕN_n como la resistencia a corte ϕV_n , se debe tomar como la menor de las resistencias del anclaje, ya sea de aquellas controladas por la resistencia del acero o de aquellas relacionadas con el concreto. La interacción entre estas fuerzas se debe determinar a través de las siguientes condiciones:

- ❖ Si $V_u/(\phi V_n) \leq 0,20$ para la resistencia que gobierne en cortante, entonces se permite usar la resistencia total en tracción: $\phi N_n \geq N_u$.
- ❖ Si $N_u/(\phi N_n) \leq 0,20$ para la resistencia que gobierne en tracción, entonces se permite usar la resistencia total a cortante: $\phi V_n \geq V_u$.
- ❖ Si $V_u/(\phi V_n) > 0,20$ para la resistencia que gobierne a cortante y $N_u/(\phi N_n) > 0,20$ para resistencia que gobierne en tracción, entonces:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,20 \quad (\text{Ec.41})$$

2.2.21 Refuerzo de los anclajes

Según ACI 318, Para condiciones donde la fuerza de cortante mayorada excede a la resistencia al arrancamiento del concreto del anclaje o anclajes a cortante, o donde la resistencia nominal puede ser aquella del refuerzo del anclaje anclado adecuadamente. Para asegurar la fluencia del refuerzo del anclaje, el refuerzo del anclaje que lo confina, debe estar en contacto con el anclaje y ubicado lo más cerca posible de la superficie del concreto.

En este mismo sentido, el doblez de mayor radio asociado con los diámetros de las barras más grandes puede reducir significativamente la efectividad del anclaje y por lo tanto, no se recomienda un refuerzo de anclaje con un diámetro mayor al No.6. El refuerzo también puede consistir en estribos y amarres (así como horquillas) confinando el refuerzo de borde embebido en el cono de arrancamiento y colocado lo más cerca posible de los anclajes. En general solo los esfuerzos separados a menos del menor entre $0,50 C_{min1}$ y $0,30 C_{min2}$ medidos desde la línea central del anclaje, deben ser incluidos como refuerzos de anclajes.

2.2.22 Instalación e inspección de los anclajes

De acuerdo al ACI 318, los anclajes deben ser instalados por personal calificado de acuerdo con los documentos de construcción y, donde sea aplicable, las instrucciones del fabricante. Muchas características de comportamiento de los anclajes dependen de una instalación adecuada al anclaje. Para anclajes preinstalados, debe tenerse mucho cuidado que el anclaje este asegurado al encofrado y orientado de acuerdo a los documentos de la construcción. Más aún debe tenerse cuidado que el concreto alrededor del anclaje quede adecuadamente consolidado. Para los anclajes roscados se debe utilizar una plantilla de metal o madera colocada sobre la superficie de hormigón, con tuercas a cada lado, para así sostener a los anclajes en la posición correcta mientras se coloca el hormigón, se le compacta y endurece.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para la elaboración de cualquier trabajo de investigación, es necesario establecer lineamientos, desde el punto de vista metodológico, para que la información obtenida en relación con el escenario que se presenta cumpla con condiciones de objetividad y validez.

Según Ferrer (2010), la metodología es el instrumento que enlaza el sujeto con el objeto de la investigación; sin la metodología es casi imposible llegar a la lógica que conduce al conocimiento científico. En este orden de ideas, para el desarrollo sistemático de esta investigación es necesario determinar, de manera precisa, las técnicas que se emplearán para la recolección de información, atendiendo a las características propias de las técnicas en estudio y a la secuencia que se adaptará.

3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo con el Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales, UPEL (2009), plantea que:

El proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p.13)

En función de la definición anterior, se puede decir, que el presente proyecto entra en la categoría antes mencionada, ya que el objetivo principal se basa en solucionar una problemática que afecta a un grupo en general, para alcanzar los objetivos de la investigación se apoyó en una investigación de tipo documental para lograr la innovación que nos brindan los MOOC, así mismo se profundizará en los avances generados a través de los años en cuanto al diseño de sistemas de anclajes preinstalados la difusión de los métodos actuales del diseño de sistemas de anclaje al concreto, dando de esta manera un aporte para que los órganos competentes observen la necesidad de reglamentar estas técnicas.

3.2 Nivel de Investigación

El nivel de esta investigación se diseñó en función de dos modalidades de investigación: la investigación aplicada y la investigación documental. En consonancia con El Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales, UPEL (2008) plantea que:

Según Zorrilla (1993), la investigación aplicada, guarda íntima relación con la investigación básica, pues depende de los descubrimientos y avances de la investigación básica y se enriquece con ellos, pero se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos. La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar.

Según Arias (2006), indica que La investigación documental es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos. (p.11)

De acuerdo a las consideraciones planteadas se considera que el presente proyecto tiene como finalidad la obtención de información de los diferentes criterios de diseño, teorías utilizadas y variables en su aplicación en cuanto al diseño de sistemas de anclajes preinstalados, para de esta manera aplicar los conocimientos adquiridos en diferentes módulos que serán dictados a través de cursos masivos en línea y de esta manera observar el impacto generado en la comunidad beneficiada.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Según Sabino (2000), indica que “la recolección de datos es cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer información” (p.9)

Las técnicas de recolección de datos son las estrategias que utiliza un investigador para recolectar información sobre un fenómeno o hecho. Estas varían de acuerdo al tipo de investigación, pueden ser: Encuestas, observación, revisión documental, entre otras.

3.3.1 Revisión documental

Se entiende por revisión documental el proceso mediante el cual un investigador recopila, revisa, analiza, selecciona y extrae información de diversas fuentes, acerca de un tema particular (su pregunta de investigación), con el propósito de llegar al conocimiento y comprensión del mismo. Para llevar a cabo esta investigación se tomó información de diversas páginas en internet, así como de investigaciones relacionadas con el tema, además de normativas como es el caso del ACI y la ASTM.

3.3.2 Análisis de datos

Según, Sabino (1995), la técnica de análisis cualitativo se refiere a lo que se procederá a hacer con la información de tipo verbal; el análisis se efectuará cotejando los datos que refieren a un mismo aspecto y tratando de evaluar la fiabilidad de cada información.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Etapas del Proyecto

Primordialmente, para el desarrollo de esta investigación, se realizó una investigación bibliográfica u otras fuentes de información relacionadas al tema de estudio, con la finalidad de obtener la información necesaria para el desarrollo de este trabajo. Se consultaron principalmente páginas *web*, archivos técnicos, revistas y manuales; específicamente el código “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-14) y Comentario”, “Proyecto y construcción de obras en concreto estructural (FONDONORMA 1753:2006)” y “la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM F1554)”. Luego de esto, se procedió a describir los requisitos mínimos correspondientes al diseño de sistemas de anclajes establecidos en el capítulo 18 del ACI 318-14 ya que en versiones anteriores dichas especificaciones fueron incluidas en el apéndice D de la misma.

Como seguimiento a la investigación bibliográfica, se procedió a elaborar, los ejemplos de diseño que satisfacen los modelos de casos que se pueden presentar, de acuerdo a esto se decidió realizar ejemplos de diseños de sistemas de anclajes de uno, dos, cuatro, seis y ocho anclajes en los cuales se fueron aplicando diferentes características a cada diseño. Además de esto, se crearon tres manuales para el diseño, los cuales están estructurados de manera de ir relacionando poco a poco a el lector sobre el tema, el volumen uno del manual cuenta con un gran contenido teórico en el cual se va explicando las diferentes variables y conceptos a conocer para

realizar un diseño de anclajes, de una forma clara y grafica para facilitar el aprendizaje.

En este mismo sentido, el volumen dos cuenta con los requisitos necesarios para diseñar un sistema de anclajes que actué eficazmente de acuerdo a lo establecido en el código "ACI 318-14"; mientras que el volumen tres cuenta con diferentes ejemplos de diseños los cuales muestran un paso a paso dinámico y con explicaciones de la utilización de cada criterio.

Por otra parte, con la utilización de la información recolectada, se creó una hoja de cálculo, con ayuda del programa Microsoft Excel, en la cual se realizó un diseño para pernos individuales en condiciones óptimas, con esta se logró obtener una serie de tablas de diseños y graficas en la cual se puede apreciar el comportamiento de los anclajes, de acuerdo a las características del concreto y del acero que estos posean.

Así mismo, se procedió a adaptar la información recolectada a presentaciones escritas, audiovisuales, videos e infografías.

4.2 Requerimientos del Código ACI 318-14 en consideración al diseño de anclajes al concreto

Los "requisitos del reglamento para concreto estructural", también conocido como "Norma ACI 318", cubre el diseño y construcción de concreto estructural en edificaciones y donde sea aplicable en otras construcciones. Estas normas y recomendaciones técnicas son estudiadas y analizadas por el Instituto Americano del Concreto o mejor conocida por sus siglas en inglés (ACI), es una organización sin fines de lucro de los Estados Unidos de América. En el año 2002 el Código ACI 318-02 presenta el Apéndice D con

requisitos para el diseño de anclajes en concreto, tanto para hormigonados en situ como para elementos incorporados a hormigones endurecidos, sustentado en ensayos realizados y reglamentados por el Comité ACI 355-2. Producto de estos estudios se ha generado una serie de consideraciones en el diseño de Pernos de Anclaje que en la actualidad, están siendo incorporadas y difundidas en todo el mundo.

En este sentido, para su actualización en el año 2014, estos requisitos fueron agregados en el capítulo 17 del ACI 318-14, en los cuales se especifica además, criterios para determinar si los anclajes son aceptables para utilizar exclusivamente en concreto no fisurado, o si son aceptables tanto en concreto no fisurado como en concreto fisurado; establecer criterios para determinar la categoría de comportamiento a la cual se debe asignar cada anclaje y verificar el ángulo del cono de fractura producto de la falla del concreto, si es este el caso de colapso del sistema de anclaje.

Además el ACI 318, utiliza las categorías de comportamiento de los anclajes para asignar factores de reducción de la capacidad y otros parámetros de diseño y nos describe los ensayos requeridos para calificar un sistema de anclaje o sistema de grupo de anclajes instalados en concreto. Utilizados para transmitir cargas estructurales por medio de tracción, cortante, o combinación de tracción y cortante, entre elementos estructurales relacionadas con la seguridad. Los niveles de seguridad especificados están orientados a las condiciones durante la vida útil más que a situaciones durante la construcción o manejo de corta duración. Estos requisitos aplican para anclajes preinstalados.

4.2.1 Diseño de anclajes al concreto

En el capítulo 17 del ACI 318-14, se especifica que los anclajes y grupos de anclajes deben diseñarse para los efectos críticos producidos por las cargas mayoradas determinadas por medio de un análisis elástico. Se permite el enfoque del análisis plástico cuando la resistencia nominal está controlada por elementos de acero dúctiles y siempre que se tenga en cuenta la compatibilidad de deformaciones. Dicho capítulo se divide en secciones en las cuales se especifican los criterios necesarios para el diseño de anclajes al concreto, en su sección 17.2 se explican los requisitos generales necesario para cumplir satisfactoriamente con el diseño, mientras que en su sección 17.3 se explica los requisitos necesarios para un buen cumplimiento de la resistencia de los anclajes.

De esta manera, se va especificando las características a cumplir para la resistencia a tracción del anclaje, resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a tracción, resistencia a la tracción por deslizamiento en tracción de anclajes preinstalados, resistencia al desprendimiento lateral del concreto por tracción, resistencia del acero del anclaje a cortante, resistencia del anclaje en cortante al arrancamiento del concreto y resistencia del anclaje en cortante al desprendimiento del concreto por cabeceo. Además, se incluyen los criterios de separación y distancia mínima al borde que se deben cumplir para evitar fallas.

En este mismo sentido, se brinda información sobre la consideración de refuerzos para los anclajes y una serie de especificaciones para la instalación e inspección de los anclajes. Así como también un análisis de la interacción entre las fuerzas cortantes y de tracción a las cuales serán sometidos los sistemas de anclajes.

4.2.2 Resistencia del acero de un anclaje para cargas a tracción

La resistencia de un anclaje a tracción controlada por el acero, debe ser evaluada mediante cálculos basados en las propiedades del material del anclaje y en las dimensiones físicas del anclaje. La resistencia a tracción de los anclajes es representada por (f_{uta}) en lugar de por (f_y) como se realiza para diseñar otros elementos de concreto estructural, esto es debido a que la gran mayoría de los materiales para los anclajes no presentan un punto de fluencia bien definido. Para asegurar que bajo condiciones de cargas de servicio, el anclaje no exceda su (f_y) se creó la limitante de que (f_y) no puede ser mayor que ($1,9f_y$).

4.2.3 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje a tracción

Los estudios realizados a los materiales que interactúan en un sistema de anclajes, a demostrado que es más común la ocurrencia de una falla por el concreto en lugar del acero, por lo cual se dice que la resistencia del concreto será la que domine el diseño. Una típica falla por desprendimiento del hormigón es la falla de un cono, esta resulta de la proyección del área de apoyo a ($1,50.h_{ef}$), es decir uno coma cinco de la profundidad de empotramiento del anclaje.

4.2.4 Resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción

La resistencia a la extracción por deslizamiento depende fundamentalmente a la relación entre la superficie de apoyo en el extremo empotrado y las propiedades de los ganchos empotrados. Para los anclajes en forma de “J” y los forma de “L”. Obviamente, si un anclaje no tiene cabeza

ni gancho, este será arrancado del concreto y no será capaz de desarrollar la resistencia al desprendimiento del concreto en forma de cono.

En este mismo sentido, en el caso de los anclajes con cabeza, la superficie de apoyo de la cabeza empotrada es el área bruta de la cabeza menos el área bruta del vástago del anclaje, es decir, no es el área de la cabeza empotrada. Para aumentar la superficie de apoyo se pueden utilizar arandelas o placas cuya área sea mayor que la de la cabeza del anclaje; de este modo también aumentara la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción.

4.2.5 Resistencia del acero sometido a cortante

La fuerza cortante aplicada a cada anclaje en un grupo puede variar dependiendo de las suposiciones que se hagan de la superficie de arrancamiento y la redistribución de las cargas. De igual manera que la resistencia a tracción la resistencia al cortante de los anclajes queda representada en función de (f_{uta}) en vez de (f_y), dado que la mayoría de los materiales para anclajes no exhiben un punto de fluencia bien definido. Los pernos soldados desarrollan una mayor resistencia a cortante del acero que los anclajes con cabeza debido a la fijación proporcionada por la soldadura entre pernos y la placa base. Los factores de carga dan una mayor seguridad al diseño por cortante.

De igual manera, que en el diseño por tracción se limita a (f_{uta}), a no mayor que él ($1,90.f_y$), para dar una mayor seguridad a que no falle durante cargas de servicio. El área proyectada de falla juega un papel fundamental en el cálculo de la resistencia a cortante y el espesor del concreto añadido a la profundidad de empotramiento del anclaje.

4.2.6 Resistencia al arrancamiento del concreto de anclajes a cortante

La resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje por corte, puede ser determinante en el caso de los anclajes cortos y relativamente rígidos. La falla esperada supone un ángulo de arrancamiento de aproximadamente 35° grados y tienen en consideración la teoría mecánica de la fractura. El efecto en anclajes múltiples, espaciamiento de anclajes, distancia al borde, y espesor del elemento de concreto. Nos lleva a la utilización de ciertos factores de reducción, si se produce el caso de que la separación entre anclajes o la distancia al borde no cumpla con los requerimientos mínimos, es necesario utilizar dichos factores para adaptar las distancias para obtener un buen funcionamiento del sistema de anclajes.

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

Se dice que la resistencia al desprendimiento por cabeceo del anclaje causado por cortante puede ser aproximada a una o dos veces la resistencia de tracción del anclaje con el valor menor adecuado de que la profundidad de empotramiento sea menor de 2,50 pulg. En la mayoría de los casos esta no es tomada en consideración para el diseño ya que la menor de las resistencias que presente el sistema de anclaje será la que controle el diseño.

4.2.8 Interacción de las fuerzas de tracción y cortante

Los ensayos realizados por el comité del ACI, demuestran que la relación de interacción es válida cualquiera que sea la resistencia que controle el diseño a tracción como a cortante, el aspecto más importante de

los requisitos para la interacción entre los esfuerzos de tracción y cortante es que, tanto la resistencia a corte, como la resistencia a tracción se debe tomar como la menor de las resistencias del anclaje, ya sea de aquellas controladas por las propiedades del acero, o de aquellas relacionadas con las características del concreto.

De acuerdo a lo establecido en el ACI, si la relación entre la carga de tracción y la resistencia a tracción es menor o igual a 0,20 se permite diseñar utilizando la resistencia total a tracción, mientras que si la relación entre la carga a corte y la resistencia a cortante es menor o igual a 0,20 se permite diseñar con la resistencia total a cortante. Ahora bien si no se cumple ninguno de los casos anteriormente mencionados, es necesario realizar una relación entre las fuerzas cortante y las de tracción, para esto se aplica la (ecuación 41).

4.3 Casos de sistemas de anclajes

Para la aplicación de los requisitos de diseños de anclajes en concreto, se crearon cinco ejemplos que nos servirán de modelos para demostrar los diferentes casos que se nos pueden presentar a la hora de diseñar un sistema de anclajes. Como se mencionó anteriormente, esta bibliografía se redactó siguiendo detalladamente los criterios especificados en el ACI 318-14 para anclajes preinstalados.

Cabe destacar, que las características de los materiales seleccionados para estos modelos se han seleccionado de acuerdo a lo estipulado en la ASTM-1994, en la cual se recomienda la utilización de acero ASTM F1554 en sus diferentes grados, siendo el más utilizado el de grado 36, ya que el de grado 55 es para alta trabajabilidad y el de grado 105 es para altas

resistencia. El concreto las resistencias más utilizadas para anclajes son de 250 Kgf/cm², 300 Kgf/cm² y 350 Kgf/cm².

4.3.1 Modelo de un anclaje individual

Se desea diseñar un perno individual con cabeza, que estará sometido a una carga mayorada de 6.000,00kgf a tracción. Con un f'_c igual a 250,00kg/cm². Con bordes libres y centrado en una losa. Primordialmente se debe determinar el diámetro y el material del anclaje.

Generalmente la resistencia de los sistemas de anclajes estará controlada por la resistencia del empotramiento, es decir, la adherencia al concreto y no por la resistencia del acero; es por esto que se recomienda utilizar un anclaje de acero dulce y no un acero de alta resistencia. La norma ASTM F1554 “nos especifica 3 tipos de acero con diferentes tensión de fluencia diferencia por 3 grados 36ksi (acero dulce), 55ksi (acero de rendimiento) y 105 ksi (acero de alto rendimiento)” esta especificación es la más recomendada para la elaboración de pernos, esta abarca los anclajes rectos y con gancho, con cabeza y sin cabeza.

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado36, con cabeza.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es:

$$\phi NS \geq Nu \quad (\text{Ec.42})$$

Donde la carga de diseño N_u es igual a 6.000,00kgf y un ϕ de 0,75 debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario ϕ es igual a 0,65 y f_{ut} es igual a 58.000,00psi=4.078,00kg/cm² en la tabla 2 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre 1,90.fy o 125.000,00psi, para este caso 1,90 (36.000)=68.400,00psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2.2 de acuerdo a las características del material.

Tabla 4.1: características mecánicas

Grado	Pulgada	Resist. Tracción. Ksi.	alarg. % min.	RA% Min.
36	1/2 - 4	58-80	23	40
	1/2 - 2	75-95	21	30
55	2 1/4 - 2 1/2	75-95	21	22
	2 3/4 - 3	75-95	21	20
	3 1/4 - 4	75-95	21	18
105	1/2 - 3	125-150	15	45

Fuente: ASTM-1994

De acuerdo, a la carga de diseño y el número de anclajes se calculara el área efectiva del anclaje utilizando la (Ec. 4), con el resultado que esta arroje utilizamos la tabla 1 para determinar el tamaño de los anclajes.

$$A_{se} = \frac{6.000,00}{0.75(1)(4.078,00)} = 1,961\text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 1 un anclaje de 3/4 satisface este requisito. ($A_{se}=2,154\text{cm}^2$). Con la utilización de la (Ec. 3) calcularemos la resistencia del acero y con esta verificar que se cumpla la condición expresada en la ecuación 42.

$$\square N_s = 0,75((1,00)(2,154)(4.078)) = 6.588,009 \text{kgf}$$

$$6.588,009 \text{kgf} \geq 6.000,00 \text{kgf}$$

Para el diseño de un sistema de anclajes satisfactorio es necesario determinar la profundidad de embebido con la (Ec.1), recordando que generalmente esta profundidad suele controlar el diseño.

$$(\text{hef}) = \frac{6.000,00}{0,70 \cdot 1,00 \cdot \sqrt{24,00} \cdot \sqrt{250,00}}^{\frac{2}{3}} = 7,99 = 8,00 \text{cm}$$

El requisito básico para un anclaje individual es $\phi N_{cb} \geq N_u$ para esto es necesario calcular primeramente N_b con la ecuación 20, para sustituir en la ecuación 7. Hay que recordar que para anclajes individuales alejados de los bordes se puede considerar a N_b igual a N_{cb} por lo tanto aplicaremos esta consideración.

$$N_b = 24,00 \cdot \sqrt{250,00} \cdot 8,00^{1,5} = 8.586,50 \text{kgf.}$$

$$8.586,50 \text{kgf} \geq 6.000,00 \text{kgf}$$

Para el anclaje seleccionado un empotramiento de 8,00cm satisface las necesidades del diseño. Determinar el tamaño y tipo de cabeza requerido para el anclaje para esto se debe comprobar que se cumpla esta condición $\phi N_{pn} \geq N_u$ donde ϕ es igual 0,70 siempre se utilizara este valor para el cálculo de la resistencia al arrancamiento del anclaje la cual es $N_{pn} = \psi_4 \cdot N_p$ donde con ayuda de la (Ec.23) calcularemos la superficie de apoyo de la cabeza y tuerca.

$$A_{brg} = \frac{6.000,00}{0,70 \cdot 1.800 \cdot (250)} = 4,28 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar en la tabla 2, se puede utilizar tuerca cuadrada, cuadrada pesada y hexagonal pesada. Utilizaremos una cuadrada con un $A_{brg}=5,31 \text{ cm}^2$. Compruebo que $\phi N_{pn} \geq N_n$.

$$N_{pn} = (1)(5.31) \times 8(250) = 10.620 \text{ kgf}$$

$$7.434 \text{ kgf} \geq 6.000 \text{ kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

Conclusión: Se utilizara un perno de $\frac{3}{4}$ pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 8cm y una cabeza cuadrada.

4.3.2 Diseño de pernos con cabeza próximo a un borde

Diseñar un grupo de dos pernos con cabeza, separados entre centro a 12cm y con un borde a 9cm, solicitados a una carga mayorada de 10.000kgf y un $f'_c=300 \text{ kgf/cm}^2$. (Ver figura 4.1).

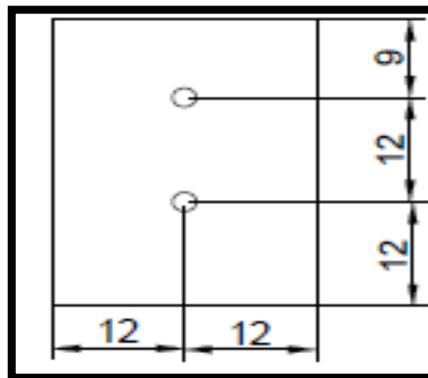


Figura 4.1: Pernos con cabeza a un borde
Fuente: Diseñado por el autor

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado36, con cabeza. El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es $\phi N_s \geq N_u$ donde N_u es igual 10.000kgf. ϕ es igual a 0,75 debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario ϕ sería igual a 0,65. f_{ut} es igual a 58.000psi=4.078kg/cm² ; En la tabla 2 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre 1,90.f_y o 125.000,00psi, para este caso 1,90.(36.000) es igual a 68.400psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2.2 de acuerdo a las características del material.

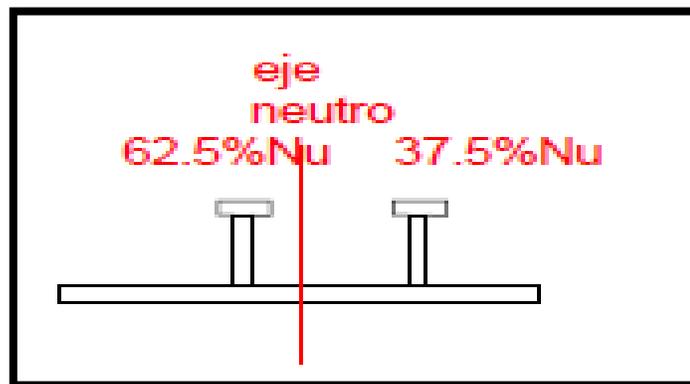


Figura 11: Distribución de carga a tracción
Fuente: Diseñado por el autor

Para este ejemplo N_u para el diseño será aquel que este expuesto a mayor carga para este caso 62,5% N_u es igual a 6.250kgf. Primordialmente se debe calcular el área efectiva del anclaje con la Ec.4.

$$A_{se} = \frac{6.250}{0.75(2)(4.078)} = 1,021 \text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 1 un anclaje de 5/8 satisface este requisito. ($A_{se}=1,458\text{cm}^2$). Utilizando la Ec.3 se calcula la resistencia del acero y se verifica que se cumpla la consideración expresada en la Ec.42.

$$\phi NS=0,75 \cdot ((2,00) (1,458)(4.078))=8.918,586\text{kgf}$$

$$8.918,586\text{kgf} \geq 6.250,00\text{kgf}$$

Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}) Ec.1; el requisito básico para un grupo de anclajes es $\phi N_{cbg} \geq N_u$ donde ϕ es igual a 0,70 para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75.

$$(h_{ef}) = \frac{6.250}{0.70 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 300}^{\frac{2}{3}} = 4,86 = 5,00\text{cm}$$

Determinar A_N y A_{No} el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (C_{amin}), de $1,5(h_{ef})$

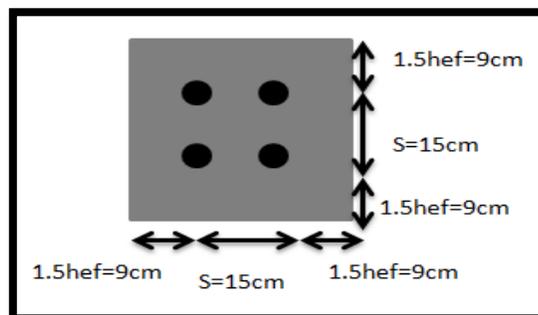


Figura 4.3: Área proyectada modelo 2
Fuente: Diseñada por el autor

Por lo tanto sustituyendo los valores en las ecuaciones 10,14 y 19 encontraremos nuestra separación mínima y áreas de fallas. Se debe verificar el cumplimiento de que $AN \leq n ANo$.

$$C_{amin}=1,50(5,00)=7,50\text{cm}$$

$$AN= (9,00+12,00+12,00).(12,00+12,00)=792,00\text{cm}^2$$

$$ANo=9,00h_{ef}^2=9,00(5,00)^2=225,00\text{cm}^2$$

$$792,00\text{cm}^2 \leq (2,00)(225,00\text{cm}^2)$$

$$792,00\text{cm}^2 \leq 450,00\text{cm}^2$$

Como se puede apreciar no se cumple la condición por lo tanto se recomienda aumentar h_{ef} tomaremos h_{ef} igual a 7,00cm y recalculamos.

$$C_{amin}=1,50(7,00)=10,50\text{cm}$$

$$ANo= 9,00h_{ef}^2=9,00(7,00)^2=441,00\text{cm}^2$$

$$792,00\text{cm}^2 \leq (2,00)(441,00\text{cm}^2)$$

$$792,00\text{cm}^2 \leq 882,00\text{cm}^2$$

Calculo N_b utilizando la ecuación 20 y la ecuación 8 para el cálculo de ϕN_{cbg} .

$$N_b = 24,00 \cdot \overline{300,00} \cdot 7,00^{1,50} = 7.698,727 \text{kgf}$$

$$\square N_{cbg} = \frac{792,00}{441,00} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 7698,727 = 13.826,285 \text{kgf}$$

Determinar el tamaño y forma de la cabeza de los pernos $\phi N_{pn} \geq N_u$ donde ϕ es igual a 0,70 siempre se utilizara este valor para el cálculo de la resistencia al arrancamiento del anclaje por esto se utilizara la Ec.23 y se debe determinar la superficie de apoyo de la cabeza y tuerca. El factor Ψ_4 es igual a la unidad Este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción.

$$A_{brg} = \frac{6.250,00}{0,70 \cdot 1,00 \cdot 8,00(300,00)} = 3,72 \text{cm}^2$$

Como se puede observar en la tabla 2, se puede utilizar tuerca cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada. Utilizaremos una hexagonal con un $A_{brg} = 3,73 \text{cm}^2$.

$$N_{pn} = 1,00 \cdot 3,73 \cdot 8,00 \cdot (300) = 8.952 \text{kgf}$$

$$8.952 \text{kgf} \geq 6.250 \text{kgf}$$

Determinar descascaramiento del concreto este se evalúa si $0,40h_{ef}$ es mayor a la distancia al borde más próximo, para nuestro caso es de 9,00cm.

$$0,40 (7,00 \text{cm}) > 9,00 \text{cm}$$

$$2,80\text{cm} > 9,00\text{cm}$$

Conclusión se utilizara un sistema de pernos de 5/8 pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 7,00cm y una cabeza hexagonal.

4.3.3 Diseño de grupo de cuatro pernos con cabeza

Diseñar un grupo de cuatro pernos con cabeza separados entre centros 15,00cm. En cada dirección, solicitados a una carga concéntrica permanente de 9.800,00kgf. El grupo de anclajes se va a instalar en el fondo de una losa de 20,00cm de altura y un $f''c=250,00\text{kgf}/\text{cm}^2$. (Ver detalles en figuras 4.4 y 4.5).

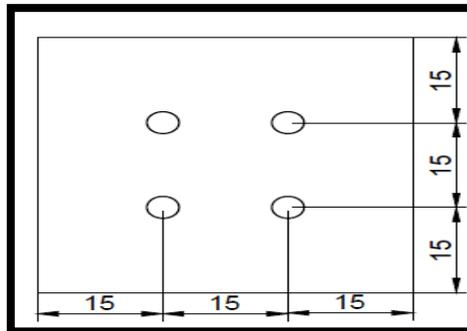


Figura 4.4: Vista de planta del modelo 3

Fuente: Diseñado por el autor

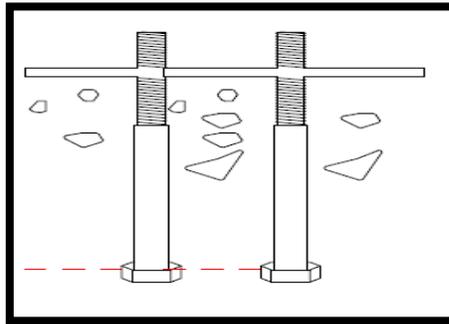


Figura 4.5: Vista lateral del modelo 3

Fuente: Diseñado por el autor

Determinar la carga de diseño

$$1,40 \text{ cp} = 1,40 \cdot 9.800,00 = 13.720,00\text{kgf}$$

Para determinar el diámetro de los anclajes en este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado 36, con cabeza. El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es que $\phi NS \geq Nu$ donde Nu es igual a 13.720,00kgf. El factor de disminución ϕ es igual a 0,75 debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario ϕ es igual a 0,65 y f_{ut} es igual a 58.000psi=4078kg/cm² (en la tabla 2 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre $1,9f_y$ o 125.000psi, para este caso $1,9(36.000)=68.400\text{psi}$. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2 de acuerdo a las características del material).

Se determina el área efectiva del sistema de anclajes con la Ec.4

$$A_{se} = \frac{13720}{0,75(4)(4078)} = 1,121\text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 2, un anclaje de 5/8 satisface este requisito.
(Ase=1,458cm²).Comprobación de $\phi NS \geq Un$

$$\phi NS = 0.75 ((4,00) (1,458) (4078,00)) = 17.837,172 \text{kgf}$$

$$17.837,172 \text{kgf} \geq 13.720 \text{kgf}$$

Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}). El requisito básico para un grupo de anclajes es $\phi N_{cbg} \geq N_u$ donde ϕ es igual a 0,70 para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75.

$$(h_{ef}) = \frac{13.720,00}{0.70 \cdot 4,00 \cdot 24,00 \cdot 250,00}^{\frac{2}{3}} = 5,50 = 6,00 \text{cm}$$

Determinar A_N y A_{No} el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (C_{amin}), de $1,50(h_{ef})$.

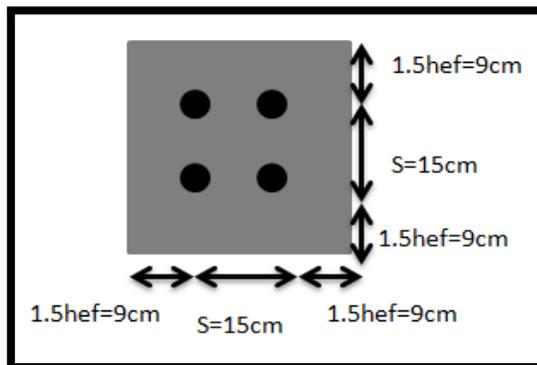


Figura 4.6: área proyectada modelo 2
Fuente: Diseñada por el autor

Por lo tanto sustituyendo los valores en las ecuaciones 10,14 y 19 encontraremos nuestra separación mínima y áreas de fallas. Se debe verificar el cumplimiento de que $A_N \leq n A_{No}$.

$$Camin = 1,50 \cdot (6,00) = 9,00 \text{ cm}$$

$$A_N = (9,00 + 15,00 + 9,00)(9,00 + 15,00 + 9,00) = 1.089,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{No} = 9,00 \cdot h_{ef}^2 = 9,00(6,00)^2 = 324,00 \text{ cm}^2$$

$$1.089,00 \text{ cm}^2 \leq (4,00)(324,00 \text{ cm}^2)$$

$$1.089,00 \text{ cm}^2 \leq 1.296,00$$

Se calcula N_b utilizando la Ec.20 y ϕN_{cbg} con la Ec.26.

$$N_b = 24,00 \sqrt{250,00} \cdot 6,00^{1,50} = 5.577,00 \text{ kgf}$$

$$\phi N_{cbg} = \frac{1089,00}{324,00} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 5.577,00 = 18.744,91 \text{ kgf}$$

Determinar el tamaño y forma de la cabeza de los pernos. Para esto se debe Calcular la superficie de apoyo de la cabeza y tuerca.

$$A_{brg} = \frac{13.720,00}{0,70 \cdot 1,00 \cdot 8,00(250,00)} = 9,80 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar en la tabla 2.2, se puede utilizar tuerca cuadrada, cuadrada pesada y hexagonal pesada. Utilizaremos una cuadrada con un $A_{brg}=9,82\text{cm}^2$. Se Comprueba que $\phi N_{pn} \geq N_n$

$$N_{pn} = (1)(9,82) \times 8(250) = 19.640\text{kgf}$$

$$19.640\text{kgf} \geq 13.720\text{kgf}$$

Determinar descascaramiento del concreto este se evalúa si $0,40h_{ef}$ es mayor a la distancia al borde más próximo, para nuestro caso es de $9,00\text{cm}$.

$$0,40 (6,00\text{cm}) > 9,00\text{cm}$$

$$2,40\text{cm} > 9,00\text{cm}$$

Conclusión se utilizara un sistema de pernos de $5/8$ pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 6cm y una cabeza cuadrada.

4.3.4 Diseño de un grupo de bulones en L

Se desea diseñar un grupo de 6 bulones en L con las separaciones ilustradas (figura 16 y 17); este grupo de bulones soportara una carga de tracción ya mayorada de 17.000kgf y un $f'c=300\text{kgf/cm}^2$

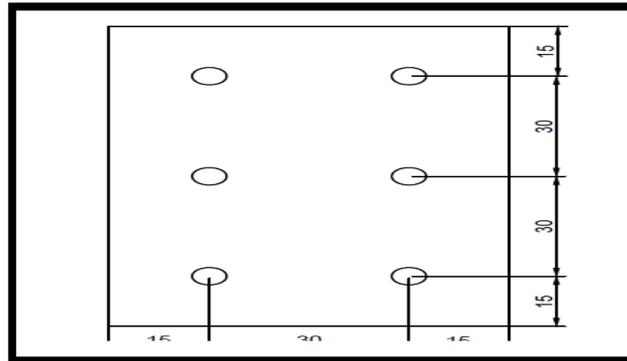


Figura 4.7: Vista de planta grupo de 6 pernos
Fuente: Diseñado por el autor

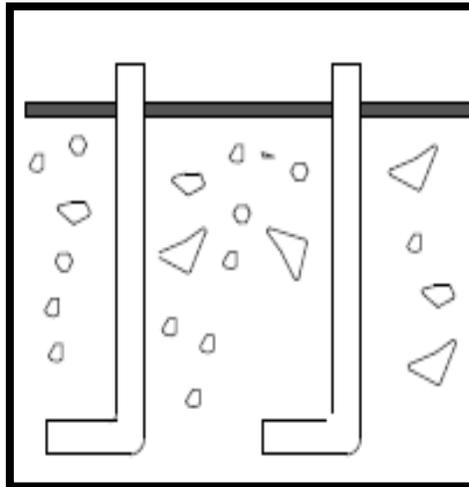


Figura 4.8: Anclajes en "L"
Fuente: Diseñado por el autor

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado 36. El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es que $\phi N_S \geq N_u$ donde N_u es igual a 17.000 kgf y ϕ es igual a 0,75 debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario ϕ es igual a 0,65. Y $f_{ut} = 58.000 \text{ psi} = 4.078 \text{ kg/cm}^2$ (en la tabla 2.2 del encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre $1,9f_y$ o 125.000psi, para este caso $1,9(36.000) = 68.400 \text{ psi}$. Por lo tanto controla el

diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2.2 de acuerdo a las características del material

Calculo del área efectiva del anclaje con la Ec.4

$$A_{se} = \frac{17.000,00}{0,75(6,00)(4.078,00)} = 0,926 \text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 2.2, un anclaje de 5/8 satisface este requisito. ($A_{se}=1,458 \text{cm}^2$). Comprobación de $\phi NS \geq U_n$

$$\phi NS = 0,75 \cdot ((6,00) (1,458)(4.078,00)) = 17.837,172 \text{kgf}$$

$$26.755,758 \text{kgf} \geq 17.000,00 \text{kgf}$$

Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}). El requisito básico para un grupo de anclajes es $\phi N_{cbg} \geq N_u$ donde ϕ es igual a 0,70 para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75.

Calculo de profundidad efectiva donde Ψ_3 es igual a 1,00 este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción y ϕ es igual a 0,70 para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75.

$$(h_{ef}) = \frac{17.000,00}{0,70 \cdot 6,00 \cdot 24,00 \cdot \frac{2}{300}} = 9,73 \text{cm} = 10,00 \text{cm}$$

Determinar AN y ANo el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (C_{amin}), de $1,5(h_{ef})$.

Por lo tanto sustituyendo los valores en las ecuaciones 10,14 y 19 encontraremos nuestra separación mínima y áreas de fallas. Se debe verificar el cumplimiento de que $AN \leq n ANo$.

$$C_{amin}=1,50(10,00)=15,00\text{cm}$$

$$AN= (15,00+30,00+15,00)(15,00+30,00+30,00+15,00)=5.400,00\text{cm}^2$$

$$ANo=9,00.h_{ef}^2=9,00.(10)^2=900,00\text{cm}^2$$

$$5.400,00\text{cm}^2 \leq (6,00)(900,00\text{cm}^2)$$

$$5.400,00\text{cm}^2 \leq 5.400,00\text{cm}^2$$

Se Calcula Nb a través de la Ec.20.

$$Nb=24,00. \sqrt{300,00}. 10^{1,5} = 13.145,34\text{kgf}$$

$$\square N_{cbg} = \frac{5.400,00}{900,00} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 13.145,34 = 78.872,04\text{kgf}$$

Se determinar la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}).

$$\phi N_{pn} = (0,70).(1,00)(3.060,382)=2.142,26 \text{ Kgf}$$

Resistencia al descascaramiento como en este caso estamos utilizando anclajes en forma de L el descascaramiento no aplica para este caso.

Conclusión se utilizara un sistema de pernos de 5/8 pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 10cm y una cabeza Hexagonal.

4.3.5 Diseño de un grupo de ocho pernos

Diseñar un grupo de 8 bulones con la separación indicada; este sistema de anclajes está sometido a una carga a tracción de 15000kgf y una carga de corte debido al viento de 3000kgf y un $f'c=300$. Ver detalles (figura 4.9).

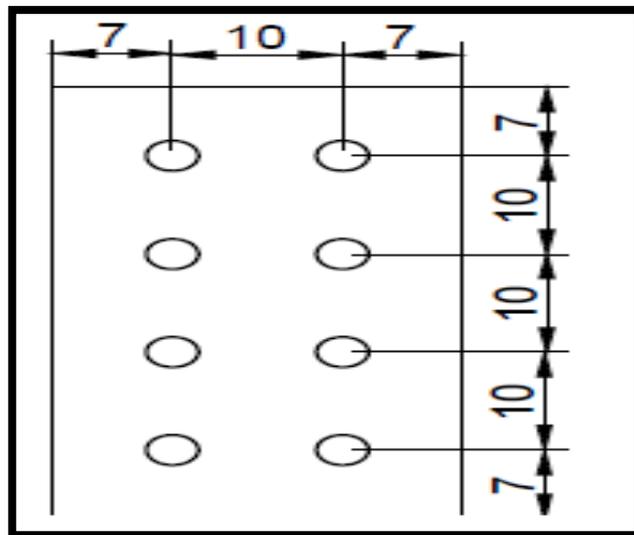


Figura 18: Vista de planta de ocho pernos

Fuente: Diseñado por el autor

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado36, con cabeza.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es $\phi N_s \geq N_u$ donde N_u es igual a 15.000,00kgf y el factor de minoración ϕ es igual a 0,75 debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario ϕ es igual a 0,65. Mientras que f_u es igual a 58.000psi=4.078kg/cm² en la tabla 2.2 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre $1,9f_y$ o 125.000psi, para este caso $1,9(36.000)=68.400$ psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2.2 de acuerdo a las características del material).

Calculo del área efectiva del anclaje:

$$A_{se} = \frac{15.000,00}{0.75 \cdot 8,00 \cdot (4.078,00)} = 0,613 \text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 2.2, un anclaje de 1/2 satisface este requisito. ($A_{se}=0,916 \text{cm}^2$). Comprobación de $\phi N_s \geq N_u$

$$\phi N_s = 0.75((8) (0.916)(4078)) = 22412.688 \text{kgf}$$

$$22412.688 \text{kgf} \geq 15000 \text{kgf}$$

Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}). El requisito básico para un grupo de anclajes es $\phi N_{cbg} \geq N_u$ donde ϕ es igual a 0.70 para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75.

Calculo de profundidad efectiva donde Ψ_3 es igual a la unidad; este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción. Y ϕ es igual a 0,70 para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75.

$$(h_{ef}) = \frac{15000,00}{0,70 \cdot 8,00 \cdot 24,00 \cdot \frac{2}{3}} = 3,46\text{cm} = 4,00\text{cm}$$

Determinar A_N y A_{No} el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (Camín), de $1,5(h_{ef})$

Por lo tanto sustituyendo los valores en las ecuaciones 10,14 y 19 encontraremos nuestra separación mínima y áreas de fallas. Se debe verificar el cumplimiento de que $A_N \leq n A_{No}$

$$C_{\text{amín}} = 1,50 \cdot (4,00) = 6,00\text{cm}$$

$$A_N = (7,00 + 10,00 + 7,00)(7,00 + 10,00 + 10,00 + 10,00 + 7,00) = 1,056\text{cm}^2$$

$$A_{No} = 9,00 \cdot (4)^2 = 144\text{cm}^2$$

$$7.200,00\text{cm}^2 \leq (8,00)(144,00\text{cm}^2)$$

$$1.056,00\text{cm}^2 \leq 1.152,00\text{cm}^2$$

Calculo N_b y se comprueba que se cumpla la condición $\phi N_{cbg} \geq N_u$

$$N_b = 24,00 \cdot \overline{300,00} \cdot 6,00^{1,50} = 6.109,40 \text{ kgf}$$

$$\square N_{cbg} = \frac{1056,00}{144,00} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 6.109,40 = 44.802,267 \text{ kgf}$$

$$44.802,267 \geq 15.000,00$$

Determinar la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}).

$$E_h = 4,50 \cdot (d_o) = 4,50 \cdot (1,27) = 5,715 \text{ cm}$$

$$N_p = 0,90 \cdot (300,00) \cdot (5,715) \cdot (1,27) = 1.959,673 \text{ kgf.}$$

$$\phi N_{pn} = (0,70) \cdot (1,00) \cdot (1.959,673) = 1.371,771 \text{ Kgf}$$

Resistencia al descascaramiento. Si se cumple la siguiente condición se debe considerar la resistencia al descascaramiento.

$$0,4(4 \text{ cm}) > 6 \text{ cm}$$

$$1,6 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$$

Por lo tanto no se considera la Resistencia al descascaramiento.

Resistencia al corte de diseño. (ϕV_n). se calcula la resistencia del acero (ϕV_s) utilizando la Ec.27

$$\square V_s = 0,65 \cdot 8 \times 0,6 \times 0,916 \times 4.078 = 11.654,59 \text{ Kgf}$$

Calculo de resistencia al desprendimiento (ΦV_{cbg}) Los dos anclajes más próximos al borde controlaran la resistencia al desprendimiento. Como no se dispone de armadura suplementaria Φ es igual a 0,70 para el cálculo de A_v y A_{vo} el área de falla se aproxima a un rectángulo y se debe comprobar que se cumpla la siguiente condición $A_v \leq n A_{vo}$.

$$1,50 \cdot C_{amin} = 1,50 \cdot (6,00) = 9,00 \text{ cm}$$

$$A_v = (9,00 \text{ cm})(7,00 \text{ cm} + 10,00 \text{ cm} + 7,00 \text{ cm}) = 216,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{vo} = 4,50 C_{amin} = 4,50 \cdot (6,00) = 27,00 \text{ cm}^2$$

$$216,00 \text{ cm}^2 \leq 8,00 \cdot (27,00)$$

$$216,00 \text{ cm}^2 \leq 729,00 \text{ cm}^2$$

Calculo de los factores Ψ_5, Ψ_6 y Ψ_7 Ψ_5 es igual a la unidad ya que no hay excentricidad.

$$\Psi_6 = 0,7 + 0,3 \frac{C_{amin}}{1,5 C_{aminb}}$$

$$C_{amin} < 1,50 C_{amb} \quad 6,00 < 1,50 \cdot (7,00) = 6,00 < 10,50$$

$$\Psi_6 = 0,70 + 0,30 \cdot \frac{6,00}{10,50} = 0,87$$

$$\Psi_7 = 1,00$$

Calculo V_b . Utilizando la Ec.33 donde (l) es igual a 10,16cm debido a que la longitud de apoyo de la carga del anclaje para corte, que debe ser menor o igual a $8d_o=8(1,27cm)=10,16cm$.

$$V_b = 7 \left(\frac{10,16}{1,27} \right)^{0,2} \frac{1}{1,27} \frac{300 \times 6^{1,5}}{300} = 3.043,72 \text{kgf}$$

$$V_{cbg} = 0,70 \left(\frac{216}{27} \right)^{1,087} \frac{1}{1} \frac{3.043,72}{1} = 14.829 \text{kgf}$$

Calculo la resistencia total a corte donde (n) es igual al número de pernos sometidos a cortante más cercanos al borde libre.

$$\Phi V_{cbg} = 2 \cdot 14.829 = 29.658,00 \text{kgf}$$

Calculo la resistencia al arrancamiento del hormigón.

Este caso solo se debe considerar para anclajes rígidos y con poca longitud de empotramiento.

$K_{cp} = 2$ para $h_{ef} \geq 5,08$, para caso contrario es igual a 3.

$$\Phi V_{cp} = 0,70 \cdot 3 \times 44.802,267 = 94.084,76 \text{Kgf}$$

Nota: el menor valor entre (ΦV_s) , (ΦV_{cbg}) y (ΦV_{cp}) controlara el diseño por corte. En nuestro caso $\Phi V_s = 11.654,59 \text{Kgf}$ controla el diseño.

Comprobación de los esfuerzos por tracción y corte.

$$V_u = 3.000 \text{ Kgf}$$

$$\text{Si } V_u \leq 0,2\phi V_n$$

$$0,2\phi V_n = 0,2 (14829) = 2.965,8 \text{ kgf} < 3.000 \text{ kgf}$$

Por lo tanto no se puede considerar la totalidad de la resistencia a tracción.

Si $N_u \leq 0,2\phi N_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia al corte de diseño.

$$N_u: 15.000 \text{ kgf}$$

$$0,2\phi N_n = 0,2 (1.371,771) = 274,354 \text{ kgf} < 15.000 \text{ kgf}$$

Como no se cumple se debe realizar una interacción entre la resistencia a tracción y la de corte.

$$\frac{15000}{14829} + \frac{3000}{11654.59} = 1,2 \leq 1,2$$

Conclusión utilizaremos pernos de $\frac{1}{2}$ de acero ASTM F1554 G36°, con una profundidad de empotramiento de 4,00cm.

4.4 Tablas de diseño para anclajes individuales

Para facilidad del diseñador, se realizaron tablas de diseño con la ayuda de Excel, estas servirán de ayuda para diseñar anclajes individuales,

mediante estas se podrá determinar el tamaño del anclaje, su profundidad de empotramiento y la forma de su tuerca o cabeza; dependiendo de la carga de diseño, las características de los materiales y los criterios de diseño expuestos anteriormente.

De esta manera, se decidió realizar dichas tablas considerando el acero más común utilizado para anclajes, el cual es el ASTM F1554 en sus diferentes grados, cada uno de estos poseen una resistencia distinta para el diseño, a esto decidimos que interactuaran con las tres resistencias más comunes utilizadas, para el concreto al anclajes, las cuales son (250 Kgf/cm², 300 Kgf/cm² y 350 Kgf/cm²). En este mismo sentido, gracias a la interacción entre las distintas características del acero y del concreto, se podrá observar el comportamiento de los anclajes al incluir las distintas variantes en los materiales, aunque sean sometidos a una misma carga de diseño.

4.4.1 Elaboración de tablas de diseño en Microsoft Excel

Primeramente se dio inicio al programa Microsoft Excel, con la ayuda de la ventana (Bordes), se seleccionó para desplegar su menú de opciones y se utilizó (todos los bordes), con la finalidad de crear nuestra área de trabajo, es decir marcar las filas y columnas que formaran parte de nuestras tablas de diseño. Como se muestra en la figura 4.10.

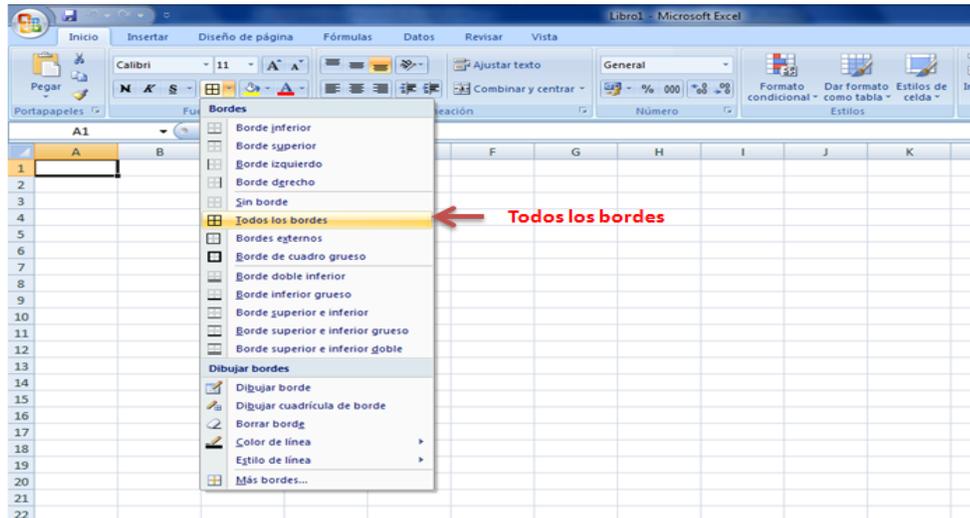


Figura 4.10: Ventana de bordes

Fuentes: El autor

De esta manera, se le fue asignando nombre a cada columna, de acuerdo a los valores que estas iban a albergar, a la columna A, se le asignó el de la carga de diseño, a la columna B, será la resistencia a tracción del material la cual dependerá de la característica del acero a utilizar, a la columna C, será el número de pernos, como para esta tabla es para anclajes individuales siempre será uno; la columna D será el de ϕ del acero el cual para este caso siempre será de 0,75 ya que el acero ASTM F1554, satisface las características de ductilidad necesarios, para la columna E obtendrá los valores del área neta efectiva del anclaje (A_{se}), mediante algoritmos (Ver figura 4.11), se introduce la (ecuación 4), en dicha columna para el cálculo automático en toda la columna.

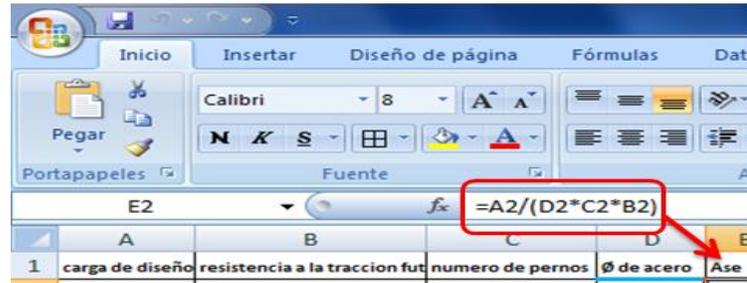


Figura 4.11: Algoritmo para el cálculo del área neta efectiva (Ase)
Fuentes: El Autor

En este mismo sentido, con la ayuda de (la tabla 2.2), se crean una serie de condiciones a través de algoritmos (Ver figura 4.12) para que en la columna F, se pueda observar el tamaño del perno requerido, de acuerdo al área neta efectiva necesaria, es decir, la columna F nos dará el diámetro necesario para el anclaje. Por ejemplo, si el área efectiva calculada es de 0.400 cm², la hoja de diseño nos arrojará que un perno de 3/8 pulgada, ya que este cumple para el diseño. Debido a que este valor es menor al área efectiva de dicho perno y no se puede satisfacer el diseño con un perno de menor dimensión.

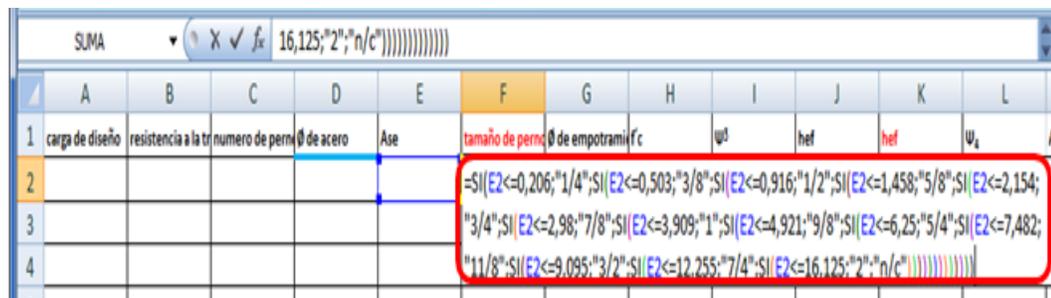


Figura 4.12: Algoritmo para el cálculo del diámetro del perno
Fuentes: El autor

Ahora bien, la columna G provee el ϕ , de acuerdo a el concreto este se define de acuerdo a los tipos de condiciones, en nuestro caso utilizamos la condición B, ya que como antes mencionamos utilizaríamos condiciones

favorables para el diseño. De esta manera, en la columna H, nos proporciona la resistencia del concreto, esta como antes mencionamos, variara entre los valores más utilizados en anclajes al concreto. En la columna I, nos aporta el factor Ψ_3 , el cual será igual a la unidad a menos que un análisis de laboratorio nos indique que el concreto no sufrirá de fisuramiento. En este mismo sentido en la columna J, se introduce la ecuación 1 para el cálculo de la profundidad efectiva de empotramiento. Ver (figura 4.13). En la columna K, se encuentra la profundidad efectiva de empotramiento en centímetros, redondeada a la unidad para facilitar la construcción.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	carga de diseño	resistencia a la tracción	número de pernos	Ø de acero	Ase	tamaño de perno	Ø de empotramiento	f'c	Ψ_3	hef	hef	Ψ_4	Abrg	tipo de tuerca cabeza.
2	250	4.077,73	1	0,75	0,082	1/4	0,70	250	1	=POTENCIA(A2/((G2*12^24*POTENCIA(H2;1/2));2/3)	250	1	0,53571	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y h
3	500,00	4.078	1	0,75	0,163	1/4	0,70	250	1	POTENCIA(número; potencia)	250	1	0,53571	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y h
4	750,00	4.078	1	0,75	0,245	3/8	0,70	250	1	1,998	2	1	0,53571	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y h

Figura 4.13: Algoritmo para el cálculo de la profundidad efectiva de empotramiento del perno

Fuentes: El autor

En este mismo sentido, en la columna L, nos proporciona el valor de Ψ_4 , este siempre será igual a la unidad para anclajes preinstalados. De esta manera, en la columna M, mediante la utilización de algoritmos se introduce la ecuación 24, para calcular la superficie de apoyo del anclaje. Ver (figura 4.14).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	carga de diseño	resistencia a la traccion fut	numero de pernos	Ø de acero	Ase	tamaño de perno	Ø de empotramiento	r	W1	hef	hef	W4	Abrg	tipo
2	250	4.077,73	1	0,75	0,082	1/4	0,70	250	1	0,960	1	1	0,17857	cua
3	500,00	4.078	1	0,75	0,163	1/4	0,70	250	1	1,524	2	1	0,35714	cua
4	750,00	4.078	1	0,75	0,245	3/8	0,70	250	1	1,998	2	1	0,53571	cua

Figura 4.14: Algoritmo para el cálculo de la superficie de apoyo del perno
Fuentes: El autor

De esta manera, para la columna M, con la ayuda de la tabla 2.2, se crearon una serie de condiciones de dependencia a través de una serie de algoritmos), para poder obtener el tipo de tuercas admisible para el diseño. Por ejemplo si el perno es de 3/8 pulgadas y además requiere tiene una superficie de apoyo de 1,30cm² , este diseño se puede satisfacer con una tuerca o cabeza cuadrada, hexagonal pesada y cuadrada pesada; ya que una hexagonal tiene un área inferior a la necesaria no se puede utilizar para este diseño. Ver (tabla 2.9).

Producto de lo anterior, se crearon nueve tablas de diseño con diferentes valores de interacción entre el concreto y acero; se realizó la interacción de un concreto con una resistencia de 250 kgf/cm², con acero ASTM F1554 en sus diferentes grados, de igual manera se realizó con un concreto de resistencia de 300 kgf/cm² y de 350 kgf/cm². Estas tendrán carga de 250 Kgf, el cual se irá aumentando progresivamente, hasta que el acero o concreto ya no compensen las necesidades de la carga aplicada. (Ver anexos).

4.4.2 Modelo de diseño con las tablas

Para la facilidad del diseñador, se incluyen una serie de tablas para diseñar anclajes individuales solicitados a cargas de tracción, en concreto con un $f'c$ de 250Kgf/cm², 300kgf/cm² y 350kgf/cm² estas son relacionadas con el acero ASTM 1554 en sus diferentes grados, para dar un mayor rango de estudio.

Ahora bien, tomaremos el ejemplo anterior 4.3.1 modelo de un anclaje individual para diseñarlo con las tablas. Primordialmente se deben identificar los datos de entrada los cuales ya son de nuestro conocimiento o los podemos proporcionar al conocer que materiales vamos a utilizar. Para este ejemplo tenemos una carga de diseño de 6000Kgf a tracción y un concreto con un $f'c$ de 250Kgf/cm² y ya que se recomienda utilizar un acero dulce utilizaremos un acero ASTM 1554 G36°. De acuerdo a esto, se introducen los valores de entrada a la tabla de diseño. Las columnas en color blanco son modificables. (Ver figura 4.15).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	carga de di	resistencia a la trac	numero de per	Ø de ace	Ase	tamaño de per	Ø de empotramie	f'c	ψ	hef	hef	ψ _s	Abrg	tipo de tuerca cabeza.
2	250	4.077,73	1	0,75	0,082	1/4	0,70	250	1	0,960	1	1	0,1786	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
3	500,00	4.078	1	0,75	0,163	1/4	0,70	250	1	1,52	2	1	0,3571	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
4	750,00	4.078	1	0,75	0,245	3/8	0,70	250	1	2	2	1	0,5357	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
5	1.000,00	4.078	1	0,75	0,327	3/8	0,70	250	1	2,42	2	1	0,7143	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
6	1.250,00	4.078	1	0,75	0,409	3/8	0,70	250	1	2,81	3	1	0,8929	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
7	1.500,00	4.078	1	0,75	0,490	3/8	0,70	250	1	3,17	3	1	1,0714	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal pesada
8	2.000,00	4.078	1	0,75	0,654	1/2	0,70	250	1	3,84	4	1	1,4286	cuadra, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
9	2.250,00	4.078	1	0,75	0,736	1/2	0,70	250	1	4,16	4	1	1,6071	cuadra, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
10	2.500,00	4.078	1	0,75	0,817	1/2	0,70	250	1	4,46	4	1	1,7857	cuadra, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
11	2.750,00	4.078	1	0,75	0,899	1/2	0,70	250	1	4,75	5	1	1,9643	cuadrada, cuadrada pesada y hexagonal pesada
12	3.000,00	4.078	1	0,75	0,981	5/8	0,70	250	1	5,03	5	1	2,1429	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
13	3.250,00	4.078	1	0,75	1,063	5/8	0,70	250	1	5,31	5	1	2,3214	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada
14	3.500,00	4.078	1	0,75	1,144	5/8	0,70	250	1	5,58	6	1	2,5	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada

Figura 4.15: Tabla de diseño pernos individuales

Fuentes: Autor

De esta manera, al introducir la carga de diseño, resistencia a la tracción, numero de anclajes y el factor ϕ del acero el cual depende si el

acero del anclaje es dúctil o no. Para acero dúctil este factor será igual a 0.75 en caso contrario será de 0.65. Con estos valores la tabla nos arrojará el área efectiva para el diseño y el tamaño del perno de anclaje. (Ver figura 4.16).

carga de diseño	resistencia a la tracción	numero de pernos	Ø de acero	Ase	tamaño de perno
6.000	4.077,73	1	0,75	1,962	3/4

Figura 4.16: Calculo de Ase y diámetro del anclaje.

Fuentes: El autor

A continuación, se procedió a introducir la resistencia del concreto, el factor ϕ de empotramiento que es de 0.70 al no existir estructura suplementaria en caso de existencia sería igual a 0.75, Ψ_2 y Ψ_4 los cuales para el ejemplo serán igual a la unidad. Al introducir estos valores la hoja de cálculo nos arrojará la profundidad de empotramiento, la superficie de apoyo requerida y qué tipo de tuerca o cabeza satisface el diseño. (Ver figura 4.17).

Ø de empotramiento	f'c	Ψ_2	hef	hef	Ψ_4	Abrg	tipo de tuerca cabeza.
0,70	250	1	7,991	8	1	4,2857	cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal pesada

Figura 4.17: Calculo de hef y tipo de tuerca o cabeza

Fuentes: El autor

De esta manera, se concluye que para satisfacer el diseño se debe utilizar un anclaje de $\frac{3}{4}$ pulg de acero ASTM F1554 G36°. Con una profundidad de empotramiento de 8cm y se puede utilizar como superficie de apoyo una cabeza o tuerca cuadrada, cuadrada pesada y hexagonal pesada. Para el cálculo de otro ejemplo solo se deben modificar los valores en las columnas en blanco; en los anexos encontrarán un conjunto de tablas de que abarcara el diseño de anclajes individuales sometidos a diferentes cargas de diseños y con diferentes condiciones en sus materiales.

4.4.3 Análisis de tablas de diseño

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se estudió la relación entre la carga aplicada y la profundidad efectiva de empotramiento, se pudo apreciar un aumento progresivo de la longitud de empotramiento mientras la carga iba en aumento. Como se puede apreciar en las gráficas del 4.1 al 4.9. Pero también se pudo notar que la profundidad de empotramiento depende de la resistencia de los materiales que intervienen en el sistema de anclajes.

Si observamos los gráficos 4.1, 4.2 y 4.3 podemos observar que en los tres se mantiene la misma características del acero un ASTM F1554 G36°, pero se varia la resistencia del concreto, al estudiar estos tres gráficos se puede apreciar que al aumentar la resistencia del concreto se va a reducir la profundidad mínima de empotramiento, esto mismo se puede observar al comparar los gráficos 4.4, 4.5 y 4.6 y los graficas 4.7, 4.8 y 4.9.

Ahora bien si analizamos los gráficos 4.1, 4.4 y 4.7 vamos a apreciar que en las tres se mantiene la misma características para la resistencia del concreto pero varían las del acero, se puede observar que para una misma carga de diseño se puede satisfacer con un diámetro menor del anclaje. De esta misma manera se puede observar esto mismo al comparar los gráficos 4.2, 4.5 y 4.8 y los gráficos 4.3, 4.6 y 4.9.

Con la ayuda de las tabla de diseño, se pudo estudiar las dimensiones mínimas que se deben aplicar a un sistema de anclaje de acuerdo al diámetro del anclaje; para esto se utilizaron los requerimientos básicos expresados en el ACI 318-14 en su capítulo 17. De este análisis se creó una tabla en la cual se puede observar las dimensiones mínimas para cumplir con los estándares de diseño y evitar la falla del diseño; en esta podemos

apreciar la separación mínima entre anclajes, ancho y largo mínimo para la plancha y el pedestal así como también se recomienda un perfil a utilizar basándonos en los perfiles tipo W. (Ver tabla 4.2)

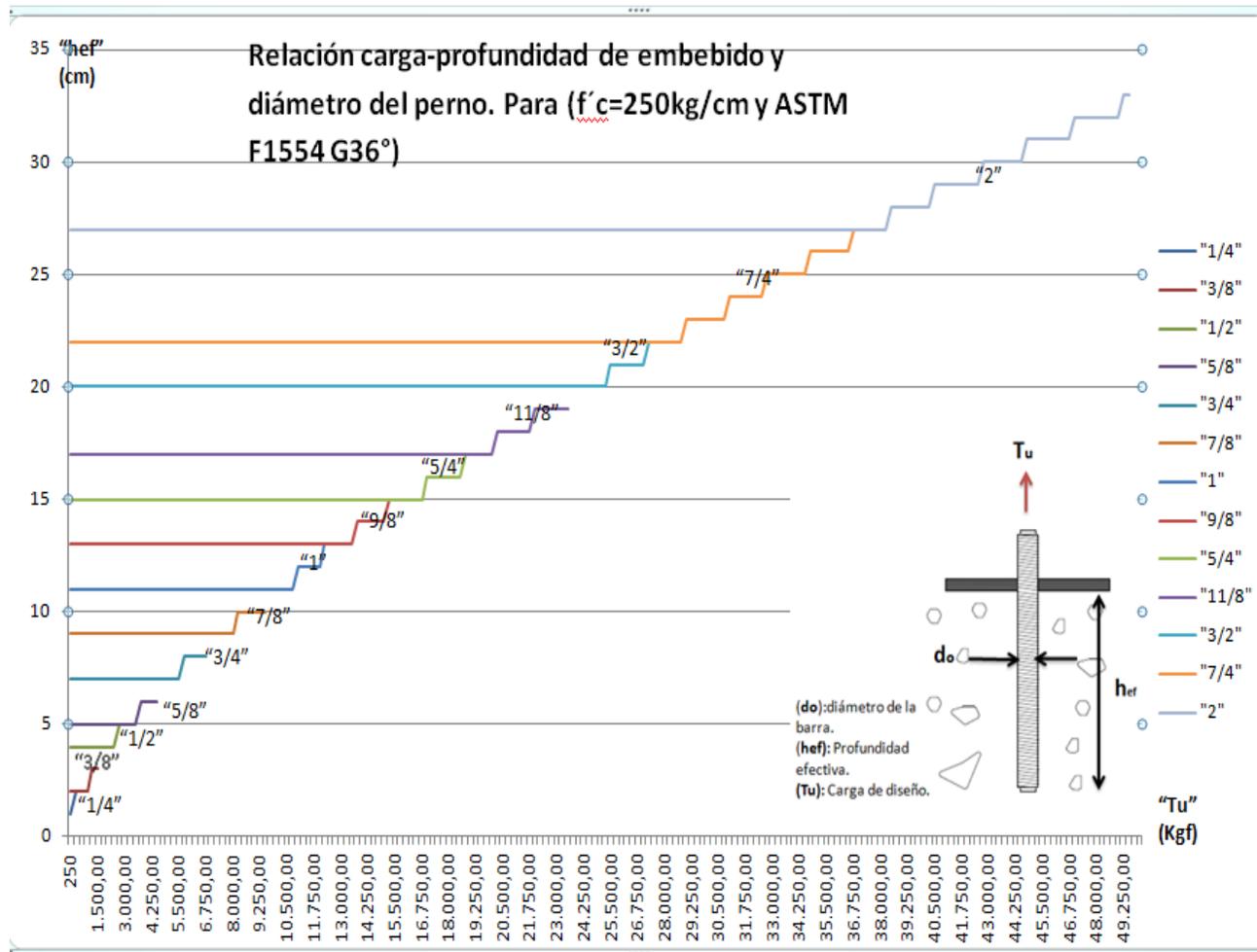


Grafico 4.1: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=250\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G36°)

Fuente: El autor

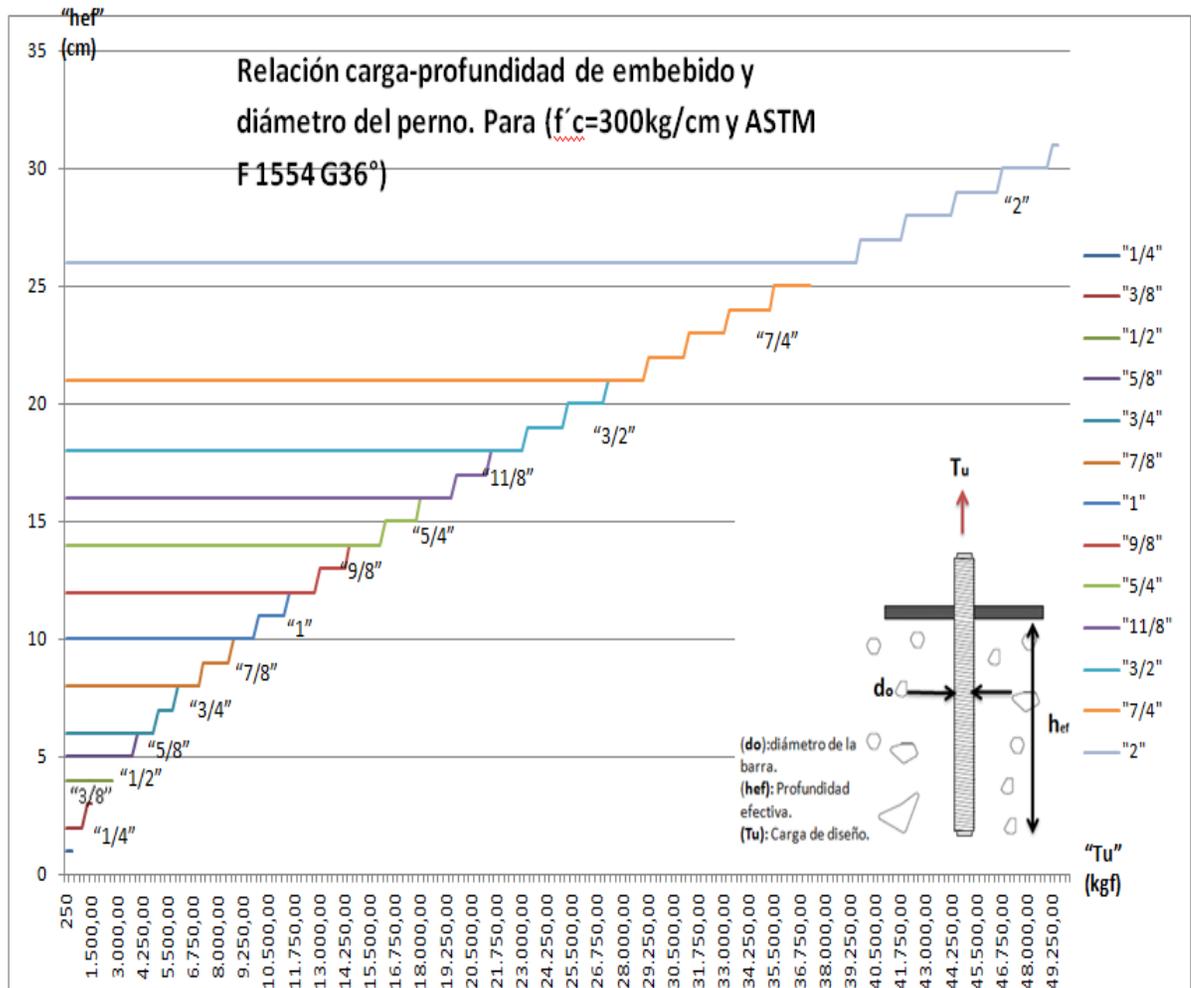


Grafico 4.2: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G36°)

Fuente: El autor

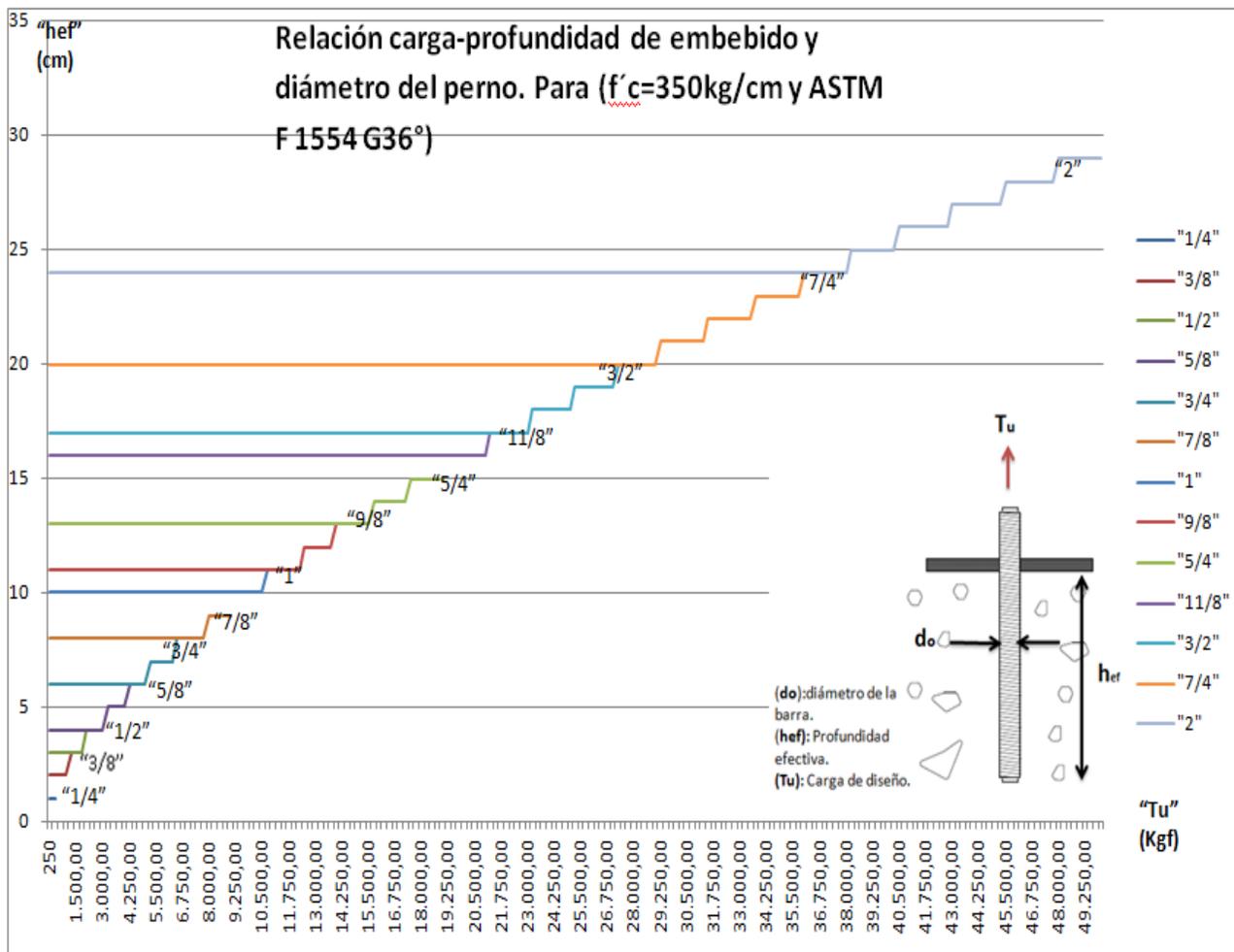


Grafico 4.3: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G36°)

Fuente: El autor

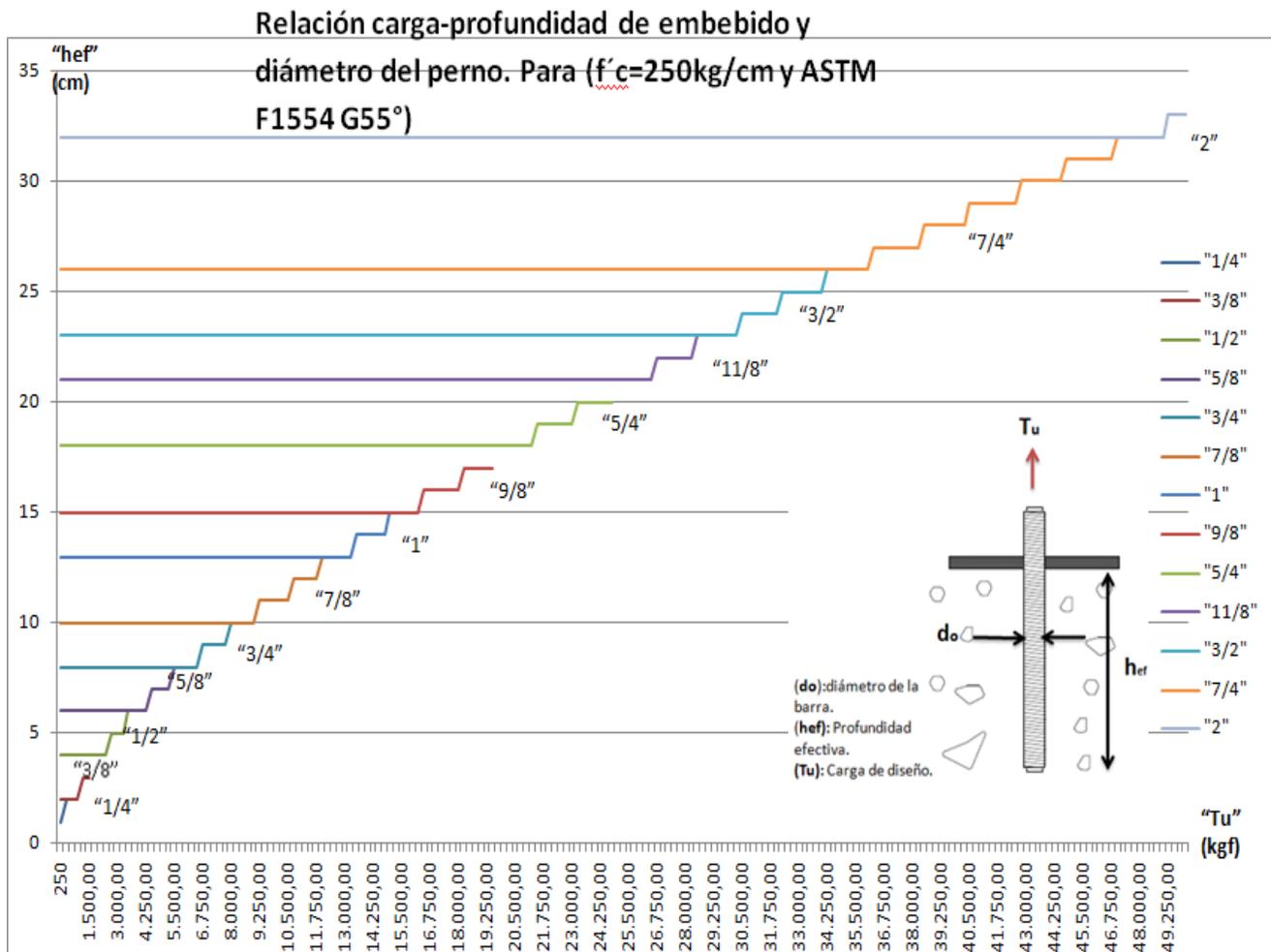


Grafico 4.4: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'_c=250\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G55°)

Fuente: El autor

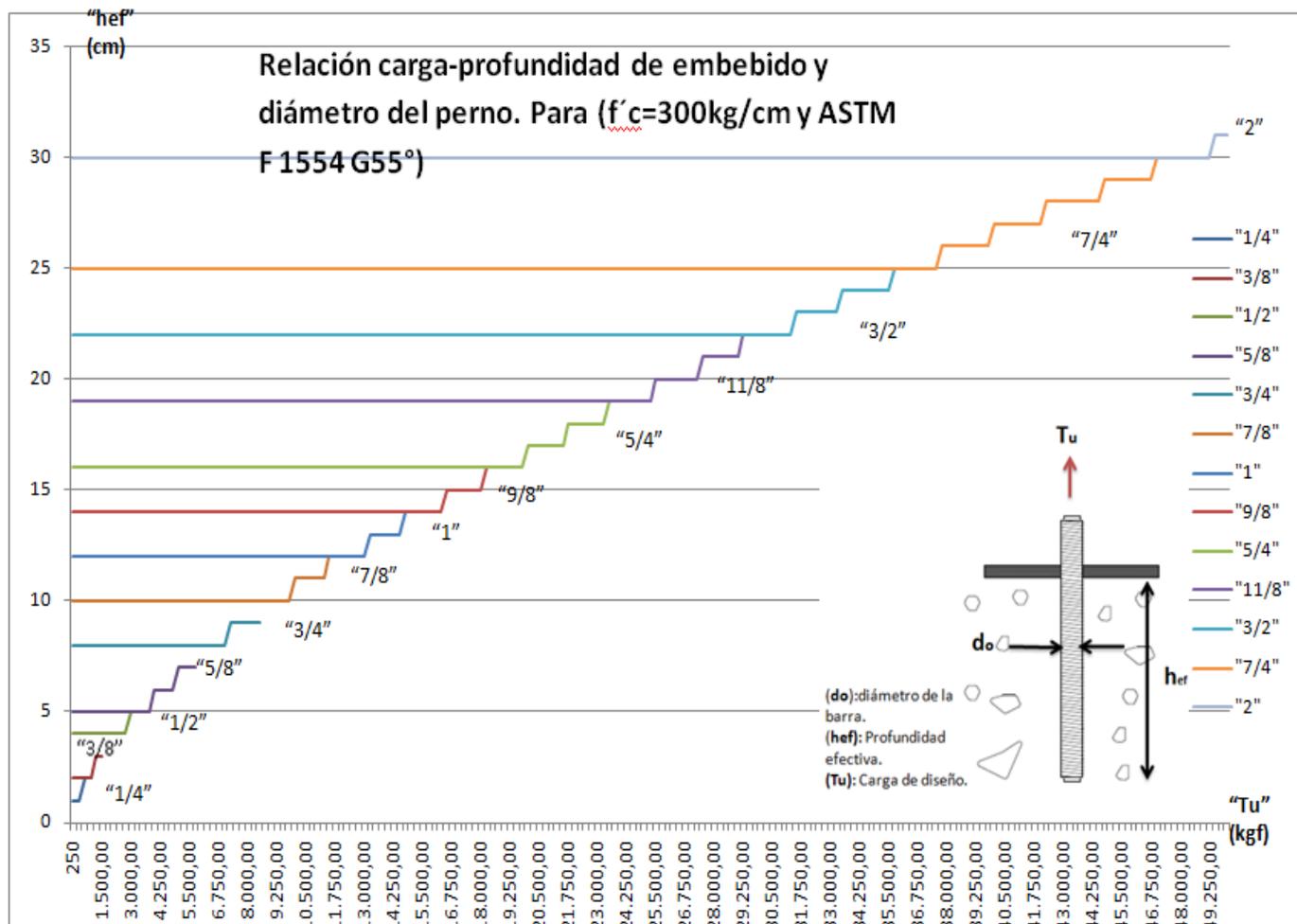


Grafico 4.5: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'_c=300\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G55°)

Fuente: El autor

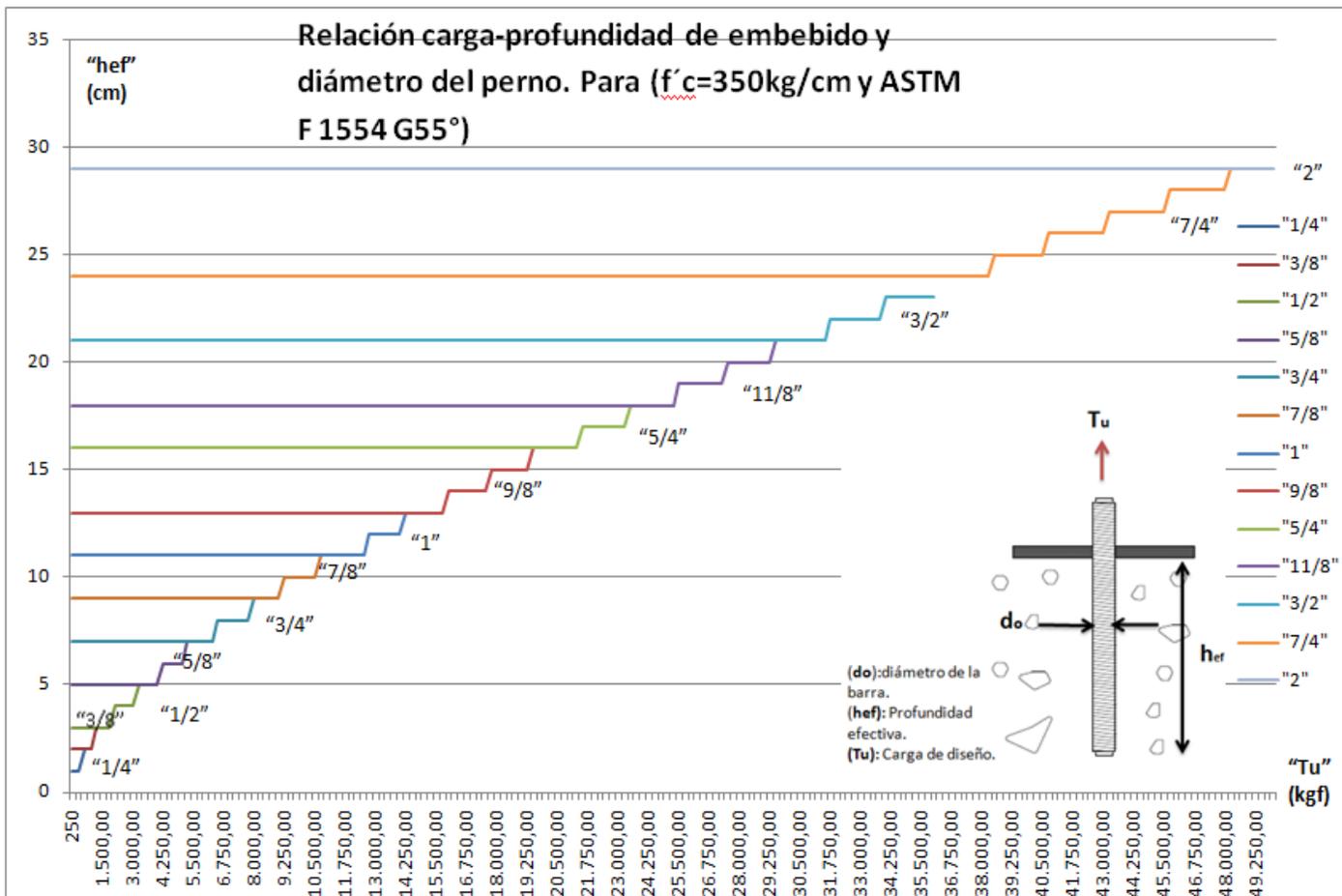


Grafico 4.6: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G55°)

Fuente: El autor

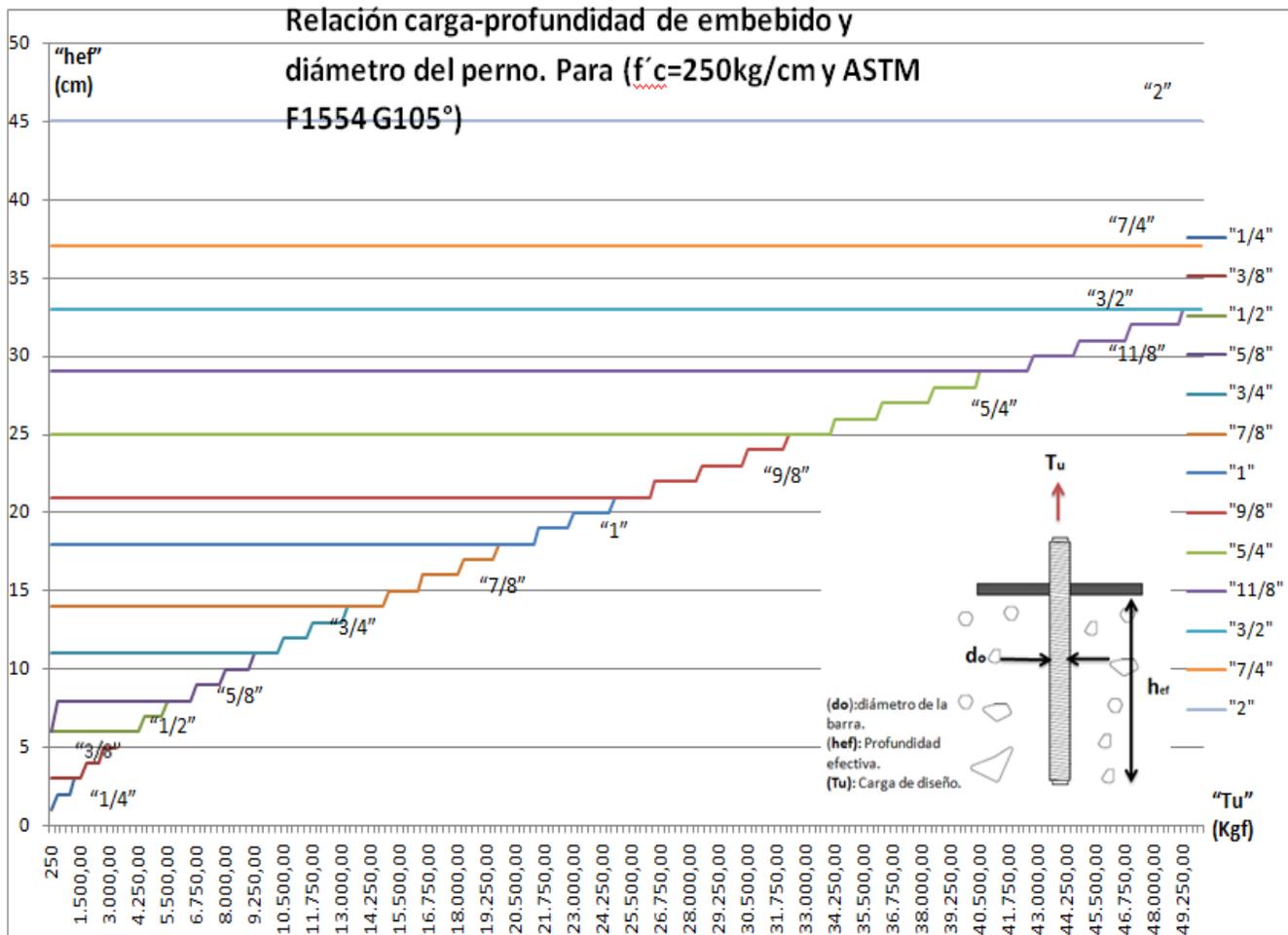


Grafico 4.7: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'_c=250\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G105°)

Fuente: El autor

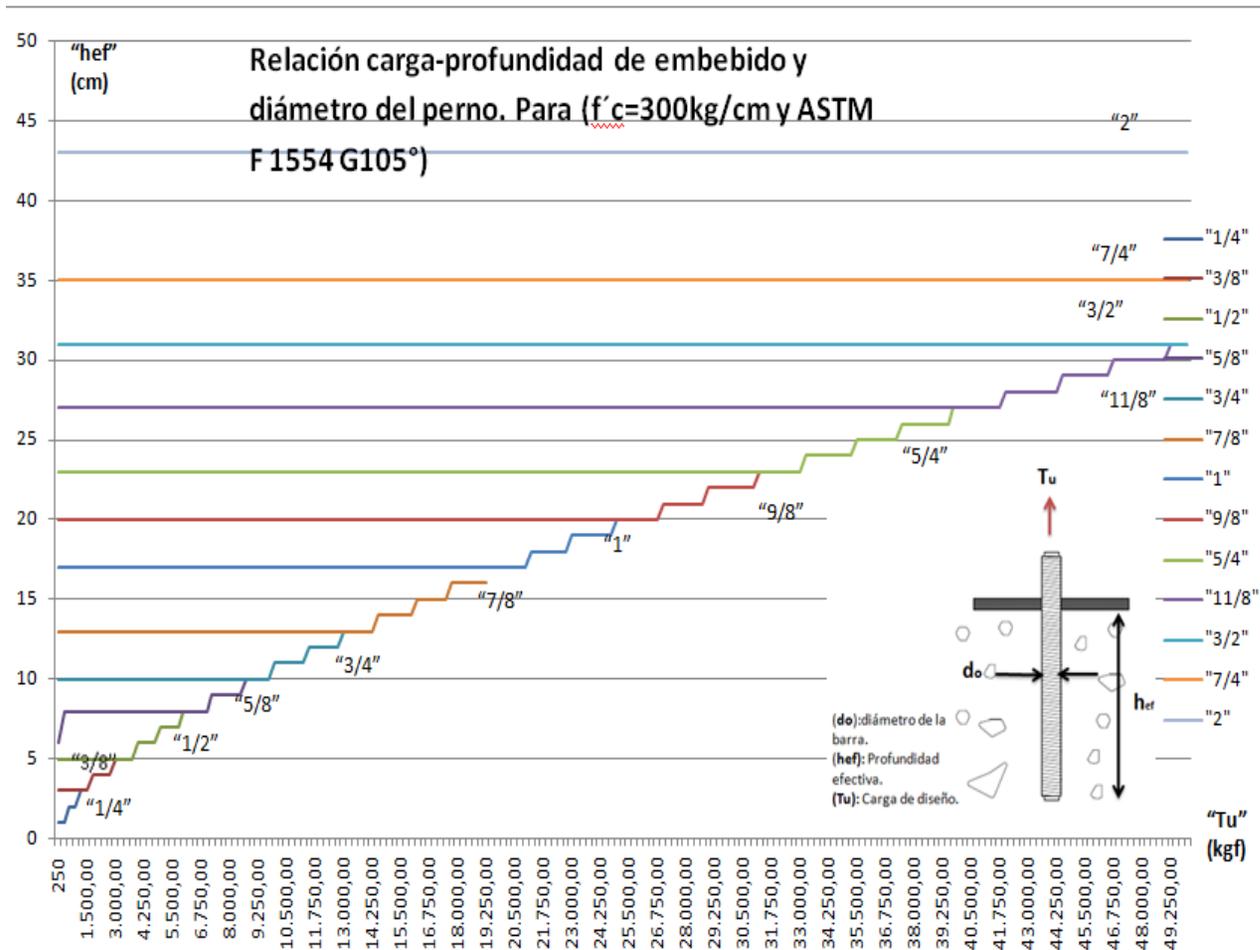


Grafico 4.8: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=300\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G105°)

Fuente: El autor

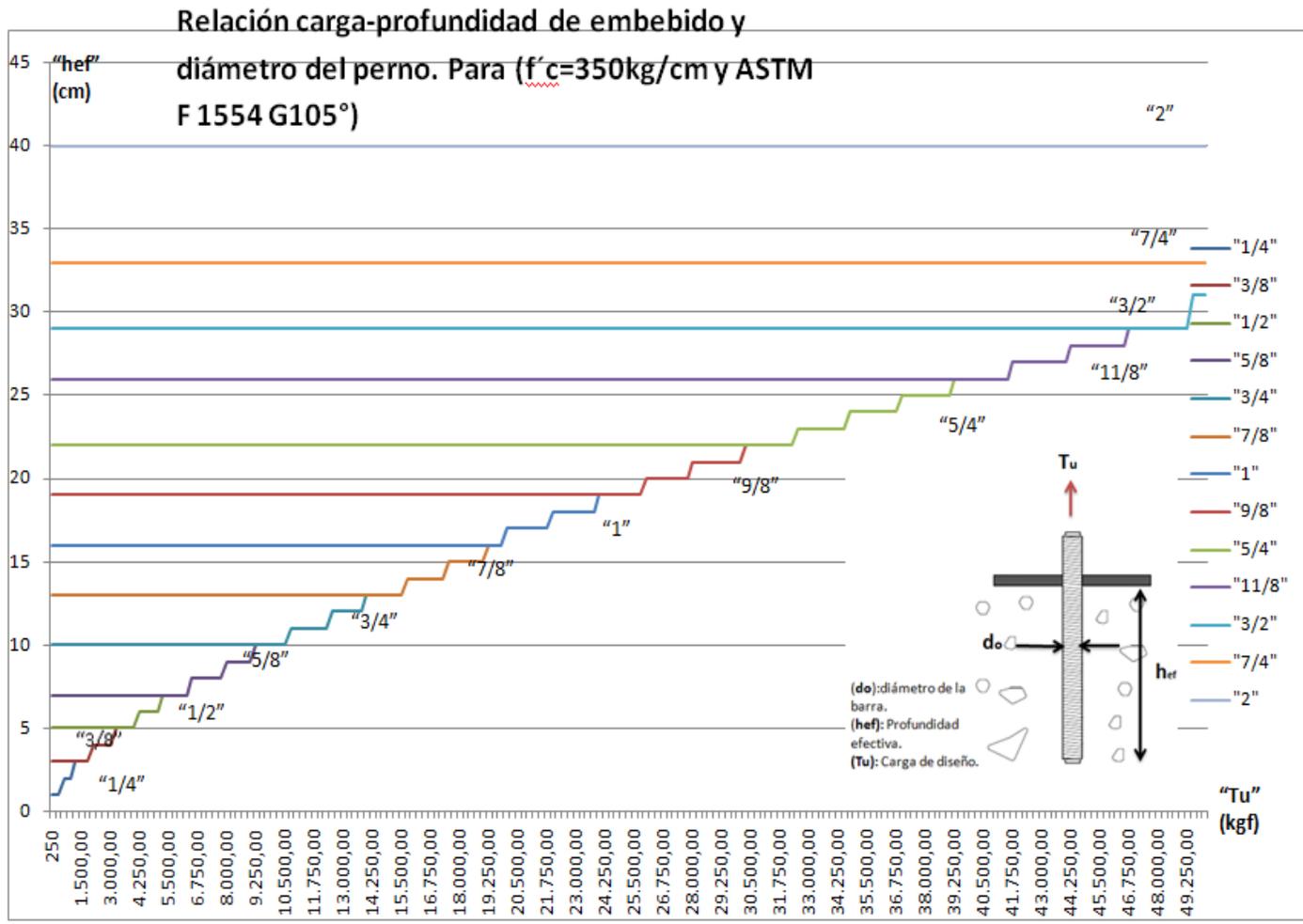


Grafico 4.9: Relación carga-profundidad de embebido y diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}$ y ASTM F1554 G105°).

Fuente: El autor

Tabla 4.2: Dimensiones mínimas para pernos de anclajes preinstalados.

Diámetro del perno (pulg)	Separación mínima. (cm)	Largo y ancho mínimo de la plancha (cm)	Largo y ancho mínimo del pedestal (cm)	Perfil Recomendado
1/2	7.62	13.02	23.88	W100 o menor
5/8	9.625	15.925	31.21	W150 o menor
3/4	11.43	19.03	39.58	W200 o menor
7/8	13.335	21.935	48.17	W250 o menor
1	15.24	25.04	58.9	W310 o menor
9/8	17.145	30.145	75.89	W460 o menor
5/4	19.05	31.05	80.1	W460 o menor
11/8	20.955	33.955	91.31	W530 o menor
3/2	22.86	37.06	103.94	W610 o menor
7/4	26.67	43.27	127.21	W753 o menor
2	30.42	49.28	162.48	W933 o menor

Fuente: El autor

4.5 Elaboración de curso MOOC

Para la realización del objetivo principal, y luego de los estudios antes mencionados se desarrolló el contenido para dictar el curso MOOC sobre anclajes preinstalados; para esto se dispuso de la creación de 3 manuales para la distribución del curso, el primero totalmente introductorio al tema con conceptos e imágenes claras de acuerdo a lo reglamentado en el ACI 318-14; este manual es acompañado por un video tutorial el cual lleva por nombre conocimiento básico para el diseño de anclajes preinstalados y una prueba de selección simple para facilitar al estudiante el aprendizaje del tema.

En este sentido, el segundo manual el cual es práctico y cuenta con diferentes casos de diseños de anclajes, es acompañado por dos video tutoriales los cuales llevan por nombre modelo de diseño para un anclaje individual y modelo de diseño para un sistema de anclajes y una prueba de selección simple. El tercer manual cuenta con un flujo grama para diseñar pernos individuales, además de las tablas antes descritas y gráficos para

calcular de una manera más rápida las dimensiones del sistema de anclaje así como su profundidad de empotramiento.

En este mismo sentido, se utilizó una plataforma gratuita para el desarrollo del curso MOOC "file:///F:/web_tesis_jose_paul/index.htm", esta será conectada al servidor actual de la universidad, para que de esta manera se encuentre en disposición de los estudiantes y profesores. El contenido del curso fue subido a la plataforma gracias a la ayuda de un ingeniero en sistema que se encargó de convertir el contenido en los formatos aceptados por la plataforma; así como también de concluir con el diseño final de la página en la cual se proyectaran los curso.



Figura 4.14: imagen de I video tutorial

Fuente: Autor.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos correspondientes a la investigación, y una vez llevado a cabo el análisis del diseño de pernos de anclajes preinstalados, de acuerdo a los requerimientos establecidos por el código ACI 318-14 en el capítulo 17 y desarrollado el curso MOOC sobre diseño de anclajes preinstalados se generaron las siguientes conclusiones:

- El capítulo 17 sobre los requisitos para el diseño de anclajes al concreto del código ACI 318-14 es el segundo más amplio en cuanto a información y se considera el más difícil de comprender del código. Este no incluye información sobre conexiones metálicas entre perfil y estructura creando un vacío en la normativa.
- Se analizó la influencia del tipo de material que se utilice para el diseño del sistema de anclaje; concluyendo que estos serán los principales responsables del tipo de diseño que se aplique para cada caso.
- Se comprobó que la característica del concreto, tiene un papel fundamental para determinar la profundidad empotrada del anclaje o de embebido, ya que al aumentar la resistencia del concreto se requerirá una profundidad de embebido mucho menor.
- Se demostró que la característica del acero, estarán estrechamente relacionado con la dimensión del anclaje; esto se comprobó al estudiar los diferentes grados de acero ASTM F1554 manteniendo las mismas características del concreto, se pudo apreciar que al aumentar la

resistencia del acero para una misma carga aplicada se requería un anclaje de menor dimensión.

- La falta de conocimiento técnico sobre el diseño de sistemas de anclajes por parte de ingenieros civiles y estudiantes y la falta de difusión de información referente al tema a tal punto de que países de latino América aun no cuentan en sus normativas nacionales con ningún tipo de especificaciones para el diseño de anclajes al concreto.
- Se concluyó, que los cursos MOOC, son una herramienta eficaz, económica y de gran importancia en el modelo de educación actual.
- Los MOOC, crean una cercanía entre el estudiante y profesor al romper las barreras de un aula tradicional, permitiendo mantener una comunicación fuera del aula de una manera fácil y cómoda.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda el desarrollo de investigaciones de análisis y relación entre los sistemas de anclajes y los refuerzos suplementarios, especificando cuando se deben utilizar y que consideraciones se deben tomar para su diseño.
- Se recomienda profundizar en cuanto a las variaciones de la excentricidad en los sistemas de anclajes y el estudio de estructuras suplementarias sobre los mismos.
- Se recomienda realizar investigaciones a fin de determinar criterios y consideraciones más exactas referentes a las conexiones metálicas para sistemas de anclajes, así como es estudio de anclajes pos instalado y anclajes de impacto.

- Continuar realizando estudios a través de alternativas como los cursos MOOC, y aprovechar al máximo esta nueva tendencia de estudio que ya está en práctica en los principales países del mundo.
- Se recomienda comprar un servidor propio para la institución el cual este a la disposición de los profesores y alumnos para ampliar el conocimiento adquirido en las aulas y además contribuir a la difusión del conocimiento en general.
- Realizar una mayor interacción con las redes sociales para ampliar la experiencia MOOC y de esta manera tener un mayor alcance.

BIBLIOGRAFÍA

ACI, (2014). Requisitos de Reglamento para concreto Estructural. Usada en USA.

Arias, F.(2006). Proyecto de investigación. Quinta edición. Editorial: Episteme. Caracas.

Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación. 6ta Edición. Caracas; Editorial Episteme

Anon, (2016). [online] Disponible en: http://biblioteca.unet.edu.ve/db/alexandr/db/bcunet/edocs/TEUNET/2009/pregado/Mecanica/MorenoB_ManuelA/Capitulo3.pdf [visitado el 1 de agosto del 2016].

ASTM (1994), specifications for anchorage applications (anchor bolts).[Lugar de publicación no identificado].

ASTMF1554 (2016), Portland Bolt. Recuperado el 31 de marzo del 2016.

Borjas, Bañon, Esteve, Diaz, Ortega, Lopez y Mompeam (2012), Desarrollo de curso en línea basado en en el diseño de estructuras metalicas.Austin: Universidad de Texas.

Carol Rojas, M. (2016). Uso de conectivos, enlaces y verbos para la redacción de textos. Monografias.com [online]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos88/uso-conectivos-enlaces-y-verbos-redaccion-textos/uso-conectivos-enlaces-y-verbos-redaccion-textos.shtml> [visitado el 31 de julio del 2016].

Cook, R. (1989). Comportamiento y diseño de Anclajes Multiples de Acero. Austin: Universidad de Texas.

Escalada, J. (2016). El Ultimo grito en formación: los cursos MOOC – Ecoaula.es. [online]. Disponible en:

<http://ecoaula.economista.es/empleate/noticias/7526451/04/16/El-ultimo-grito-en-formacion-los-cursos-MOOC.html> [visitada el 31 de julio del 2016]

Evaluating the performance of post-installed mechanical anchors in concrete (ACI 355.2-01) and commentary (ACI 355.2R-01). (2002). Farmington Hills, MI.

F1554 GRADE 36-F1554 (2016), Anchor Bolts. F1554 Anchor Bolts.[Visitado en marzo del 2016].

Ferrer,J. (2010). LA METODOLOGIA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA[online].Clib-mba.com. Disponible en <http://www.club-mba.com/2016/05/04/el-trabaja-de-tus-sueños-en2016-gracias-a-losmooc>. [visistada el 31 de julio del 2016]

Feroldi, F. (2016) El trabajo de tus sueños en 2016, ¡gracias a los MOOC?/club-mba.com. [online]. Clib-mba.com. Disponible en: <http://www.club-mba.com/2016/05/04/el-trabajo-de-tus-sueños-en2016-gracias-a-losmooc>. [visitada el 31 de julio del 2016]

Fidias, A. (2006). Proyecto de investigación. Quinta edición. Editorial: Episteme. Caracas.

FONDONORMA (2006). Proyecto y construcción en concreto estructural.

Hernandez, M.T. (2009). NORMAS UPEL. Caracas: FEDUPEL.

Institute, A.C- (2004).Anclajes al Concreto (ACI 355). Quito: Fundacion Capitulo Ecuador ACI.

Landa, B. (2017). ACI 318-14 Diseño Avanzado de pernos de anclaje. Caracas: Ediciones Lanca

McAuley, A.;Stewart,B.;Siemens, G. y Comier D. (2010). The Mooc Model For Digital Practice. [online].University of Prince Edward Island through The Social Sciences and Humanities. Disponible en: http://davecormier.com/edblog/wp-content/uploads/MOOC_final.pdf[Visitada el 1 de agosto, 2016].

Metodologia02.blogspot.com (2016). Metodología de la investigación:METODOS DE LA INVESTIGACION. . [online]. Disponible en: <http://Metodologia02.blogspot.com/p/métodos-de-la-investigacion>. Html [Visitada el 1 de agosto, 2016].

Orrego, A. and →, V. (2008). BIBLIOGRAFIA METODOLOGIA DE INVESTIGACION (CURSOS 2008). . [online]. Disponible en: <http://metodoinvestigacion.wordpress.com/bibliografia> [Visitada el 1 de agosto, 2016].

Rolf,E. (2006). Anchorage in Concrete Construction. Alemania:Ernst.

Sabino. (1995). Marco Metodologico.[online]Unesr-investigacionsocial.blogspot.com. Disponible en <http://unesr-investigacionsocial.blogspot.com/2009/12/marco-metodologico.html> [Visitada el 1 de agosto, 2016].

Sabino. (2000). Marco Metodologico.[online]Unesr-investigacionsocial.blogspot.com. Disponible en <http://unesr-investigacionsocial.blogspot.com/2009/12/marco-metodologico.html> [Visitada el 1 de agosto, 2016].

Timms P. (2016) El trabajo de tus sueños en 2016,¡gracias a los MOOC?/club-mba.com [online]. Clib-mba.com. Disponible en: <http://www.club-mba.com/2016/05/04/el-trabajo-de-tus-sueños-en2016-gracias-a-losmooc>. [visitada el 31 de julio del 2016]

UCAB (2006). Guía Práctica para la Elaboración del Trabajo Especial de Grado (TEG). Especialización en Gerencia de Proyectos. Caracas: Editorial “Universidad Católica Andrés Bello”.

Zorrilla. (1993).LA METODOLOGIA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.[online] Disponible en:<http://metodologia02.blogspot.com/2010/07/la-metodologia.html> [visitada el 31 de julio del 2016]

ANEXOS

Anexo A. Manuales de diseño



Universidad de Oriente.
 Núcleo Anzoátegui.
 Extensión Cantaura.
 Escuela de Ing. y ciencias aplicadas.
 Departamento de ingeniería civil.
 Elaborado: José A. Paúl R.
 Correo: josepaul1111@gmail.com
 Tutor: Jhonatan A. Martínez G.

CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJES PREINSTALADOS VOLUMEN 1.

Resumen

Hasta la década de los 70 los estudios sobre anclajes permanecieron en datos experimentales sin ser reglamentados oficialmente por los organismos especializados como el ACI, PCI, ASTM y el AISC, que son los que han servido de referencia para la normativas venezolanas. No fue hasta el año 2002 que el Código ACI 318-02 presenta el Apéndice D con requisitos para el diseño de anclajes en concreto, tanto para preinstalados como pos instalados; Producto de estos estudios se ha generado una serie de consideraciones en el diseño de Pernos de Anclaje que en la actualidad, están siendo incorporadas y difundidas en todo el mundo, Los sistemas de anclajes son utilizados para soportar esfuerzos o estados de tensión a las que son sometidas las estructuras; la presente guía muestra las condiciones que se deben de tomar según las normas existentes para el diseño de pernos de anclajes tomando especial consideración con los anclajes ASTM 1554 en sus diferentes grados debido a ser los más utilizados.

Abstract

Until the decade of the 70 studies on experimental data anchors remained without being officially regulated by specialized agencies such as ACI, PCI, ASTM and AISC, which are those that have served as a reference for the Venezuela regulations. It was not until 2002 that the ACI 318-02 Appendix D presents Code with requirements for the design of concrete anchors for both pre-installed installed pos; Product of these studies have generated a number

of considerations in designing Bolts that currently are being built and disseminated worldwide, systems anchors are used to support efforts or stress states to which they are structures subject; This guide shows the conditions that should be taken under existing standards for the design of anchor bolts taking special consideration to the ASTM 1554 anchors in different degrees due to being the most used.

Introducción

El sistema de estabilización más utilizado en la actualidad es el apernado, cuyo uso data del siglo 19, y que en las últimas décadas se ha transformado en una excelente alternativa a los tradicionales sistemas de reforzamiento en minería y obras civiles.

Entre las principales razones que destacan para preferir este sistema de soporte se pueden mencionar las siguientes: Puede ser utilizado en excavaciones de cualquier geometría,

Tiene un costo económico comparativamente bajo, En general es de fácil instalación, Es posible de mecanizar totalmente su instalación, Factible de adaptar su diseño a las condiciones locales y Puede combinarse con otros sistemas de soportes.

La configuración típica de una conexión entre una columna y su fundación consiste en una placa base de acero soportada por un mortero de nivelación (conocido como grout), y anclada a la fundación de hormigón armado (o a un pedestal generalmente) mediante pernos de anclaje. Esta configuración es diseñada para resistir flexión, corte y cargas axiales desarrolladas en la columna debido a cargas laterales y gravitacionales.

Los pernos de anclaje, también conocidos como pernos de cimientos, se utilizan para unir un elemento estructural a la base de

la estructura. Los sistemas de anclaje se pueden dividir en dos grandes grupos: los sistemas hormigonados preinstalados (anclajes que se instalan antes de colocar el hormigón) y los sistemas instalados en hormigón endurecido (anclajes que se instalan en orificios que se perforan después que el hormigón ha sido curado).

Importancia

Hasta finales del siglo anterior los diferentes códigos que se dedican al estudio de la respuesta estructural de los diferentes elementos de una edificación no prestaron atención a los sistemas de anclaje, y creyeron suficiente el análisis de su capacidad a corte y tracción. En la actualidad los investigadores han reconocido que el anclaje es el que controla esa capacidad, con los diferentes factores que permiten la transferencia de cargas, por lo cual se presentó la necesidad de establecer un criterio y diseño más acercado a la realidad.

Anclajes

Un dispositivo de acero ya sea preinstalado antes de colocar el concreto, o postinstalado en un elemento de concreto endurecido y usado para transmitir fuerzas aplicadas, incluidos los tornillos con cabeza, los tornillos con extremo en forma de gancho (J ó L), pernos con cabeza, anclajes de

expansión o anclajes con sobre perforación en su base.

Bulón

La palabra bulón se utiliza para denominar pernos de acero estructural de diámetro y tamaño relativamente grande, con rosca solo en la parte extrema de su cuerpo, y generalmente con cabeza redonda, cuadrada o hexagonal con superficie de apoyo plana que son utilizados en obras de ingeniería y en mecánica industrial.

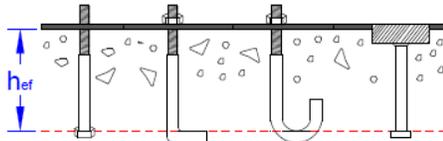


Figura 1: profundidad efectiva de embebido.

Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor).

Profundidad efectiva de embebido. (h_{ef}).

Profundidad total a través de la cual el anclaje transfiere fuerzas hacia o desde el concreto que lo rodea. La profundidad efectiva de embebido generalmente es la profundidad de la superficie de falla del concreto en las aplicaciones de tracción. Para tornillos con cabeza preinstalados y pernos con cabeza, la profundidad efectiva de embebido se mide desde la superficie de contacto de apoyo de la cabeza. (Ver figura 1).

De esta manera, la profundidad de embebido juega un papel

fundamental a la hora de diseñar un sistema de anclajes, esto es debido, a que el comportamiento del sistema de anclaje, frente a la tracción, tiene una relación directa con la profundidad efectiva, que el elemento de acero penetra en el concreto. Los estudios hechos relacionan el cono de falla en relación a la profundidad de efectiva (Ver figura 2).

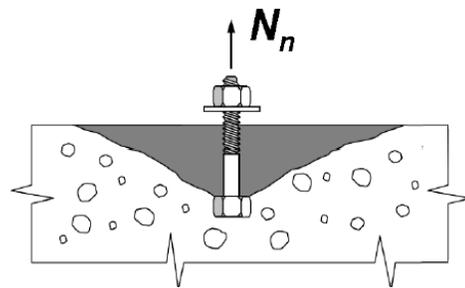


Figura 2: Cono de falla en relación con la profundidad efectiva de embebido.

Fuente: ACI 318

Para anclajes individuales que se encuentran alejados de los bordes la profundidad efectiva se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$h_{ef} = \left(\frac{N_u}{\phi * \Psi_3 * 24 f'_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

N_u : es la carga de diseño.

Ψ_3 : este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

ϕ : factor de reducción de la resistencia; este será de 0.70 para cuando no existen estructuras

suplementarias en caso contrario será de 0,75

$f'c$: resistencia del concreto.

En caso contrario, se puede utilizar la ecuación anterior como un punto de partida para determinar la profundidad efectiva y esta se definirá a través de un proceso interactivo en la cual se debe cumplir la siguiente condición:

$$AN \leq n ANo \quad (Ec. 2)$$

Donde:

AN: es el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (Camin), de $1,5(h_{ef})$

ANo: $9h_{ef}^2$

n: es el número de pernos.

Métodos de aseguramiento

Son las maneras como el anclaje transmite las cargas al concreto, éstas pueden ser:

- Enclavamiento Mecánico o Mediante Base de Soporte
- Aseguramiento por fricción
- Enclavamiento Químico o por Adherencia

Enclavamiento Mecánico

Es el mecanismo de transferencia de carga (N) que emplea un cojinete de aseguramiento entre el anclaje y el concreto, generalmente es empleado por los

sistemas de anclaje hormigonados “in-situ”. (Ver figura 3)

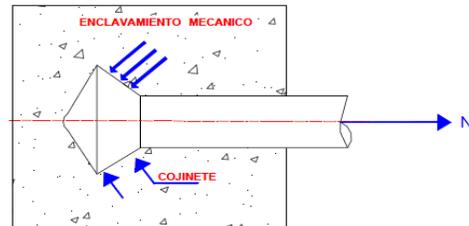


Figura 3: Enclavamiento mecánico.
Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

Aseguramiento por Fricción

Es el mecanismo de transferencia de carga (N) que emplea la fuerza de fricción generada entre el anclaje y la pared del orificio al actuar esfuerzos principalmente de tracción sobre el sistema de anclaje. (Ver figura 4).

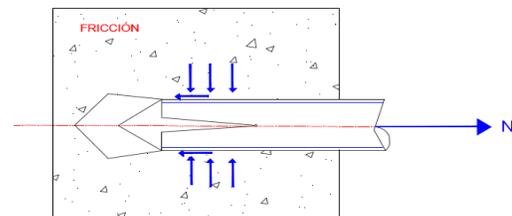


Figura 4: Aseguramiento por fricción.
Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor).

Sistemas de anclajes

Estos sistemas son un conjunto de elementos de acero que permiten recibir o transmitir cargas estructurales al concreto y pueden ser:

- Anclaje Preinstalado o Sistemas hormigonados “in situ” (Cast-in-Anchor).

- Anclaje Postinstalado o Sistemas instalados en concreto endurecido (Post-installed anchor).

Para este proyecto se estudiarán solamente los sistemas de anclajes preinstalados o sistemas hormigonados “in situ”.

Anclaje Preinstalado

Son sistemas donde los anclajes se instalan antes de colocar el concreto. Generalmente empleados cuando se conoce la posición exacta de colocación. Pueden ser:

- Anclajes embebidos no regulables.
- Conexiones abulonadas.
- Anclajes regulables.

Anclajes embebidos no regulables

Estos anclajes tienen un dispositivo de fijación o base de soporte en su extremo, como por ejemplo un lazo, una cabeza (cojinete), una tuerca o una placa, para mejorar las propiedades del método de anclaje y así desarrollar plenamente la resistencia potencial por enclavamiento mecánico. Existen varios tipos como:

- Bulones comunes (Ver figura 5)

- Bulones en “J” o “L” terminados en gancho. (Ver figura 6)
- Barras roscadas. (Ver figura 7)
- Acero de armaduras
- Insertos roscados
- Placas para soldadura de pernos

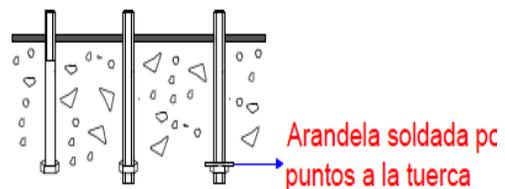


Figura 5 Bulones comunes

Fuente ACI 318 (rediseñado por el autor).

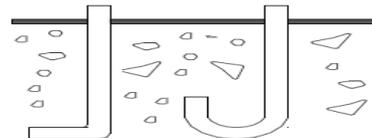


Figura 6: Pernos en “J” y en “L”.

Fuente: ACI 318 (rediseñado por el autor).



Figura 7: Barras roscadas.

Fuente: ACI 318 (rediseñado por el autor).

Conexiones abulonadas

Consisten en bulones con cabeza, tales como los conectores embebidos o instalados en agujeros pasantes. Empleado en

elementos estructurales delgados, especialmente en losas donde la profundidad efectiva de embebimiento sobrepasa el espesor de concreto.

Anclajes regulables

Permiten ajustar su posición, tanto lateral como en profundidad, Empleado para anclar elementos temporales y variables.

Materiales para los pernos de anclajes.

De acuerdo a lo establecido en el ASTM (1994), los aceros para los pernos de anclaje y barras con hilo que están permitidos son:

- ASTM A36/A36M
- ASTM A193/A193M
- ASTM A354
- ASTM A449
- ASTM A572/A572M
- ASTM A588/A588M
- ASTM F1554

El acero tipo ASTM F1554 es el material preferido para pernos de anclaje en sus diferentes grados (36, 55 y 105). El material más utilizado para pernos de anclaje es el acero ASTM F1554 Gr 36. Los Pernos de anclaje hechos de acero ASTM F1554 Gr 55 se usan cuando se tienen grandes tracciones debido a conexiones de momento o levantamiento asociado a volcamiento. Por otro lado, el acero ASTM F1554 Gr 105 es un acero de alta resistencia, y debe ser usado sólo cuando no es

posible desarrollar la resistencia requerida usando pernos más largos con acero Gr 36 o Gr 55.

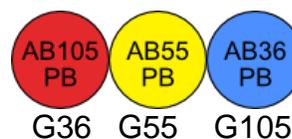
A este respecto, en la siguiente tabla, se puede observar información sobre el material ASTM F1554 en sus diferentes grados, esta representa valores correspondientes a la resistencia a tracción (f_{ut}) y a la resistencia especificada (f_y); además de los requisitos de alargamiento y reducción de área necesarios para determinar si un material se debe considerar como un acero frágil o como un acero dúctil, generalmente los materiales utilizados para la fabricar anclajes son de acero dúctil.

Grados F1554	Especificaciones
Grado 36	Bajo contenido de carbono, 36 ksi producen pernos de anclaje de acero
Grado 55	Alta resistencia, baja aleación, de 55 ksi pernos de anclaje de acero de rendimiento
Grado 105	De aluminio, con tratamiento térmico, alta resistencia 105 ksi pernos de anclaje de acero de rendimiento

Tabla 1: especificaciones F1554.

Fuente: ASTM-1994.

Calificación.



Propiedades mecánicas

Grado	Pulgada	Resist. Tracción. Ksi.	alarg. % min.	RA% Min.
36	1/2 - 4	58-80	23	40
55	1/2 - 2	75-95	21	30
	2 1/4 - 2 1/2	75-95	21	22
	2 3/4 - 3	75-95	21	20
	3 1/4 - 4	75-95	21	18
105	1/2 - 3	125-150	15	45

Tabla 2: Propiedades mecánicas (resistencia a tracción, alargamiento y Reducción de área). *nota: la resistencia a tracción para el diseño se debe tomar la menor.* Fuente: ASTM-1994

Propiedades mecánicas

Grado	pulgada	Rendimiento Min. Ksi	Rendimiento Mpa Min
36	1/2 - 4	36	248
55	1/2 - 2	55	380
	2 1/4 - 2 1/2	55	380
	2 3/4 - 3	55	380
	3 1/4 - 4	55	380
105	1/2 - 3	105	724

Tabla 3: propiedades mecánicas rendimiento. Fuente: ASTM-1994

Propiedades químicas. F1554 G36

Elemento	Tamaño hasta 3/4	Tamaños más de 3/4 a 1-1/2	Tamaños más de 1-1/2-4
Carbono (max)	0.26%	0.27%	0.28%
Manganeso	-----	0.60%-0.90%	0.60%-0.90%
Phosphorus, max	0.04%	0.04%	0.04%
El azufre, max	0.05%	0.05%	0.05%
Cobre, min (cuando se especifique)	0.20%	0.20%	0.20%

Tabla 4: Propiedades químicas F1554 G36. Fuente: ASTM-1994.

Propiedades químicas. F1554 G55 Y G105

Elemento	GRADO 55 Y 105
Carbono (max)	-----
Manganeso	-----
Phosphorus, max	0.040%
El azufre, max	0.050%
Cobre, min (cuando se especifique)	0.20%

Tabla 5: Propiedades químicas F1554 G55 Y G105.

Propiedades dimensionales de los anclajes in situ

Diámetro del anclaje (do) (in.)	Área bruta del anclaje (in.2)	Área efectiva del anclaje (Ase) (in.2)
0.250	0.049	0.032
0.375	0.110	0.078
0.500	0.196	0.142
0.625	0.307	0.226
0.750	0.442	0.334
0.875	0.661	0.462
1.000	0.785	0.606
1.125	0.994	0.763
1.250	1.227	0.969
1.375	1.485	1.160
1.500	1.767	1.410
1.750	2.405	1.900
2.000	3.142	2.500

Tabla 6: Propiedades dimensionales. Fuente: ASTM-1994

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A_{brg}) (in.2)

Diámetro del anclaje (do) (in.)	Cuadrada	Cuadrada pesada.	hexagonal	Hex. pesada
0.250	0.142	0.201	0.117	0.167
0.375	0.280	0.362	0.164	0.299
0.500	0.464	0.569	0.291	0.467

0.625	0.693	0.822	0.454	0.671
0.750	0.824	1.125	0.654	0.911
0.875	1.21	1.465	0.891	1.188
1.000	1.465	1.855	1.163	1.501
1.125	1.854	2.291	1.472	1.851
1.250	2.28	2.773	1.817	2.237
1.375	2.769	3.300	2.199	2.659
1.500	3.295	3.873	2.617	3.118
1.750	-----	-----	-----	4.144
2.000	-----	-----	-----	5.316

Tabla 6: Propiedades dimensionales.
Fuente: ASTM-1994.

Características de los Materiales Base

Se analizarán como materiales base para los anclajes al acero y al concreto, estudiando sus características generales y especificaciones empleadas en su aplicación.

Características del concreto

El hormigón o concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua, cuyo comportamiento como material base del sistema de anclaje ha sido producto de los últimos estudios, a partir de los años setenta del siglo pasado, por los investigadores de institutos, organizaciones y empresas especializadas en el tema, determinando que su importancia va más allá de la simple resistencia para las sollicitaciones requeridas por el elemento a fijarse en una estructura.

Los concretos se pueden clasificar según su tipo, según su peso y de acuerdo a su resistencia:

Tipo	Características
I	Uso general
II	Resistencia moderada a los sulfatos
II(MH)	Moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación
III	Alta resistencia inicial
IV	Bajo calor de hidratación
V	Alta resistencia a los sulfatos.

Tabla 7: Clasificación del concreto según su característica. Fuente: ASTM-1994.

Tipo	Peso específico (ton/m ³)
Pesado	Mayor a 3,7
Normal	2,3
Liviano estructural	Alrededor de 1,7
Liviano celular	Entre 1,3 y 1,5

Tabla 8: Clasificación del concreto según su peso. Fuente: ASTM-1994

Tipo de concreto	Resistencia (Kg/cm ²)
Baja resistencia	170-240
Común	240-460
Alta resistencia.	460-560

Tabla 9: Clasificación del concreto según su resistencia. Fuente: ASTM-1994

Según lo indicado en la FONDONORMA 1753:2006, las resistencias a compresión para concretos más utilizadas son 210 kgf/cm², 250 kgf/cm² y 280 kgf/cm², aunque se pueden utilizar otras resistencias para el concreto.

Características del acero

El acero estructural como material base, de los sistemas de anclaje ha sido estudiado de manera paralela al concreto, sabiendo que sus características dependen principalmente de sus propiedades físicas y químicas. Es así como se ha realizado ensayos para lograr mejorar la adherencia al concreto, protegerlo de ataques químicos, mejorar su método de aseguramiento.

Aunado a la situación, es importante recordar que el acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros), se moldean.

Porcentaje de Carbono	Denominación	Resistencia (kg/cm ²)
0.1-0.2	Aceros Extrasuaves	2600-3300
0.2-0.3	Aceros Suaves	3300-3800
0.3-0.4	Aceros Semisuaves	3800-4300
0.4-0.5	Aceros Semiduros	4300-4900
0.5-0.6	Aceros Duros	4900-5200
0.6-0.7	Aceros Extraduros	5200-5600
Más de 0.7	Aceros Especiales	

Tabla 6: composición del acero/resistencia. Fuente: ASTM-1994.

Como se puede inferir, la composición del acero es importante dentro del sistema de anclaje, tanto por su resistencia a las solicitaciones estructurales como a las exigencias de otro tipo de factores como las del medio ambiente donde es instalado, ataques químicos de sustancias propias del uso de la infraestructura, corrosión electroquímica y otros.

Resistencia a la tracción del acero

Esta característica es fundamental para el funcionamiento de los sistemas de anclaje, especialmente cuando se emplea elementos frágiles. Según las experimentaciones hechas, registradas en los códigos internacionales, el ACI recomienda que la resistencia específica del acero a tracción (*f_{uta}*), no debe superar al menor valor comparado entre la resistencia específica del acero del anclaje *1.9f_{ya}* y 8788.38 kgf/cm². Por lo que concluye que la resistencia nominal de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción *N_s* no debe exceder a:

$$N_s = \phi * n * A_{se} * f_{uta} \quad (Ec.3)$$

Donde:

N: es el número de anclajes.

A_{se}: es el área de sección efectiva.

ϕ : factor de reducción de la resistencia

$$A_{se} \geq \frac{N_u}{\phi * n * f_{ut}} \quad (\text{Ec.4})$$

RESISTENCIA AL CORTE DEL ACERO

Una característica importante del acero de anclaje, es su resistencia al corte, aunque teóricamente no sea apropiado calcular una falla asociada a esta, por su complejo comportamiento y la interacción con los esfuerzos de tracción y flexión. Por esto generalmente se asume que la falla ocurre al ser sobrepasada la capacidad a tracción, que es común, antes de la falla a corte.

Sin embargo, la resistencia a corte se puede calcular a través de la siguiente ecuación y de acuerdo a lo establecido en el ACI, Para anclajes individuales, se calcula de acuerdo a la (ecuación) mientras para sistemas de anclajes se calcula de acuerdo a la (ecuación).

$$\phi v_s = \phi * A_{se} * f_{ut} \quad (\text{Ec.5})$$

$$\phi v_s = \phi * n * 0,6 * A_{se} * f_{ut} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

n : es el número de anclajes.

A_{se} : es el área de sección efectiva.

ϕ : factor de reducción de la resistencia

f_{ut} : es la resistencia del material.

Espaciamiento mínimo de pernos y distancia mínima al borde.

Para evitar las fallas por hendimientos, se debe tomar en cuenta las distancias mínimas requeridas del anclaje hacia el borde, el espaciado entre anclajes, y el espesor del concreto; El espaciado mínimo entre centro y centro de los anclajes debe ser de 4da para anclajes preinstalados que no serán sometidos a torsión (da es el diámetro del perno), y 6da para anclajes preinstalados que serán sometidos a torsión.

Las distancias mínimas al borde para los anclajes con cabeza preinstalados que no serán torsionados deben basarse en los requisitos mínimos de recubrimiento para la protección del acero refuerzo de concreto. Para los anclajes con cabeza preinstalados que serán sometidos a torsión, la distancia mínima al borde es de 6da.

Factores de reducción de la resistencia

Los factores ϕ , se basan en el uso de f_{ut} para determinar la resistencia nominal del anclaje en vez de f_y como se usa en el diseño de elementos de concreto reforzado. A pesar de que los factores ϕ parecen bajos, estos conducen a un nivel de seguridad consistente; los factores ϕ menores para cortantes que para tracción no reflejan las diferencias básicas de los materiales, en cambio tienen en cuenta la posibilidad de una distribución no

uniforme del cortante en las conexiones con varios anclajes.

Resistencia determinada por	Factor de reducción de la resistencia ϕ	
Anclajes controlados por la resistencia de un acero dúctil. • Tracción • cortante	• 0.75 • 0.65	
Anclajes controlados por la resistencia de un elemento de acero frágil. • Tracción • Cortante	• 0.65 • 0.60	
Anclajes controlados por la resistencia al arrancamiento, desprendimiento lateral, extracción por deslizamiento o desprendimiento por cabeceo del anclaje. • Tracción • Cortante	Condición A	Condición B
	• 0.75 • 0.75	• 0.70 • 0.70
La condición A se aplica donde existe refuerzo suplementario excepto para resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje. La condición B se aplica donde no existe refuerzo suplementario, o donde controla la resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.		

Factores ambientales

Considerar el ambiente de servicio es fundamental para lograr una prolongada vida útil, especialmente en aquellas regiones en las cuales los anclajes pudieran estar en contacto con salpicaduras de agua marina o sales anticongelantes. El acero no protegido es particularmente vulnerable a la corrosión cuando permanece expuesto a las condiciones atmosféricas. En el caso de los anclajes de expansión, existe vulnerabilidad a la corrosión en la

región del mecanismo de expansión donde hay espacio disponible para permitir la acumulación de humedad. La corrosión reducirá la habilidad de los anclajes de funcionar satisfactoriamente, especialmente en el caso de los anclajes de expansión de torque controlado. En los ambientes corrosivos se debería considerar el uso de sistemas con recubrimientos protectores o el empleo de materiales resistentes a la corrosión. El uso de delgados revestimientos de zinc no proporcionará protección permanente contra la corrosión bajo condiciones de exposición exteriores normales. Un correcto detallado asegurará que el agua que escurre no pueda llegar a los anclajes en las áreas en las cuales hay presencia de nieve o sales anticongelantes. Se sabe que la alternancia de períodos de humedecimiento y secado ha producido corrosión incluso en ausencia de cloruros. Con frecuencia los bulones de anclaje se colocan en camisas para permitir un pequeño ajuste del bulón para poder unirlo a la base de fundación. Si la fundación está expuesta a temperaturas de congelamiento las camisas se deberían llenar con mortero o bien se debería de agua. Si una fundación estará expuesta a un ambiente agresivo se deberían sellar las luces entre las placas base de acero y la superficie de concreto. De manera similar, los

morteros de arena-cemento colocados en seco que están expuestos a condiciones de congelamiento y deshielo se deberían cubrir con un sellador para impedir la absorción de agua. En las áreas sujetas a temperaturas elevadas o que potencialmente estarán expuestas al fuego no se deben utilizar adhesivos químicos, sellos de plomo ni otros materiales que en temperaturas elevadas tienen una alta tasa de fluencia lenta. También puede ser necesario realizar investigaciones especiales para determinar los posibles efectos de los productos químicos utilizados en los procesos de las plantas industriales. La exposición intermitente puede ser una condición de servicio más severa que la exposición permanente.



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:

❖ Para un solo anclaje:

$$N_{cb} = \frac{AN}{ANo} * \Psi_1 * \Psi_2 * \Psi_3 * N_b \quad (\text{Ec.7})$$

❖ Para un grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = \frac{AN}{ANo} * \Psi_1 * \Psi_2 * \Psi_3 * \Psi_4 * N_b \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

AN: es el área proyectada de la superficie de falla de un anclaje o un grupo de anclajes.

ANo: es el área proyectada de la superficie de falla de un solo anclaje.

Área de fallas proyectadas AN y ANo

Según lo descrito en el ACI, para el cálculo de las áreas de fallas proyectadas, ANo es el área máxima proyectada para un solo anclaje. (Ver figura 8), mientras que AN es el área proyectada para un grupo de anclajes.

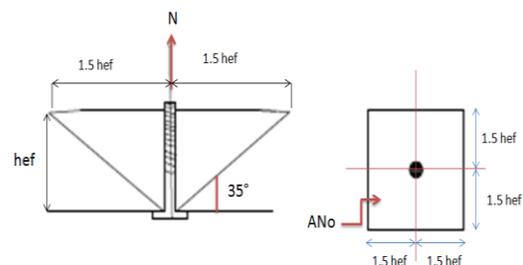


Figura 8: Corte a través de un cono de falla y vista de planta. Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

De acuerdo a esto se puede calcular ANo a través de la siguiente ecuación:

$$AN_o = 2 * 1.5hef * 2 * 1.5hef = 9hef^2 \quad (Ec.9)$$

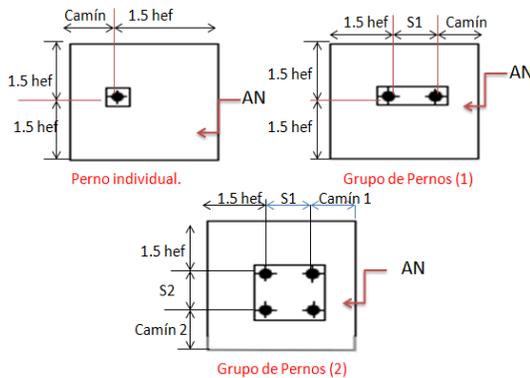


Figura 9: Ejemplos de cálculo de AN para anclajes individuales y grupos de anclajes. Fuente: ACI 318 (Rediseñado por el autor)

Para el caso de perno individual, mostrado en la figura anterior, se debe cumplir con la siguiente condición para que de esta manera el anclaje funcione adecuadamente.

$$Camín < 1.5hef \quad (Ec.10)$$

Por lo tanto AN será igual al área del rectángulo proyectado:

$$AN = Camín + 1.5hef \quad 2 * 1.5hef \quad (Ec.11)$$

Para el caso de Grupos de pernos (1), mostrado en la figura anterior, se pueden observar dos pernos en la cual se agrega la separación entre pernos la cual también se debe verificar que cumpla con las siguientes condiciones:

$$Camín < 1.5hef \quad (Ec.12)$$

$$S1 < 3hef \quad (Ec.13)$$

Por lo tanto AN será igual al área del rectángulo proyectado:

$$AN = Camín + S1 + 1.5hef \quad 2 * 1.5hef \quad (Ec.14)$$

Para el caso de Grupos de pernos (2), mostrado en la figura anterior, se pueden observar cuatro pernos en la cual se agrega la separación entre pernos la cual también se debe verificar que cumpla con las siguientes condiciones:

$$Camín 1 < 1.5hef \quad (Ec.15)$$

$$Camín 2 < 1.5hef \quad (Ec.16)$$

$$S1 < 3hef \quad (Ec.17)$$

$$S2 < 3hef \quad (Ec.18)$$

Por lo tanto AN será igual al área del rectángulo proyectado:

$$AN = Camín 1 + S1 + 1.5hef \quad Camín 2 + S2 + 1.5hef \quad (Ec.19)$$

Como se puede observar, el cálculo es constante y al aumentar el número de pernos se deben considerar las separaciones entre pernos; si los grupos de anclajes están colocados de tal manera que sus áreas proyectadas se traslapan, es necesario que el valor de AN sea reducido de acuerdo con ello.

Resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción (N_b)

La resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción embebido

en concreto fisurado, N_b , no debe exceder de:

$$N_b = 24 \overline{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad (\text{Ec.20})$$

FACTORES DE MODIFICACIÓN PARA ELEMENTOS A TRACCIÓN

Existen cuatro factores de modificación los cuales varían su valor dependiendo del caso en que se encuentre:

En este sentido, el factor de modificación para grupos de anclajes sometidos a cargas excéntricas a tracción Ψ_1 , este factor se aplica cuando hay múltiples filas de anclajes traccionados y se utiliza un enfoque de diseño elástico. En este caso se supone que cada fila individual de anclajes traccionados soporta diferentes niveles de carga con la resultante de la tracción aplicada con una excentricidad ($e'N$).

$$\Psi_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{e'N}{3h_{ef}}\right)} \quad (\text{Ec.21})$$

En este caso, solo se deben considerar los anclajes en tracción para determinar $e'N$. Pero Ψ_1 no debe tomarse mayor que la unidad.

Si se utiliza el enfoque de diseño plástico se supone que todos los anclajes soportan la misma carga y el factor de excentricidad, Ψ_1 , se toma igual a 1,0.

En cuanto, al factor de modificación de efectos de borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tracción Ψ_2 , este factor considera la distribución no uniforme de las tensiones para los anclajes ubicados próximos a un borde libre. Este se calcula como:

$$\Psi_2 = 1 \quad \text{si } C_{amin} \geq 1.5h_{ef} \quad (\text{Ec.22})$$

$$\Psi_2 = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{C_{amin}}{1.5h_{ef}} \quad \text{si } C_{amin} < 1.5h_{ef}$$

Mientras que, el efecto de modificación por zonas de fisuración Ψ_3 , este factor se toma igual a 1,0 cuando el anclaje está ubicado en una zona de un elemento donde un análisis indica que es probable que haya fisuración. Si el análisis indica que no es probable que bajo cargas de servicio se produzca fisuración se puede tomar Ψ_3 igual a 1,25 para anclajes preinstalados. Por último, el factor de modificación por hendimiento Ψ_4 , siempre será igual a la unidad para sistemas de anclajes preinstalados.

Resistencia a la extracción por deslizamiento

La resistencia nominal a la extracción por deslizamiento ϕN_p , en tracción de un anclaje preinstalado no debe exceder:

$$\phi N_p = \phi \cdot \Psi_4 \cdot A_{brg} \cdot 8 \cdot f'_c \quad (\text{Ec.23})$$

Donde:

ϕ : factor de reducción. (Siempre es igual a 0,70 para este caso).

Ψ_4 : factor de modificación.

A_{brg} : superficie de apoyo de la cabeza o tuerca.

f'_c : resistencia del concreto.

De esta manera, la superficie de apoyo se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$A_{brg} = \frac{N_u}{\phi * \Psi_4 * 8 * f'_c} \quad (\text{Ec. 24})$$

Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en tracción

El descascaramiento del recubrimiento lateral del hormigón se debe considerar si la distancia entre el centro del anclaje y el borde más próximo es menor que:

$$0,4 h_{ef} > C_{amin}. \quad (\text{Ec.25})$$

Dentro de este marco, para un anclaje individual con cabeza con un embebido profundo cercano a un borde ($h_{ef} > 2,5 C_{amin}$), la resistencia al desprendimiento lateral (N_{sb}), no debe exceder:

$$N_{sb} = 160 * C_{amin} * \overline{A_{brg}} * \overline{f'_c} \quad (\text{Ec.26})$$

En este mismo sentido, para un grupo de anclajes con cabeza con embebido profundo localizados cerca de un borde ($h_{ef} > 2,5 C_{amin}$) y con un espaciamiento entre los anclajes menores que $6C_{amin}$, la resistencia nominal de esos

anclajes susceptibles a falla por desprendimiento lateral del concreto N_{sb} no debe exceder:

$$N_{sb} = 1 + \frac{s}{6C_{amin}} N_{sb} \quad (\text{Ec.27})$$

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 cálculo con base en las propiedades del material del anclaje y las dimensiones físicas del anclaje. Cuando la resistencia al arrancamiento del concreto es uno de los modos potenciales de falla, la resistencia requerida del acero en cortante debe ser consistente con la superficie de falla de arrancamiento supuesta.

La resistencia nominal de un anclaje en cortante, V_{sa} , se cálculo de la siguiente manera para pernos con cabeza preinstalados:

$$V_{sa} = A_{se} * f_{uta} \quad (\text{Ec.28})$$

Donde:

A_{se} : es el área transversal efectiva.

f_{uta} : resistencia del acero

Para anclajes preinstalados de tornillo con cabeza o con gancho se calcula de la siguiente manera:

$$V_{sa} = 0,6 * A_{se} * f_{uta} \quad (\text{Ec.29})$$

Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje 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:

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

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{vo}} * \psi_5 * \psi_6 * \psi_7 * V_b \quad (\text{Ec.30})$$

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

$$V_{cbg} = \frac{A_v}{A_{vo}} * \psi_5 * \psi_6 * \psi_7 * \psi_8 * V_b \quad (\text{Ec.31})$$

Donde:

A_v : es el área proyectada de la superficie de falla.

A_{vo} : es el área proyectada para un anclaje individual.

V_b : resistencia básica al arrancamiento por cortante

En este mismo sentido, para fuerzas cortantes paralelas a un borde, se permite que V_{cb} o V_{cbg} sea el doble del valor de la fuerza cortante actúa perpendicular al borde. 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

Área proyectada de corte A_v y A_{vo}

De acuerdo a lo establecido en el ACI 318, A_v 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. Se puede evaluar a A_v como la base de medio tronco de pirámide proyectada a la cara lateral del elemento donde la parte superior de la media pirámide está definida por el eje de la fila de anclajes seleccionada como crítica. (Ver figura 10).

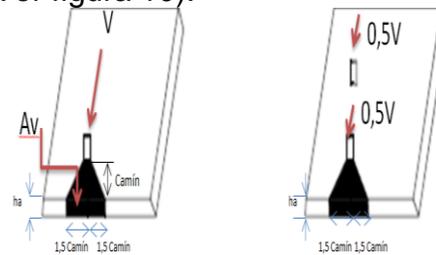


Figura 10: Cálculo de A_v . Fuente: ACI 318. (Rediseñado por el autor)

Mientras que, A_{vo} es el área proyectada para un anclaje individual en un elemento alto con una distancia al borde igual o mayor que $1,5 \text{ Camín}$, en dirección perpendicular a la fuerza cortante. Se permite evaluar A_{vo} como la base de una media pirámide con una longitud lateral paralela al borde de 3 Camín y una profundidad de $1,5 \text{ Camín}$.

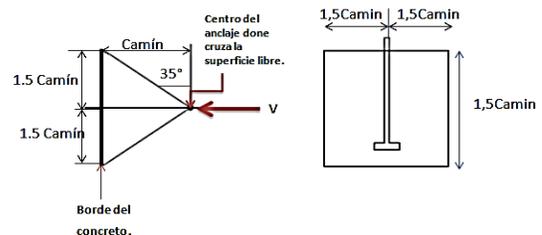


Figura: Cálculo de A_{vo} . Fuente 11: ACI 318. (Rediseñado por el autor).

Se puede apreciar, en la figura anterior, el área proyectada de falla por corte la cual se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$AV_o = 4,5 \text{ Camin}^2 \quad (\text{Ec.32})$$

En esta perspectiva, cuando los anclajes se encuentran ubicados a distintas distancias del borde de manera que se distribuyan la fuerza a todos los anclajes, se puede apreciar la resistencia basándose en la distancia desde el borde hasta la fila más alejada. En este caso, se puede basar el valor Camín en la distancia desde el borde de la fila de anclajes más alejada que fue seleccionada como crítica, y se debe suponer que toda la fuerza cortante será resistida solo por esta fila crítica de anclajes.

Resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto (Vb)

La resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto de un anclaje individual en concreto fisurado (Vb), se calcula a través de alguna de las siguientes ecuaciones:

$$V_b = \left(7 \frac{l_e}{d_o}\right)^{0.2} * \bar{d}_o * \bar{f}'_c * \text{Camin}^{1.5} \quad (\text{Ec.33})$$

Donde:

Le: es la longitud de apoyo de carga del anclaje en cortante es igual a hef

do: diámetro del perno.

f'c: resistencia del concreto.

Camín: separación mínima.

$$V_b = 9 \bar{f}'_c * (\text{Camin})^{1.5} \quad (\text{Ec.34})$$

Para los pernos preinstalados con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_b = \left(8 \frac{l_e}{d_o}\right)^{0.2} * \bar{d}_o * \bar{f}'_c * (\text{Camin})^{1.5} \quad (\text{Ec.35})$$

Factores de modificación para elementos a corte

Existen cuatro factores de modificación para anclajes sometidos a fuerzas cortantes, el primero de estos factores de modificación se aplica cuando la carga de corte aplicada no actúa en el baricentro de los anclajes solicitados a corte, es decir, son sometidos a cargas excéntricas (Ψ_5), este factor se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\Psi_5 = \frac{1}{\left(1 + \frac{2 e'v}{3 \text{ Camin}}\right)} \quad (\text{Ec.36})$$

Donde:

e'v: es la distancia desde donde es aplicada la carga cortante hasta el eje más desfavorable.

Camín: separación mínima al borde.

En esta perspectiva, el factor Ψ_5 , no debe tomarse mayor que la unidad. Si la carga en un grupo de

anclajes es tal que solo algunos anclajes se encuentran cargados en corte en la misma dirección, solo los anclajes que están cargados en corte en la misma dirección pueden ser considerados al determinar la excentricidad e'v. De igual manera, el factor de modificación para el efecto del borde (Ψ_6), para anclajes sencillos o grupos de anclajes cargados en cortante, este factor debe calcularse como se expresa a continuación:

$$\Psi_6 = 1,0 \text{ si } \text{Camin}2 \geq 1,5 \text{Camin}1 \text{ (Ec.37)}$$

$$\Psi_6 = 0,7 + 0,3 \frac{\text{Camin}2}{1,5 * \text{Camin}1} \text{ si } \text{Camin}2 < 1,5 \text{Camin}1 \text{ (Ec.38)}$$

Donde:

Camin1: es la distancia del centro del anclaje al borde, del lado con la misma dirección de la carga cortante.

Camin2: es la distancia del centro del anclaje al borde, del lado con la dirección opuesta de la carga cortante.

En cuanto, al factor por fisuración del concreto Ψ_7 , para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde el análisis indica que no hay fisuración debido a cargas de servicio se permite que Ψ_7 sea igual a 1,4. Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde el análisis indica fisuración para niveles de cargas de servicio, se permiten los

siguientes factores de modificación:

❖ Para anclajes en concreto fisurado sin refuerzo suplementario o con refuerzo de borde menor que una barra de diámetro No.4, Ψ_7 igual a 1,0.

❖ Para anclajes en concreto fisurado con refuerzo consistente en una barra de diámetro No.4, o mayor localizadas entre el anclaje y el borde, Ψ_7 igual a 1,2.

❖ Para anclajes en concreto fisurado con refuerzo consistente en una barra de diámetro No.4, o mayor, localizada entre el anclaje y el borde, y con el refuerzo confinado por estribos espaciados a no más de 4 pulg.

El factor de modificación para anclajes ubicados en un elemento de concreto, donde $h_a < 1,5 \text{Camin}$, Ψ_8 debe calcularse así:

$$\Psi_8 = \frac{1,5 \text{ Camin}}{h_a} \text{ (Ec.39)}$$

Donde:

Camín: separación mínima al borde.

h_a : espesor del concreto.

Pero Ψ_8 , no debe tomarse mayor que la unidad (1,0).

Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo sometido a cortante

La resistencia nominal al desprendimiento por cabeceo del anclaje causado por cortante, para un anclaje individual V_p y V_{pg} no debe exceder:

Para un solo anclaje:

$$V_p = k_p \cdot N_b \quad (\text{Ec.40})$$

Para un grupo de anclajes:

$$V_{pg} = k_p \cdot N_{bg} \quad (\text{Ec.41})$$

Donde N_b y N_{bg} se calculan de acuerdo a las (ecuaciones 7 y 8) y k_p es igual a 1,0 para $h_{ef} < 2,5$ pulg. Y k_p es igual a 2,0 para $h_{ef} > 2,5$ pulg.

Interacción de las fuerzas de tracción y cortante

El aspecto más importante de los requisitos para la interacción entre los esfuerzos de tracción y corte es que tanto la resistencia a tracción ϕN_n como la resistencia a corte ϕV_n , se debe tomar como la menor de las resistencias del anclaje, ya sea de aquellas controladas por la resistencia del acero o de aquellas relacionadas con el concreto. La interacción entre estas fuerzas se debe determinar a través de las siguientes condiciones:

❖ Si $V_u / (\phi V_n) \leq 0,2$ para la resistencia que gobierne en

cortante, entonces se permite usar la resistencia total en tracción: $\phi N_n \geq N_u$.

❖ Si $N_u / (\phi N_n) \leq 0,2$ para la resistencia que gobierne en tracción, entonces se permite usar la resistencia total a cortante: $\phi V_n \geq V_u$.

❖ Si $V_u / (\phi V_n) > 0,2$ para la resistencia que gobierne a cortante y $N_u / (\phi N_n) > 0,2$ para resistencia que gobierne en tracción, entonces:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,2 \quad (\text{Ec.42})$$

Refuerzo de los anclajes

Para condiciones donde la fuerza de cortante mayorada excede a la resistencia al arrancamiento del concreto del anclaje o anclajes a cortante, o donde la resistencia nominal puede ser aquella del refuerzo del anclaje anclado adecuadamente. Para asegurar la fluencia del refuerzo del anclaje, el refuerzo del anclaje que lo confina, debe estar en contacto con el anclaje y ubicado lo más cerca posible de la superficie del concreto.

En este mismo sentido, el doblez de mayor radio asociado con los diámetros de las barras más grandes puede reducir significativamente la efectividad del anclaje y por lo tanto, no se recomienda un refuerzo de anclaje con un diámetro mayor al No.6. el

refuerzo también puede consistir en estribos y amarres (así como horquillas) confinando el refuerzo de borde embebido en el cono de arrancamiento y colocado lo más cerca posible de los anclajes. En general solo los esfuerzos separados a menos del menor entre $0,5 C_{amin1}$ y $0,3 C_{amin2}$ medidos desde la línea central del anclaje, deben ser incluidos como refuerzos de anclajes.

Instalación e inspección de los anclajes

Los anclajes deben ser instalados por personal calificado de acuerdo con los documentos de construcción y, donde sea aplicable, las instrucciones del fabricante. Muchas características de comportamiento de los anclajes dependen de una instalación adecuada al anclaje. Para anclajes preinstalados, debe tenerse mucho cuidado que el anclaje este asegurado al encofrado y orientado de acuerdo a los documentos de la construcción, más aún debe tenerse cuidado que el concreto alrededor del anclaje quede adecuadamente consolidado. Para los anclajes roscados se debe utilizar una plantilla de metal o madera colocada sobre la superficie de hormigón, con tuercas a cada lado, para así sostener a los anclajes en la posición correcta mientras se coloca el hormigón, se le compacta y endurece.

Referencias Bibliográficas

Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05) and commentary (ACI 318R-05). (2005). Farmington Hills, Mich.

ASTM specifications for anchorage applications (anchor bolts). (1994). [Place of publication not identified].

1979, supplement to Code requirements for nuclear safety related concrete structures (ACI 349-76); and, Commentary on code requirements for nuclear safety related concrete structures (ACI 349-76). (1979). Detroit, Mich.

CHÁVEZ MERINO, N. (2016). Retrieved 31 March 2016, from http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-chavez_nm/pdfAmont/cf-chavez_nm.pdf

ASTM F1554 - Portland Bolt. (2016). *Portland Bolt*. Retrieved 31 March 2016, from <http://www.portlandbolt.com/technical/specifications/astm-f1554/>

Evaluating the performance of post-installed mechanical anchors in concrete (ACI 355.2-01) and commentary (ACI 355.2R-01). (2002). Farmington Hills, MI.

F1554 Grade 36 - F1554 Anchor Bolts. (2016). *F1554 Anchor Bolts*. Retrieved 31 March 2016, from <http://www.f1554anchorbolts.com/grade-36/>



Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ing. y ciencias aplicadas
Departamento de ingeniería civil
 Elaborado: José A. Paúl R
 Correo: josepaul1111@gmail.com
Tutor: Jhonatan A. Martínez G

MODELOS DE DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJES
PREINSTALADOS VOLUMEN 2.

1.-) Modelo de un anclaje individual.

Se desea diseñar un perno individual con cabeza, que estará sometido a una carga mayorada de 6000kgf a tracción. Con un $f'c$ igual a 250kg/cm². Con bordes libres y centrado en una losa. Primordialmente se debe determinar el diámetro y el material del anclaje.

Generalmente la resistencia de los sistemas de anclajes estará controlada por la resistencia del empotramiento, es decir, la adherencia al concreto y no por la resistencia del acero; es por esto que se recomienda utilizar un anclaje de acero dulce y no un acero de alta resistencia. La norma ASTM F1554 “nos especifica 3 tipos de acero con diferentes tensión de fluencia diferencia por 3 grados 36ksi (acero dulce), 55ksi (acero de rendimiento) y 105 ksi (acero de alto rendimiento)” esta especificación es la más recomendada para la elaboración de pernos, esta abarca los anclajes rectos y von gancho, con cabeza y sin cabeza.

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado36, con cabeza.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es:

$$\phi N_s \geq N_u \quad (\text{Ec.42})$$

Donde:

Nu: 6000kgf

ϕ : 0,75 (debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario $\phi=0,65$)

fut: 58000psi=4078kg/cm² (en la tabla 2 del manual 1 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre 1.9fy o 125000psi, para este caso 1.9(36000)=68400psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2 de acuerdo a las características del material).

Grado	Pulgada	Resist. Tracción. Ksi.	alarg. % min.	RA% Min.
36	1/2 - 4	58-80	23	40
55	1/2 - 2	75-95	21	30
	2 1/4 - 2 1/2	75-95	21	22
	2 3/4 - 3	75-95	21	20
	3 1/4 - 4	75-95	21	18
105	1/2 - 3	125-150	15	45

Figura 1: características mecánicas

Fuente: ASTM-1994

$$N_s = n A_{se} f_{ut}$$

- Calculo del área efectiva del anclaje.

$$A_{se} \geq \frac{N_u}{\phi f_{ut}}$$

$$A_{se} = \frac{6000}{0.75(1)(4078)} = 1.961 \text{ cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 2, un anclaje de 3/4 satisface este requisito. (A_{se}=2.154cm²).

Diámetro del anclaje (do) in.	Área bruta del anclaje (cm ²)	Área efectiva del anclaje (cm ²). (A _{se})	Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A _{brq}) (cm ²)			
			Cuadrada	Cuadrada pesada	Hexagonal	Hexagonal pesada
1/4	0.316	0.206	0.916	1.296	0.755	1.077
3/8	0.710	0.503	1.806	2.335	1.058	1.929
1/2	1.264	0.916	2.993	3.670	1.877	3.012
5/8	1.980	1.458	4.470	5.302	2.928	4.328
3/4	2.851	2.154	5.315	7.230	4.218	5.876
7/8	3.876	2.980	7.230	9.449	5.747	7.663
1	5.063	3.909	9.449	11.965	7.501	9.681
9/8	6.411	4.921	11.958	14.777	9.494	11.939
5/4	7.914	6.250	14.371	17.886	11.720	14.429
11/8	9.578	7.482	17.860	21.285	14.184	17.151

Figura 2: Propiedades dimensionales.

Fuente: ASTM-1994

- Comprobación de $\phi N_s \geq N_u$

$$\phi N_s = \phi (n \times A_{se} \times f_{ut})$$

$$\phi N_s = 0.75((1)(2.154)(4078)) = 6588,009 \text{ kgf}$$

$$6588,009 \text{ kgf} \geq 6000 \text{ kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

2.-) Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef})

- Calculo de profundidad efectiva.

$$(h_{ef}) = \left(\frac{N_u}{\phi \Psi_3 \cdot 24 \cdot \overline{f'_c}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

Ψ_3 : 1 (este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

Sustituyendo valores:

$$(h_{ef}) = \frac{6000}{0.70 \cdot 1 \cdot 24 \cdot \overline{250}}^{\frac{2}{3}} = 7.99 = 8 \text{ cm}$$

El requisito básico para un anclaje individual es:

$$\phi N_{cb} \geq U_n$$

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot N_b$$

Donde:

Ψ_2 : 1 (este factor es igual a la unidad para anclajes individuales alejados del borde o cuando $C_{amin} \geq 1.5h_{ef}$ en caso contrario $\Psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{C_{amin}}{1.5h_{ef}}$)

$$N_b = 24 \cdot \overline{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

$$N_b = 24 \sqrt{250} \cdot 8^{1.5} = 8586.50 \text{ kgf}$$

Comprobación que:

$$\phi N_{cb} \geq U_n$$

$$8586.50 \text{ kgf} \geq 6000 \text{ kgf}$$

Para el anclaje seleccionado un empotramiento de 8cm satisface las necesidades del diseño.

3.-) Determinar el tamaño y tipo de cabeza requerido para el anclaje.

$$\phi N_{pn} \geq N_u$$

Donde:

ϕ : 0,70 (siempre se utilizara este valor para el cálculo de la resistencia al arrancamiento del anclaje)

$$N_{pn} = \Psi_4 \cdot N_p$$

$$N_p = A_{brg} \cdot 8f''c$$

Ψ_4 : 1 (Este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

- Calculo de la superficie de apoyo de la cabeza y tuerca.

$$A_{brg} = \frac{N_u}{\phi \Psi_4 \cdot 8f''c}$$

$$A_{brg} = \frac{6000}{0.70 \cdot 1 \cdot 8(250)} = 4,28 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar en la tabla 2, se puede utilizar tuerca cuadrada, cuadrada pesada y hexagonal pesada. Utilizaremos una cuadrada con un $A_{brg} = 5,315 \text{ cm}^2$.

Diámetro del anclaje (do) in.	Área bruta del anclaje (cm ²)	Área efectiva del anclaje (cm ²) (Ase)	Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A _{brg}) (cm ²)			
			Cuadrada	Cuadrada pesada	Hexagonal	Hexagonal pesada
¼	0.316	0.206	0.916	1.296	0.755	1.077
3/8	0.710	0.503	1.806	2.335	1.058	1.929
1/2	1.264	0.916	2.993	3.670	1.877	3.012
5/8	1.980	1.458	4.470	5.302	2.928	4.328
¾	2.851	2.154	5.315	7.230	4.218	5.876
7/8	3.876	2.980	7.230	9.449	5.747	7.663
1	5.063	3.909	9.449	11.965	7.501	9.681
9/8	6.411	4.921	11.958	14.777	9.494	11.939
5/4	7.914	6.250	14.371	17.886	11.720	14.429
11/8	9.578	7.482	17.860	21.285	14.184	17.151

Figura 3: Propiedades dimensionales.
Fuente: ASTM-1994

- Compruebo que $\phi N_{pn} \geq N_n$.

$$N_{pn} = \Psi_4 \times (A_{brg} \times 8f'_c)$$

$$N_{pn} = (1)(5.31) \times 8(250) = 10620 \text{ kgf}$$

$$7434 \text{ kgf} \geq 6000 \text{ kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

Conclusión:

Se utilizará un perno de ¾ pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 8cm y una cabeza cuadrada.

DISEÑO DE PERNOS CON CABEZA PRÓXIMO A UN BORDE

Diseñar un grupo de dos pernos con cabeza, separados entre centro a 12cm y con un borde a 9cm, solicitados a una carga mayorada de 10000kgf y un $f'_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$. (Ver figura 12).

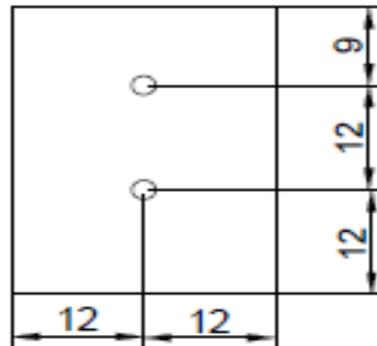


Figura 4: pernos con cabeza a un borde
Fuente: diseñado por el autor

1.-) Determinar el diámetro de los anclajes

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado 36, con cabeza.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es:

$$\phi N_s \geq N_u$$

Donde:

$N_u = 10000 \text{ kgf}$.

$\phi = 0,75$ (debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario $\phi = 0,65$)

$f_{ut} = 58000 \text{ psi} = 4078 \text{ kg/cm}^2$ (en la tabla 2 del manual 1 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre $1.9f_y$ o 125000 psi , para este caso $1.9(36000) = 68400 \text{ psi}$. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2 de acuerdo a las características del material)

$$N_s = n \times A_{se} \times f_{ut}$$

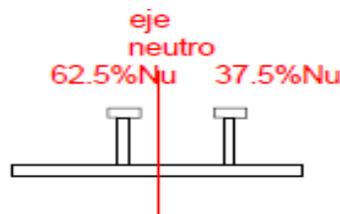


Figura 5: Distribución de carga a tracción
Fuente: diseñado por el autor

Para este ejemplo N_u para el diseño será aquel que este expuesto a mayor carga para este caso $62.5\% N_u = 6250 \text{ kgf}$

- Cálculo del área efectiva del anclaje

$$A_{se} \geq \frac{N_u}{\phi f_{ut}}$$

Donde:

$N_u: 6250 \text{ Kg}$

$\phi: 0.75$

$n: 2$

$f_{ut}: 4078 \text{ kgf/cm}^2$

$$A_{se} = \frac{6250}{0.75(2)(4078)} = 1.021 \text{ cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 2, un anclaje de 5/8 satisface este requisito. ($A_{se}=1.458 \text{ cm}^2$).

- Comprobación de $\phi NS \geq Nu$

$$\phi NS = \phi (n \times A_{se} \times f_{ut})$$

$$\phi NS = 0.75(2)(1.458)(4078) = 8918.586 \text{ kgf}$$

$$8918.586 \text{ kgf} \geq 6250 \text{ kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

2.-) Determinar la longitud de empotramiento (h_{ef}).

El requisito básico para un grupo de anclajes es:

$$\phi N_{cbg} \geq Nu$$

Donde:

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras Determinar AN y ANo).

Suplementarias en caso contrario será de 0,75)

$$N_{cbg} = \frac{AN}{ANo} \Psi_1 \times \Psi_2 \times \Psi_3 \times N_b$$

- Calculo de profundidad efectiva.

$$(h_{ef}) = \left(\frac{Nu}{\phi \Psi_3 \times 24 \bar{f}'_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

$\Psi_3 = 1$ (este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

$\phi = 0.70$ (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

Sustituyendo valores:

$$(h_{ef}) = \frac{6250}{0.70 \cdot 2 \cdot 24 \cdot \frac{2}{300}} = 4.86 = 5 \text{ cm}$$

AN: es el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (Camin), de $1,5(h_{ef})$.

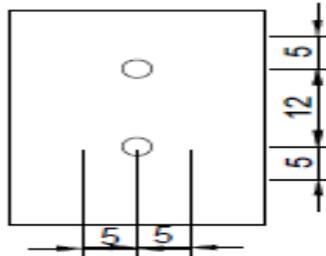


Figura 6: área proyectada modelo 2
Fuente: diseñada por el autor

Por lo tanto:

$$\text{Camin} = 1,5(5) = 7.5 \text{ cm}$$

$$\text{AN} = (7.5 + 12 + 7.5) (7.5 + 7.5) = 405 \text{ cm}^2$$

$$\text{ANo} = 9h_{ef}^2 = 9(5)^2 = 225 \text{ cm}^2$$

Verificar:

$$\text{AN} \leq n \text{ ANo} \quad 405 \text{ cm}^2 \leq (2) (225 \text{ cm}^2)$$

$$405 \text{ cm}^2 \leq 450 \text{ "CUMPLE"}$$

Donde:

Ψ_1 : 1 (la carga es concéntrica)

Ψ_2 : 1 ($\text{Camin} \leq 1.5h_{ef}$); $\Psi_2 = 0,7 + 0,3 \left(\frac{\text{Camin}}{1,5(h_{ef})} \right) = \Psi_2 = 0,7 + 0,3 \left(\frac{10,5}{1,5(7)} \right) = 1$

Ψ_3 : 1 (zona de posible fisuramiento)

- Calculo Nb.

$$\text{Nb} = 24 \overline{f_c} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

$$\text{Nb} = 24 \cdot 300 \cdot 5^{1.5} = 4647.58 \text{ kgf}$$

- Comprobación de $\phi N_{cbg} \geq U_n$

$$\phi N_{cbg} = \frac{405}{450} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4647.58 = 4182.822 \text{kgf}$$

3.-) determinar el tamaño y forma de la cabeza de los pernos.

$$\phi N_{pn} \geq N_u$$

Donde:

ϕ : 0,70 (siempre se utilizara este valor para el cálculo de la resistencia al arrancamiento del anclaje)

$$N_{pn} = \Psi_4 \cdot N_p$$

$$N_p = A_{brg} \cdot 8f_c$$

Ψ_4 : 1 (Este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

- Calculo de la superficie de apoyo de la cabeza y tuerca.

$$A_{brg} = \frac{N_u}{\phi \Psi_4 \cdot 8f_c}$$

$$A_{brg} = \frac{6250}{0.70 \cdot 1 \cdot 8(300)} = 3.72 \text{cm}^2$$

Como se puede observar en la tabla 2, se puede utilizar tuerca cuadrada, cuadrada pesada, hexagonal y hexagonal pesada. Utilizaremos una hexagonal con un $A_{brg} = 3.73 \text{cm}^2$

- Compruebo que $\phi N_{pn} \geq N_n$

$$N_{pn} = \Psi_4 \times (A_{brg} \times 8f_c)$$

$$N_{pn} = (1)(3.73) \times 8(300) = 8952 \text{kgf}$$

$$8952 \text{kgf} \geq 6250 \text{kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

4.-) Determinar descascaramiento del concreto

Este se evalúa si $0.4h_{ef}$ es mayor a la distancia al borde más próximo, para nuestro caso es de 9cm.

0.4 (5cm)>9cm 2cm>9cm “NO CUMPLE”

Conclusión:

Se utilizara un sistema de pernos de 5/8 pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 7cm y una cabeza hexagonal.

DISEÑO DE GRUPO DE CUATRO PERNOS CON CABEZA

Diseñar un grupo de cuatro pernos con cabeza separados entre centros 15cm. En cada dirección, solicitados a una carga concéntrica permanente de 9800kgf. El grupo de anclajes se va a instalar en el fondo de una losa de 20cm de altura y un $f'c=250\text{kgf/cm}^2$. (Ver detalles en figuras 15 y 16).

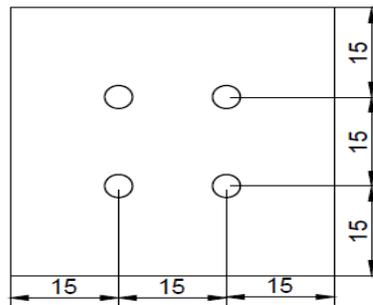


Figura 7: Vista de planta del modelo 3
Fuente: Diseñado por el autor

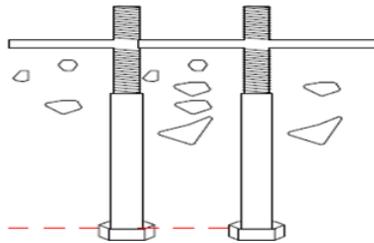


Figura 8: Vista lateral del modelo 3
Fuente: Diseñado por el autor

1.-) Determinar la carga de diseño.

$$1.4 \text{ cp} = 1.4 \cdot 9800 = 13720\text{kgf}$$

2.-) Determinar el diámetro de los anclajes.

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado36, con cabeza.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es:

$$\phi NS \geq Nu$$

Donde:

Nu: 13720kgf

ϕ : 0,75 (debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario $\phi=0,65$)

fut: 58000psi=4078kg/cm² (en la tabla 2 del manual 1 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre 1.9fy o 125000psi, para este caso 1.9(36000)=68400psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2 de acuerdo a las características del material). (Ver figura 14).

$$NS = n \times Ase \times fut$$

- Calculo del área efectiva del anclaje

$$Ase \geq \frac{Nu}{\phi n fut}$$

Donde:

Nu: 13720Kgf

ϕ : 0.75

n: 4

fut: 4078kgf/cm²

$$Ase = \frac{13720}{0.75(4)(4078)} = 1.121 \text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 1 del manual 2, un anclaje de 5/8 satisface este requisito. (Ase=1,458cm²).

- Comprobación de $\phi NS \geq Nu$

$$\phi NS = \phi (n \times Ase \times fut)$$

$$\phi NS = 0.75((4) (1,458)(4078)) = 17837.172 \text{kgf}$$

$$17837.172 \text{kgf} \geq 13720 \text{kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

3.-) Determinar la longitud de empotramiento (hef)

El requisito básico para un grupo de anclajes es:

$$\phi N_{cbg} \geq N_u$$

Donde:

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

$$N_{cbg} = \frac{A_N}{A_{N0}} \psi_1 \times \psi_2 \times \psi_3 \times N_b$$

- Calculo de profundidad efectiva

$$(hef) = \frac{N_u}{\psi_3 \cdot 24 \cdot \sqrt[2]{f_c}}$$

Donde:

ψ_3 : 1 (este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

Sustituyendo valores:

$$(hef) = \frac{13720}{0.70 \cdot 4 \cdot 24 \cdot \sqrt[2]{250}} = 5.50 = 6 \text{ cm}$$

- Determinar A_N y A_N

A_N = es el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (Camín), de $1,5(hef)$.

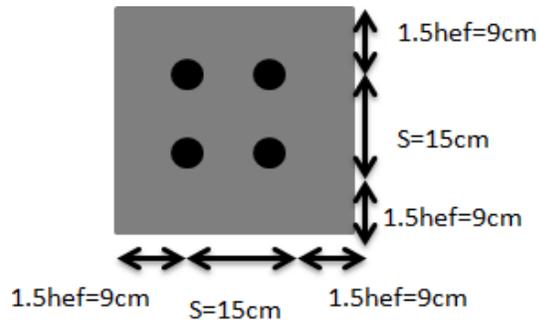


Figura 9: área proyectada modelo 2
Fuente: diseñada por el autor

Por lo tanto:

$$\text{Camin} = 1,5(6) = 9\text{cm}$$

$$A_N = (9 + 15 + 9)(9 + 15 + 9) = 1089\text{cm}^2$$

$$A_{No} = 9\text{hef}^2 = 9(6)^2 = 324\text{cm}^2$$

Verificar:

$$A_N \leq n A_{No} \quad 1089\text{cm}^2 \leq (4)(324\text{cm}^2)$$

$$1089\text{cm}^2 \leq 1296 \quad \text{"CUMPLE"}$$

Donde:

Ψ_1 : 1 (la carga es concéntrica)

Ψ_2 : 1 (Camin \geq 1.5hef)

Ψ_3 : 1 (zona de posible fisuramiento)

- Cálculo N_b .

$$N_b = 24 \overline{f'_c} \text{hef}^{1.5}$$

$$N_b = 24 \overline{250} * 6^{1.5} = 5577\text{kgf}$$

- Comprobación de $\phi N_{cbg} \geq U_n$

$$\phi N_{cbg} = \frac{1089}{324} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5577 = 18744.91\text{kgf}$$

4.-) determinar el tamaño y forma de la cabeza de los pernos.

$$\phi N_{pn} \geq N_u$$

Donde:

ϕ : 0,70 (siempre se utilizara este valor para el cálculo de la resistencia al arrancamiento del anclaje)

N_{pn} : $\Psi_4 \cdot N_p$

N_p : $A_{brg} \cdot 8f_c$

Ψ_4 : 1 (Este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

- Calculo de la superficie de apoyo de la cabeza y tuerca.

$$A_{brg} = \frac{N_u}{\phi \Psi_4 \cdot 8f_c}$$

$$A_{brg} = \frac{13720}{0.70 \cdot 1 \cdot 8(250)} = 9,8 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar en la tabla 2 del manual 2, se puede utilizar tuerca cuadrada, cuadrada pesada y hexagonal pesada. Utilizaremos una cuadrada con un $A_{brg} = 9.82 \text{ cm}^2$

- Compruebo que $\phi N_{pn} \geq N_u$

$$N_{pn} = \Psi_4 \times (A_{brg} \times 8f_c)$$

$$N_{pn} = (1)(9.82) \times 8(250) = 19640 \text{ kgf}$$

$$19640 \text{ kgf} \geq 13720 \text{ kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

5.-) Determinar descascaramiento del concreto.

Este se evalúa si $0.4h_{ef}$ es mayor a la distancia al borde más próximo, para nuestro caso es de 9cm.

$$0.4 (6\text{cm}) > 9\text{cm} \quad 2.4\text{cm} > 9\text{cm} \text{ "NO CUMPLE"}$$

Conclusión:

Se utilizara un sistema de pernos de 5/8 pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 6cm y una cabeza cuadrada.

DISEÑO DE UN GRUPO DE BULONES EN L

Se desea diseñar un grupo de 6 bulones en L con las separaciones ilustradas (figura 18 y 19); este grupo de bulones soportara una carga de tracción ya mayorada de 17000kgf y un $f'c=300\text{kgf/cm}^2$

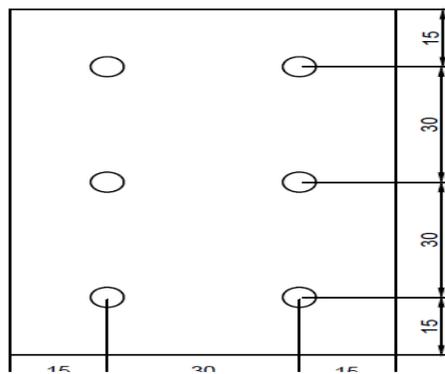


Figura 10: vista de planta grupo de 6 pernos
Fuente: diseñado por el autor

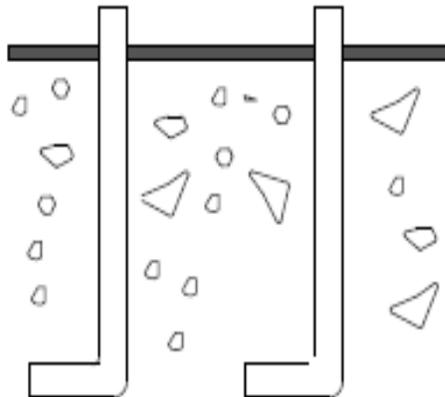


Figura 11: Anclajes en "L"
Fuente: diseñado por el autor

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado36.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es:

$$\phi NS \geq U_n$$

Donde:

Nu: 17000kgf

ϕ : 0,75 (debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario $\phi=0,65$)

fut: 58000psi=4078kg/cm² (en la tabla 2 del manual 1 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre 1.9fy o 125000psi, para este caso 1.9(36000)=68400psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo que sería el especificado en la tabla 2 de acuerdo a las características del material)

$$NS=n \times Ase \times fut$$

- Calculo del área efectiva del anclaje

$$Ase \geq \frac{Nu}{\phi n fut}$$

Donde:

Nu: 17000Kgf

ϕ : 0.75

n: 6

fut: 4078kgf/cm²

$$Ase = \frac{17000}{0.75(6)(4078)} = 0.926 \text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 1 del manual 2, un anclaje de 5/8 satisface este requisito. (Ase=1,458cm²).

- Comprobación de $\phi NS \geq Nu$

$$\phi NS = \phi (n \times Ase \times fut)$$

$$\phi NS = 0.75((6) (1,458)(4078)) = 17837.172 \text{kgf}$$

$$26755.758 \text{kgf} \geq 17000 \text{kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

1.-) Determinar la longitud de empotramiento (hef).

El requisito básico para un grupo de anclajes es:

$$\phi Ncbg \geq Nu$$

Donde:

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

$$N_{cbg} = \frac{A_N}{A_{No}} \Psi_1 \times \Psi_2 \times \Psi_3 \times N_b$$

- Calculo de profundidad efectiva.

$$(h_{ef}) = \frac{N_u}{\phi \Psi_3 \cdot 24 \cdot f'_c}^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

Ψ_3 : 1 (este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

Sustituyendo valores:

$$(h_{ef}) = \frac{17000}{0.70 \cdot 6 \cdot 24 \cdot 300}^{\frac{2}{3}} = 9.73 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

- Determinar A_N y A_{No}

A_N = es el area proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (Camin), de 1,5(h_{ef})

Por lo tanto:

$$\text{Camin} = 1,5(10) = 15 \text{ cm}$$

$$A_N = (15+30+15)(15+30+30+15) = 5400 \text{ cm}^2$$

$$A_{No} = 9h_{ef}^2 = 9(10)^2 = 900 \text{ cm}^2$$

Verificar:

$$A_N \leq n A_{No} \quad 5400 \text{ cm}^2 \leq (6)(900 \text{ cm}^2)$$

$$5400\text{cm}^2 \leq 5400\text{cm}^2 \text{ "CUMPLE"}$$

Donde:

Ψ_1 : 1 (la carga es concéntrica)

Ψ_2 : 1 ($Camin \geq 1.5h_{ef}$)

Ψ_3 : 1 (zona de posible fisuramiento)

- Calculo N_b

$$N_b = 24 \bar{f}'c * h_{ef}^{1.5}$$

$$N_b = 24 \overline{300} * 10^{1.5} = 13145.34\text{kgf}$$

- Comprobación de $\phi N_{cbg} \geq U_n$

$$\phi N_{cbg} = \frac{5400}{900} 1 1 1 13145.34 = 78872.04\text{kgf}$$

2.-) determinar la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕN_{pn}).

$$\phi N_{pn} = \phi \Psi_4 N_p$$

$$N_p = 0.9 \bar{f}'c e_h d_o$$

Donde:

(d_o): diámetro del perno.

e_h : máximo valor efectivo.

- Calculo máximo valor efectivo

$$E_h = 4.5 (d_o) = 4.5 (1.5875) = 7.14\text{cm}$$

- Calculo N_p

$$N_p = 0.9 (300) (7.14) (1.5875) = 3060.382\text{kgf}$$

- Calculo de ϕN_{pn}

$$\phi N_{pn} = (0.70)(1)(3060.382) = 2142.26\text{Kgf}$$

3.-) Resistencia al descascaramiento

Como en este caso estamos utilizando anclajes en forma de L el descascaramiento no aplica para este caso.

Conclusión:

Se utilizara un sistema de pernos de 5/8 pulg. De acero ASTM F G36° con una profundidad de empotramiento de 10cm y una cabeza Hexagonal.

DISEÑO DE UN GRUPO DE OCHO PERNOS

Diseñar un grupo de 8 bulones con la separación indicada; este sistema de anclajes está sometido a una carga a tracción de 15000kgf y una carga de corte debido al viento de 3000kgf y un $f'c=300$. Ver detalles (figura 20).

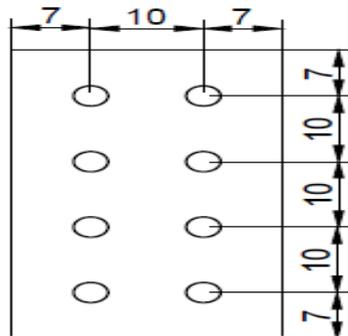


Figura 20: Vista de planta de ocho pernos
Fuente: Diseñado por el autor

Para este ejemplo vamos a suponer un anclaje de acero ASTM 1554 grado 36, con cabeza.

El requisito básico que se debe cumplir para el acero del anclaje es:

$$\phi N_s \geq N_u$$

Donde:

N_u : 15000kgf

ϕ : 0,75 (debido a que el acero ASTM G36° satisface los requisitos de acero dúctil, en caso contrario $\phi=0,65$)

f_u : 58000psi=4078kg/cm² (en la tabla 2 del manual 1 encontramos que la Resistencia a tracción mínima es de 58 ksi, sin embargo hay que considerar que se debe tomar la menor resistencia entre $1.9f_y$ o 125000psi, para este caso $1.9(36000)=68400$ psi. Por lo tanto controla el diseño el valor mínimo

que sería el especificado en la tabla 2 de acuerdo a las características del material)

$$NS=n \times Ase \times fut$$

- Calculo del área efectiva del anclaje

$$Ase \geq \frac{Nu}{\phi n fut}$$

Donde:

Nu:15000Kgf

ϕ : 0.75

n: 8

fut: 4078kgf/cm²

$$Ase = \frac{15000}{0.75(8)(4078)} = 0.613 \text{cm}^2$$

De acuerdo a la tabla 1 de manual 2, un anclaje de 1/2 satisface este requisito. (Ase=0,916cm²).

- Comprobación de $\phi NS \geq Nu$

$$\phi NS = \phi (n \times Ase \times fut)$$

$$\phi NS = 0.75((8) (0.916)(4078)) = 22412.688 \text{kgf}$$

$$22412.688 \text{kgf} \geq 15000 \text{kgf} \text{ "CUMPLE"}$$

1.-) Determinar la longitud de empotramiento (hef).

El requisito básico para un grupo de anclajes es:

$$\phi Ncbg \geq Nu$$

Donde:

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

$$Ncbg = \frac{AN}{ANo} \Psi_1 \times \Psi_2 \times \Psi_3 \times Nb$$

- Cálculo de profundidad efectiva.

$$(h_{ef}) = \left(\frac{N_u}{\phi \Psi_3 * 24 \overline{f'_c}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

Ψ_3 : 1 (este factor no debe tomarse mayor que la unidad y puede variar según el eje neutro de los anclajes y la cantidad que estén sometidos a tracción)

ϕ : 0.70 (para este caso ya que no se menciona estructuras suplementarias en caso contrario será de 0,75)

Sustituyendo valores:

$$(h_{ef}) = \left(\frac{15000}{0.70 \cdot 8 \cdot 24 \cdot \frac{300}{300}} \right)^{\frac{2}{3}} = 3.46 \text{ cm} = 4 \text{ cm}$$

- Determinar AN y ANo

AN: es el área proyectada de falla, la cual se aproxima a un rectángulo con sus lados ubicados a una separación mínima (Camin), de 1,5(h_{ef})

Por lo tanto:

$$\text{Camin} = 1,5(4) = 6 \text{ cm}$$

$$AN = (7+10+7)(7+10+10+10+7) = 1056 \text{ cm}^2$$

$$ANo = 9h_{ef}^2 = 9(4)^2 = 144 \text{ cm}^2$$

Verificar:

$$AN \leq n ANo \quad 7200 \text{ cm}^2 \leq (8)(144 \text{ cm}^2)$$

$$1056 \text{ cm}^2 \leq 1152 \text{ cm}^2 \text{ "CUMPLE"}$$

Donde:

Ψ_1 : 1 (la carga es concéntrica)

Ψ_2 : 1 (Camin \geq 1.5h_{ef})

Ψ_3 : 1 (zona de posible fisuramiento)

- Calculo Nb

$$Nb=24 \bar{f}'c * hef^{1.5}$$

$$Nb=24 \bar{300} * 6^{1.5} = 6109.40 \text{kgf}$$

- Comprobación de $\phi Ncbg \geq Un$

$$\phi Ncbg = \frac{1056}{144} 1 1 1 6109.40 = 44802.267 \text{kgf}$$

2.-) determinar la resistencia al arrancamiento del anclaje por tracción (ϕNpn).

$$\phi Npn = \phi \Psi 4 Np$$

$$Np = 0.9 f'c eh do$$

Donde:

(do)=diámetro del perno.

eh= máximo valor efectivo.

- Calculo máximo valor efectivo

$$Eh = 4.5(do) = 4.5(1.27) = 5.715 \text{cm}$$

- Calculo Np.

$$Np = 0.9 (300)(5.715)(1.27) = 1959.673 \text{ kgf.}$$

- Calculo de ϕNpn .

$$\phi Npn = (0.70)(1)(1959.673) = 1371.771 \text{ Kgf}$$

3.-) Resistencia al descascaramiento.

$$0.4hef > \text{Camín} \quad 0.4(4\text{cm}) > 6\text{cm}$$

$$1.6\text{cm} < 6\text{cm} \quad \text{"NO CUMPLE"}$$

Por lo tanto no se considera la Resistencia al descascaramiento.

4.-) Resistencia al corte de diseño. (ϕV_n).

- Calculo resistencia del acero (ϕV_s).

$$\phi V_s = \Phi n \times 0.6 \times Ase \times fut$$

$$\phi V_s = 0.65 \cdot 8 \times 0.6 \times 0,916 \times 4078 = 11654.59Kgf$$

- Calculo de resistencia al desprendimiento (ϕV_{cbg})

Los dos anclajes más próximos al borde controlaran la resistencia al desprendimiento.

$$V_{cbg} = \Phi \frac{A_v}{A_{vo}} \Psi_5 \Psi_6 \Psi_7 V_b$$

Como no se dispone de armadura suplementaria $\Phi=0.70$

- Calculo de de A_v y A_{vo}

El área de falla se aproxima a un rectángulo

$$1,5Camin = 1.5 (6) = 9cm$$

$$A_v = (9cm)(7cm + 10cm + 7cm) = 216cm^2$$

$$A_{vo} = 4.5 Camín = 4.5 (6) = 27cm^2$$

$$A_v \leq n A_{vo}$$

$$216cm^2 \leq 8(27)$$

$$216cm^2 \leq 729cm^2$$

- Calculo Ψ_5, Ψ_6 y Ψ_7

$$\Psi_5 = 1 (\text{no hay excentricidad})$$

$$\Psi_6 = 0.7 + 0.3 \frac{Camin}{1.5 Caminb}$$

$$Camin < 1.5 Camb \quad 6 < 1.5 (7) = 6 < 10.5$$

$$\Psi_6 = 0.7 + 0.3 \frac{6}{10.5} = 0.87$$

$$\Psi_7 = 1$$

- Calculo V_b .

$$V_b = 7 \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.2} \overline{d_o} \overline{f'_c} \times \text{camin}^{1.5}$$

Donde:

$(l) = 10.16 \text{ cm}$ (longitud de apoyo de la carga del anclaje para corte, que debe ser menor o igual a $8d_o$) $= 8(1.27 \text{ cm}) = 10.16 \text{ cm}$.

$$V_b = 7 \left(\frac{10.16}{1.27} \right)^{0.2} \overline{1.27} \overline{300} \times 6^{1.5} = 3043.72 \text{ kgf}$$

$$V_{cbg} = 0.70 \left(\frac{216}{27} \right) 1 \cdot 0.87 \cdot 1 \cdot 3043.72 = 14829 \text{ kgf}$$

- Calculo la resistencia total a corte.

$$\Phi V_{cbg} = n V_{cbg}$$

Donde:

$(n) =$ al número de pernos sometidos a cortante más cercanos al borde libre.

$$\Phi V_{cbg} = 2 \cdot 14829 = 29658.00 \text{ kgf}$$

- Calculo la resistencia al arrancamiento del hormigón.

Este caso solo se debe considerar para anclajes rígidos y con poca longitud de empotramiento.

$$\Phi V_{cp} = \Phi K_{cp} \times N_{cb}$$

Donde:

$$\Phi = 0.70$$

$K_{cp} = 2$ para $h_{ef} \geq 5.08$, para caso contrario es igual a 3.

- Cálculo Ncb.

Si no hay carga concéntrica $N_{cb}=N_{cbg}$; en caso contrario

$$N_{cb} = \frac{AN}{ANO} \Psi_2 \Psi_3 N_b$$

$$\Phi V_{cp} = 0.70 \times 3 \times 44802.267 = 94084.76 \text{Kgf}$$

Nota: el menor valor entre (ΦV_s) , (ΦV_{cbg}) y (ΦV_{cp}) controlará el diseño por corte. En nuestro caso $\Phi V_s = 11654.59 \text{Kgf}$ controla el diseño.

- Comprobación de los esfuerzos por tracción y corte.

$$V_u = 3000 \text{Kgf} \quad \text{Si } V_u \leq 0.2 \Phi V_n$$

$$0.2 \Phi V_n = 0.2(14829) = 2965.8 \text{kgf} < 3000 \text{kgf}$$

Por lo tanto no se puede considerar la totalidad de la resistencia a tracción.

Si $N_u \leq 0.2 \Phi N_n$ se permite considerar la totalidad de la resistencia al corte de diseño.

$N_u: 15000 \text{kgf}$

$$0.2 \Phi N_n = 0.2(1371.771) = 274.354 \text{kgf} < 15000 \text{kgf}$$

Como "NO SE CUMPLE" se debe realizar una interacción entre la resistencia a tracción y la de corte.

$$\frac{N_u}{\Phi N_n} + \frac{V_u}{\Phi V_n} \leq 1.2$$

$$\frac{15000}{14829} + \frac{3000}{11654.59} = 1.2 \leq 1.2$$

Conclusión:

Utilizaremos pernos de $\frac{1}{2}$ de acero ASTM F1554 G36°, con una profundidad de empotramiento de 4cm.



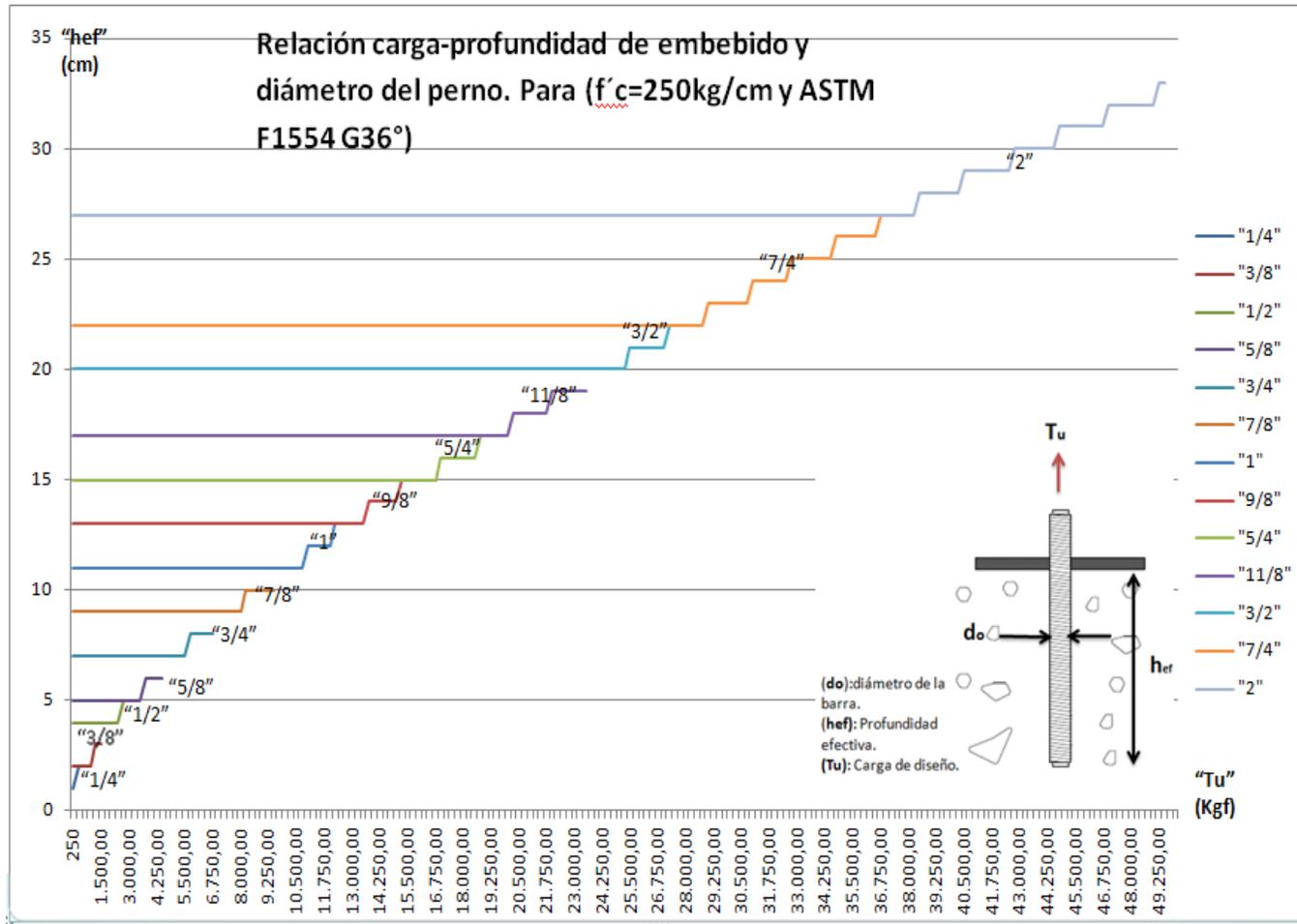
Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ing. y ciencias aplicadas
Departamento de ingeniería civil
 Elaborado: José A. Paúl R.
 Correo: josepaul1111@gmail.com
Tutor: Jhonatan A. Martínez G

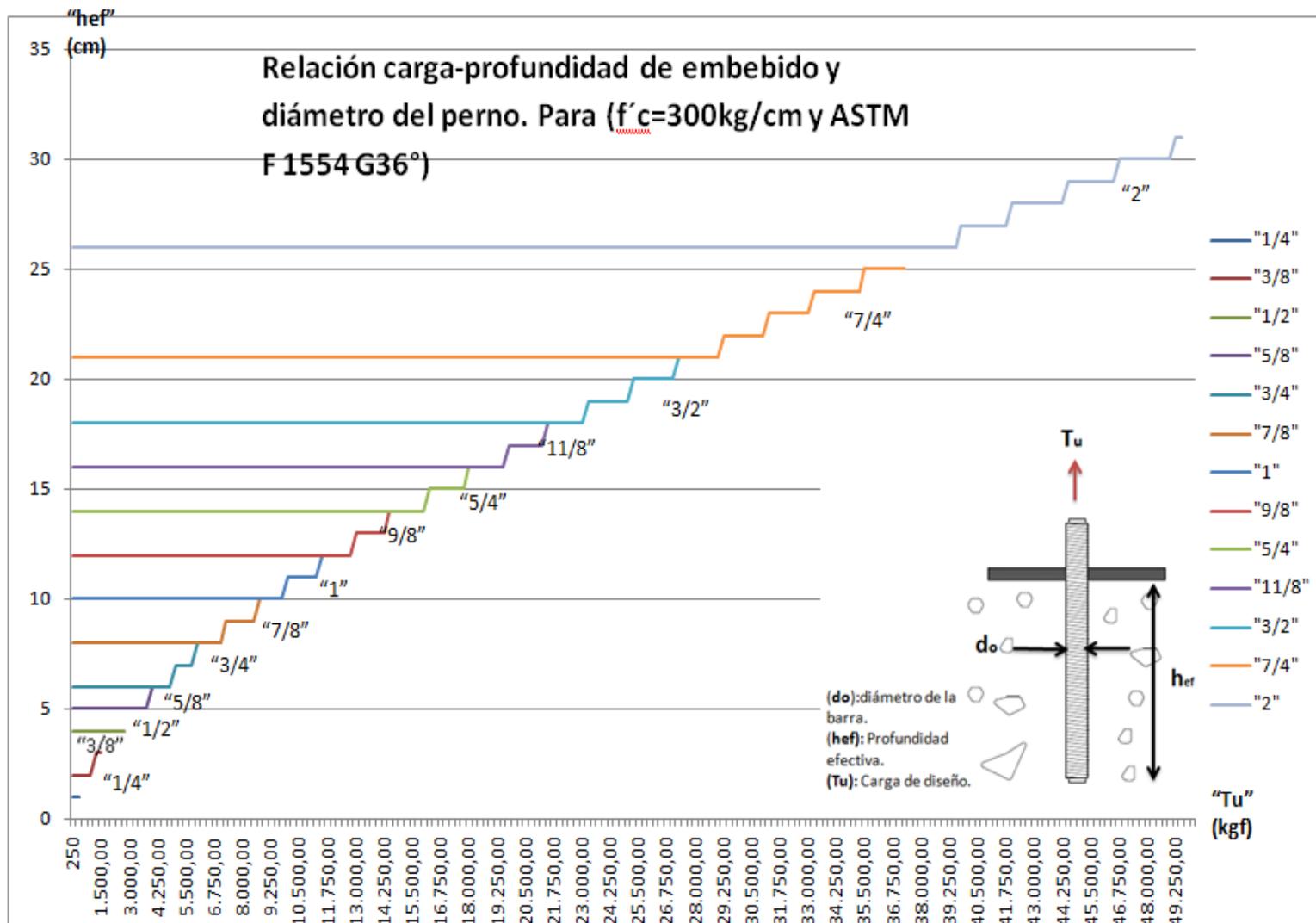
FLUJOGRAMA PARA EL DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJES PREINSTALADOS VOLUMEN 3.

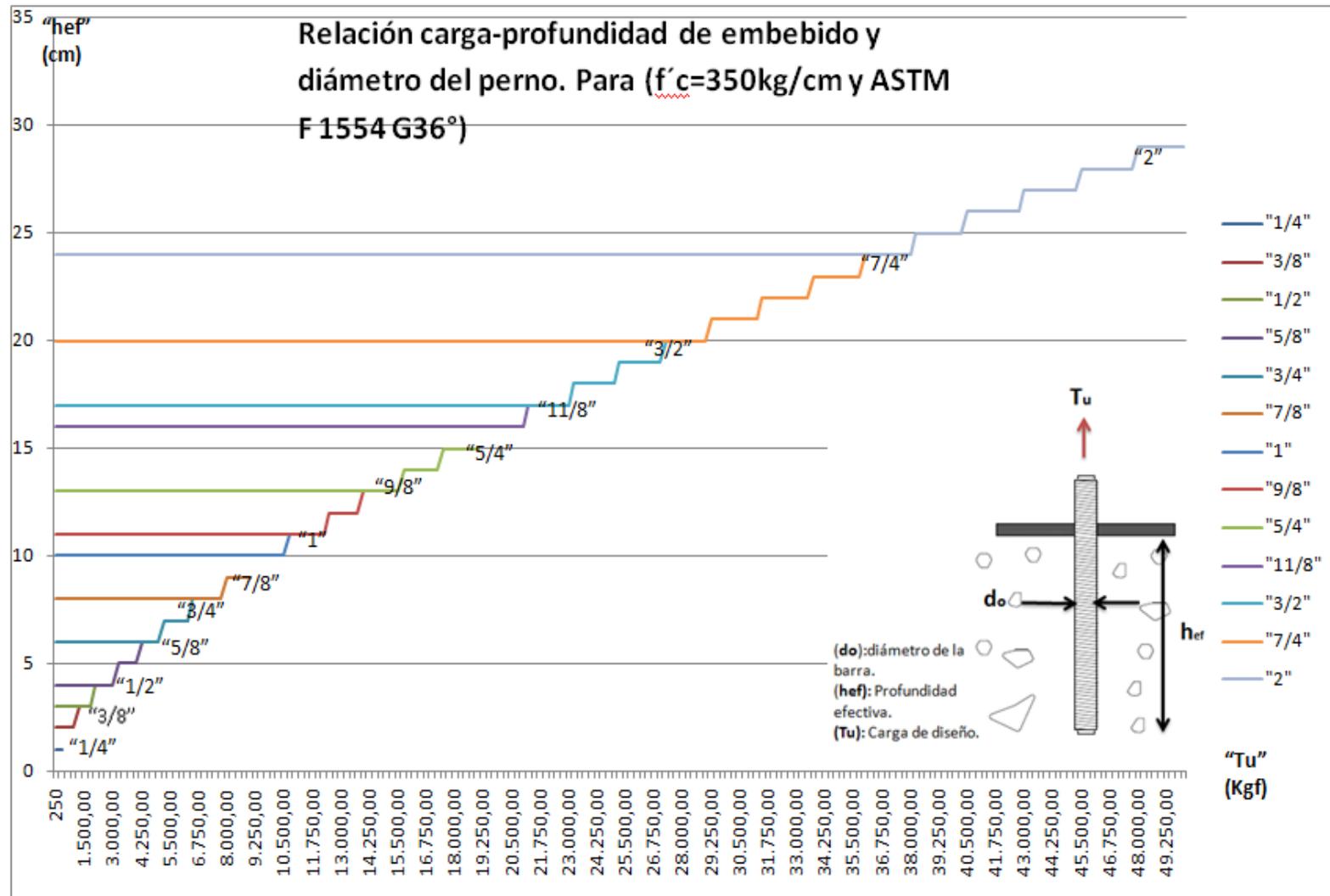
Dimensiones mínimas para pernos de anclajes preinstalados

Diámetro del perno (pulg)	Separación mínima. (cm)	Largo y ancho mínimo de la plancha (cm)	Largo y ancho mínimo del pedestal. (cm)	Perfil Recomendado.
$\frac{1}{2}$	7.62	13.02	23.88	W100 o menor
$\frac{5}{8}$	9.625	15.925	31.21	W150 o menor
$\frac{3}{4}$	11.43	19.03	39.58	W200 o menor
$\frac{7}{8}$	13.335	21.935	48.17	W250 o menor
1	15.24	25.04	58.9	W310 o menor
$\frac{9}{8}$	17.145	30.145	75.89	W460 o menor
$\frac{5}{4}$	19.05	31.05	80.1	W460 o menor
$\frac{11}{8}$	20.955	33.955	91.31	W530 o menor
$\frac{3}{2}$	22.86	37.06	103.94	W610 o menor
$\frac{7}{4}$	26.67	43.27	127.21	W753 o menor
2	30.42	49.28	162.48	W933 o menor

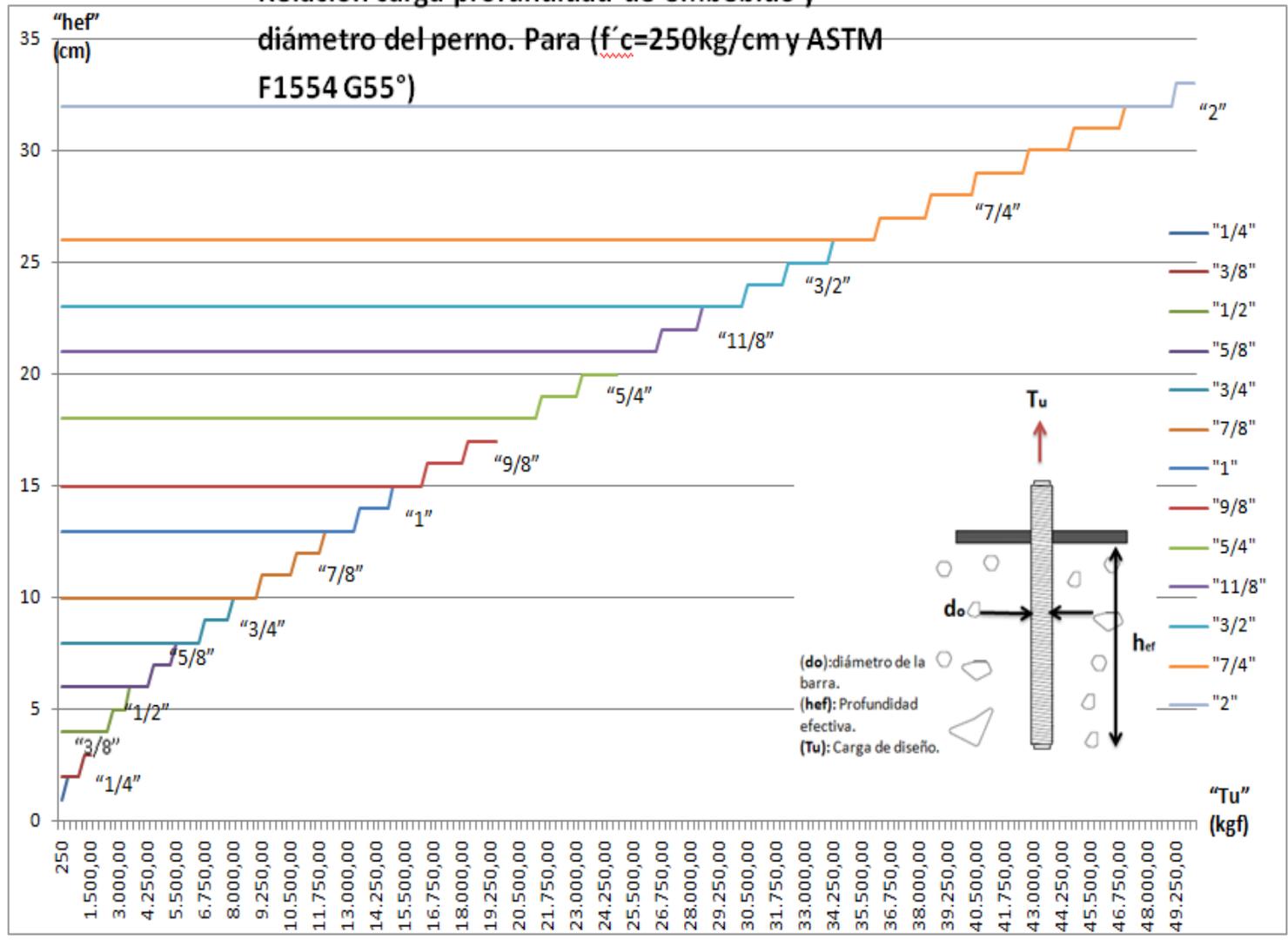
Gráficas de relación carga-profundidad de embebido

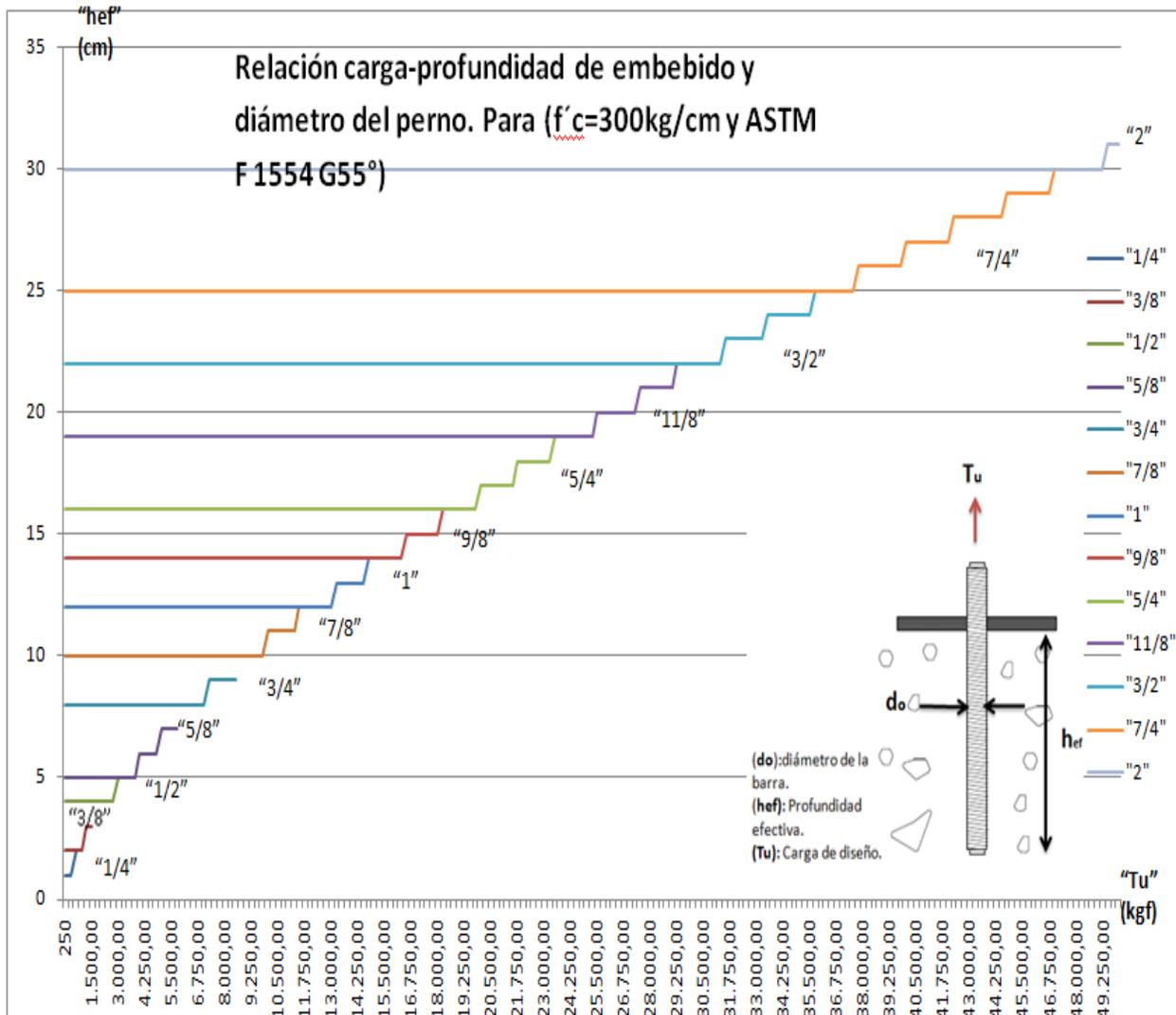


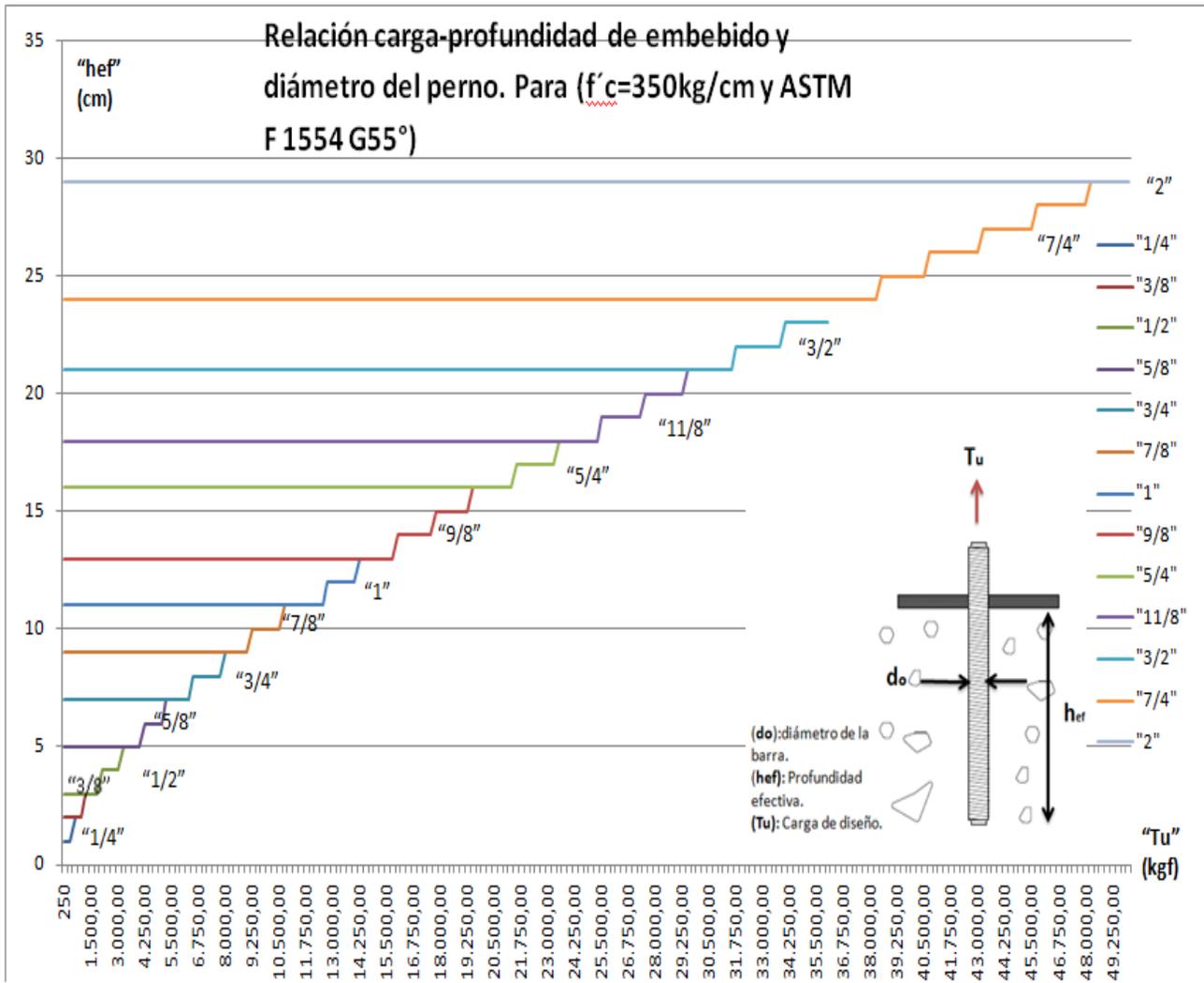




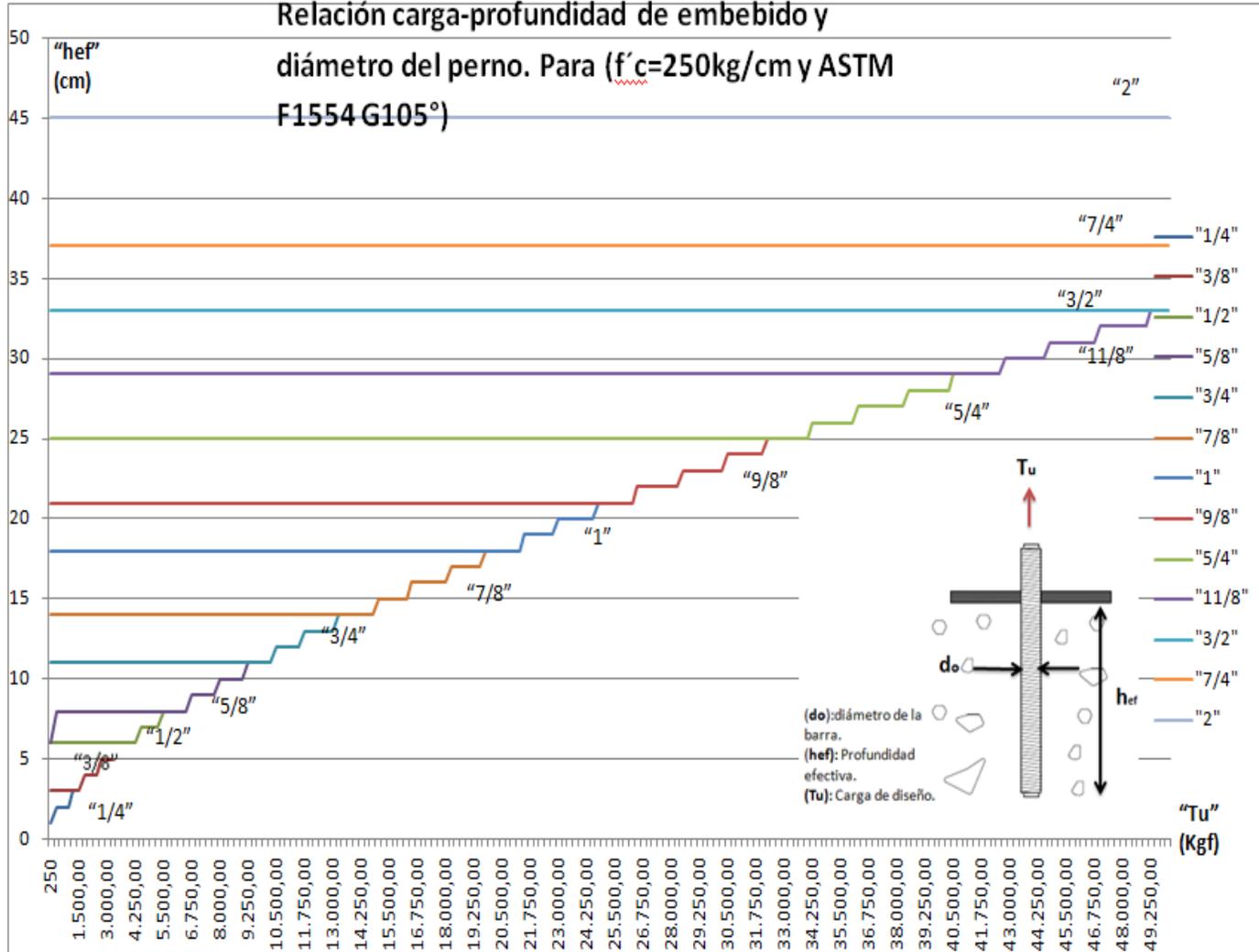
Relación carga-profundidad de embevido y
diámetro del perno. Para ($f'c=250\text{kg/cm}$ y ASTM
F1554 G55°)

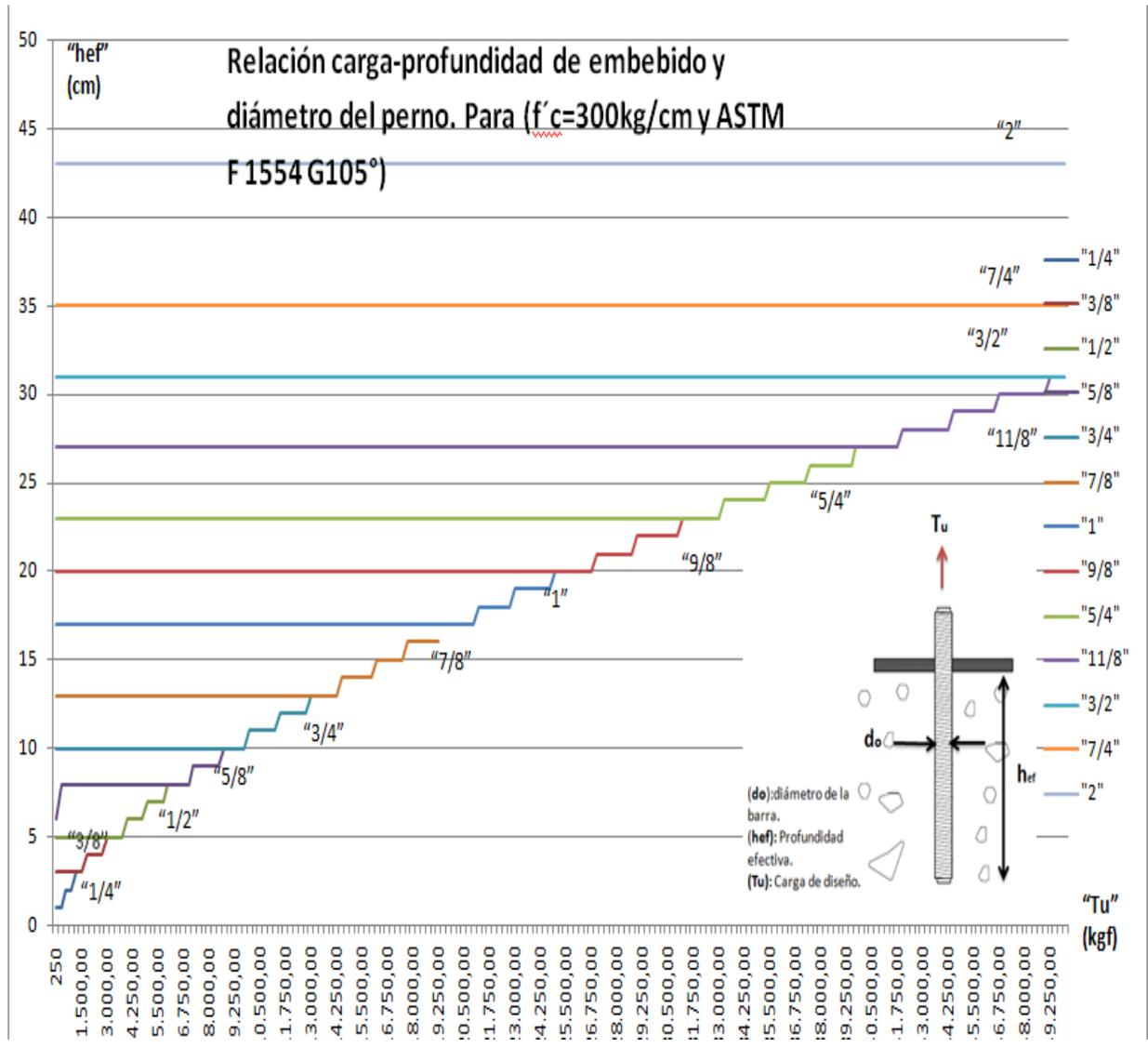




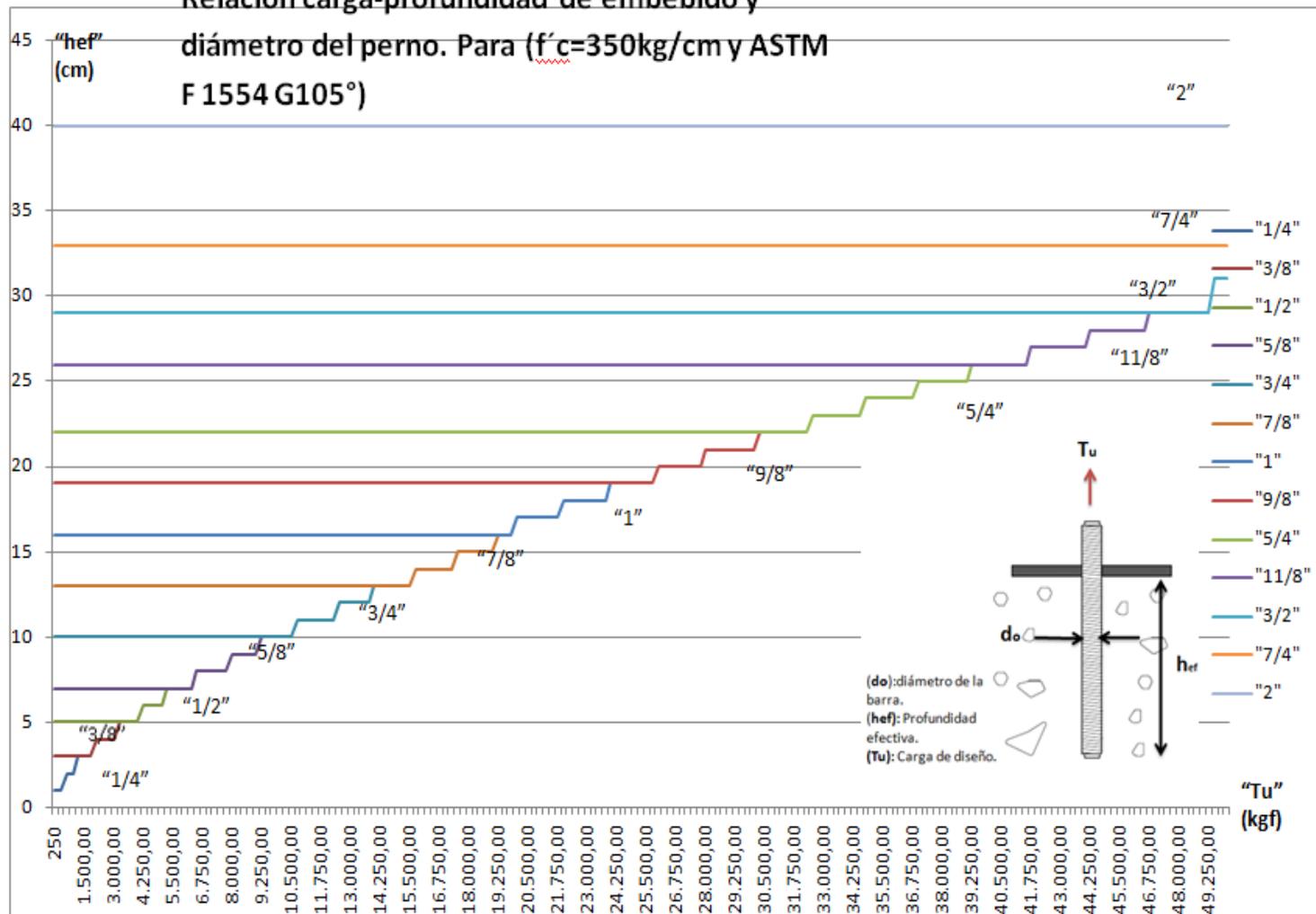


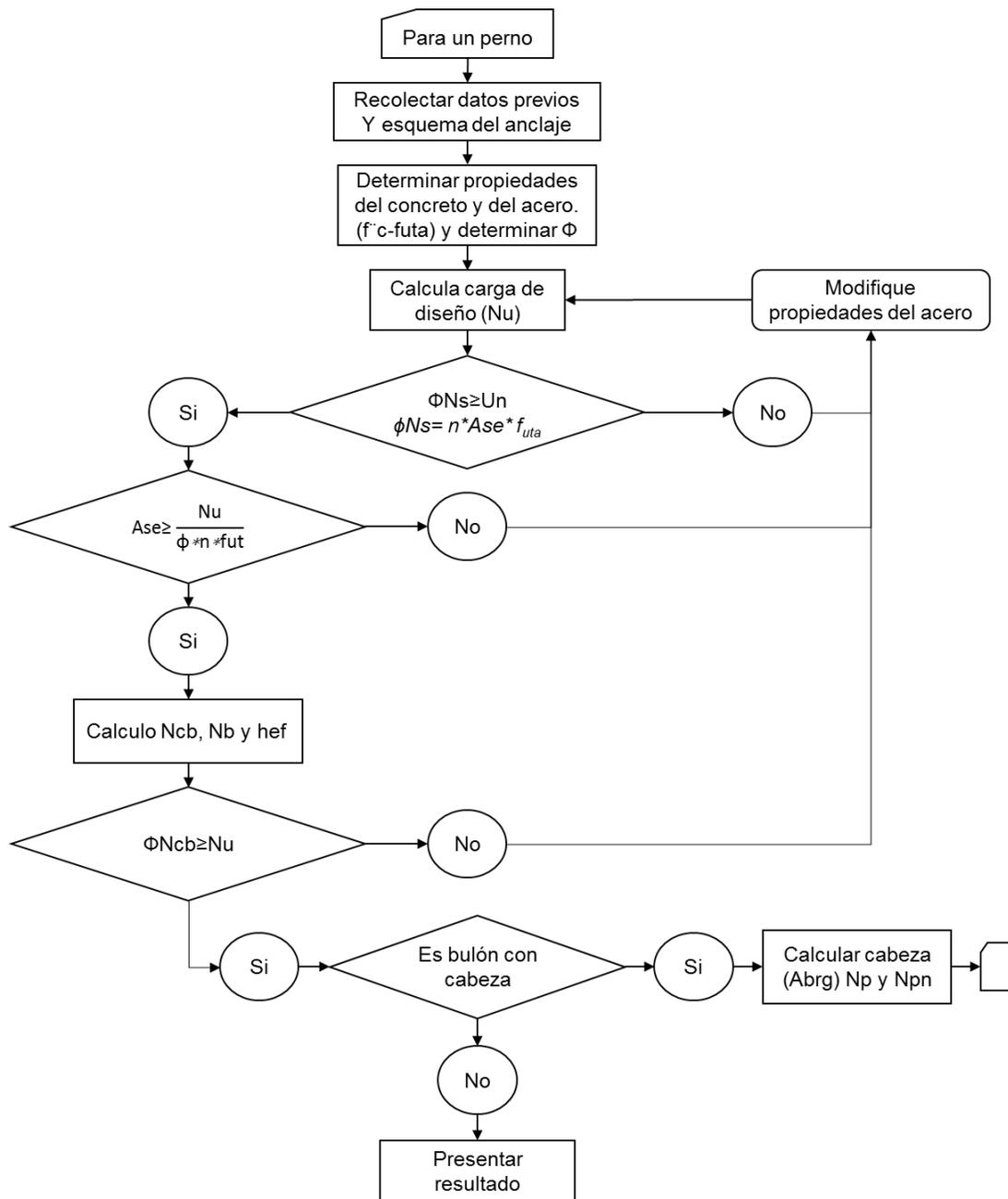
Relación carga-profundidad de embebido y
diámetro del perno. Para ($f'c=250\text{kg/cm}$ y ASTM
F1554 G105°)

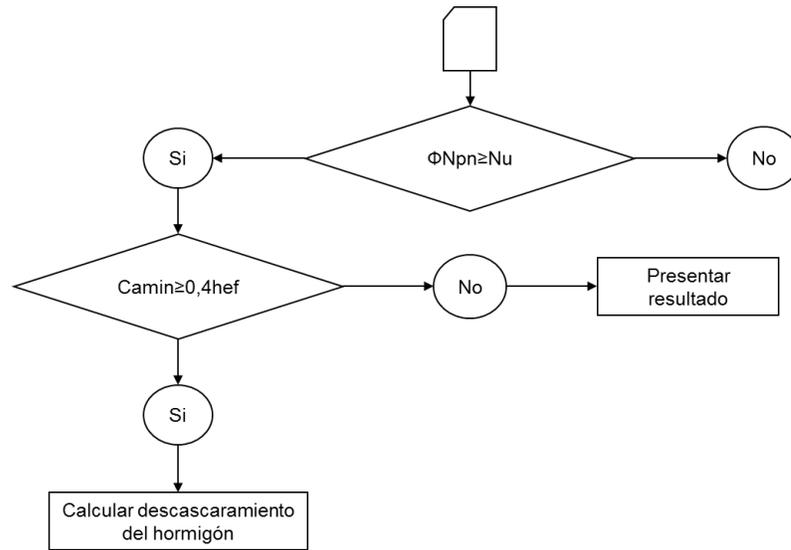




**Relación carga-profundidad de embebido y
diámetro del perno. Para ($f'c=350\text{kg/cm}^2$ y ASTM
F 1554 G105°)**







Anexo B: Evaluaciones del curso

Prueba tutorial I

1. ¿Cuál es el material más utilizado para pernos de anclajes?
 - ASTM A449.
 - ASTM A36.
 - ASTM F1554.

2. ¿Qué es el Ase?
 - Área bruta efectiva.
 - Área efectiva.
 - Área bruta.

3. ¿Cuál es el espaciamiento mínimo entre anclajes y a borde recomendado por el ACI 318?
 - 8 veces el diámetro de la barra.
 - 1,5hef.
 - 6 veces el diámetro de la barra.

4. El tipo de falla proyectada más común es la de:
 - Cono de 35°
 - Cono de 45°
 - Cono 65°

5. ¿Cuántos factores de modificación de resistencia para elementos a tracción existen?
 - 5
 - 4
 - 6

6. ¿Qué es ANo?
 - Es un factor.
 - Es la resistencia al descascaramiento.
 - Es el área de falla para un solo anclaje.

7. ¿Qué es hef?

- Proyección de falla
- Profundidad de embobinado.
- Profundidad de embebido.

8. ¿En qué año se incluyen los criterios de diseño en el ACI 318?

- 2002
- 2008
- 2014

Prueba II tutorial 2

1. Para un anclaje de una profundidad de embebido de 4cm ¿cuál es la separación mínima?

- 6cm
- 8cm
- 12cm

2. Para un anclaje de una profundidad de empotramiento de 4cm ¿Cuál será su ANo?

- 160cm²
- 182,25cm²
- 180cm²

3. Para un anclaje con hef=5cm y un $f'_c=250\text{kgf/cm}^2$ ¿Cuál será la resistencia al arrancamiento?

- 4325.87 kgf/cm²
- 4242.64 kgf/cm²
- 4652.98 kgf/cm²

4. ¿Cuál es el área efectiva de un perno de una pulgada?

- 0.606
- 0.766
- 0.683

5. Para un anclaje con una separación mínima de 5cm. ¿Cuál es el valor de A_v ?

- 115.5
- 126.5
- 112.5

6. ¿Cuál es el área proyectada para un anclaje con $h_{ef}=7\text{cm}$.?

- 10.8in
- 11.2in
- 10.5in

7. ¿Qué color identifica al acero ASTM F1554 G55.?

- Amarillo.
- Rojo
- Azul

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	DESARROLLO DE CONTENIDO PARA CURSO ABIERTO MASIVO EN LÍNEA (MOOC) SOBRE ANCLAJES DE CONCRETO ARMADOS PREINSTALADOS
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Paul R., José A	CVLAC: 23.546.902 E MAIL: josepaul1111@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES

ACI, Anclaje, Profundidad de embebido, factores de modificación, concreto, Universidad de Oriente

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

La investigación consistió en el desarrollo y creación de contenido para un curso masivo en línea (MOOC) sobre el diseño de anclajes preinstalados al concreto, de acuerdo a las consideraciones expresadas en el código ACI 318, publicado en el año 2014. Se desarrolló una investigación de tipo documental y explicativa, basada en la revisión de fuentes de carácter técnico, orientada a profundizar los conocimientos relacionados con la temática planteada. La investigación se limitó a la incursión de los cursos MOOC en la Universidad de Oriente. Finalmente se elaboró una serie de contenido audio visual y un conjunto de manuales como material de apoyo para el curso el cual será difundido a través de una plataforma gratuita.

Además, se elaboró una hoja de cálculo con la ayuda de Microsoft Excel, para el diseño de anclajes individuales; con los datos obtenidos de esta se realizaron una serie de graficas de relación profundidad de empotramiento y la carga de diseño, así como también una tabla de dimensiones mínimas para la estructura de acuerdo a los criterios de diseños expresados en el código ACI 318-14.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Martínez G., Jhonatan A	CVLAC:	15.376.400			
	E_MAIL	ingmartinezgj@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Cabrera V., Daniel J	CVLAC:	17.421.606			
	E_MAIL	danieldjcl1986@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
González H., Anabel Y	CVLAC:	16.573.233			
	E_MAIL	anabelyoelin@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2017	03	08
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Desarrollo de contenido para curso abierto masivo en línea (MOOC) sobre anclajes de concreto armados preinstalados.docx	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v
w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE:

ESPACIAL

(OPCIONAL)

TEMPORAL:

(OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Civil

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/Extensión Cantaura

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLAÑOS CUNPEL
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marja

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicación CU-034-209:

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.

	Paul R., José A	
AUTOR	AUTOR	AUTOR

Martínez G., Jhonatan A	Cabrera V., Daniel J	González H., Anabel Y
TUTOR	JURADO	JURADO

Arq. Loaiza M., Ramón Y
POR LA COMISION DE TRABAJOS DE GRADO