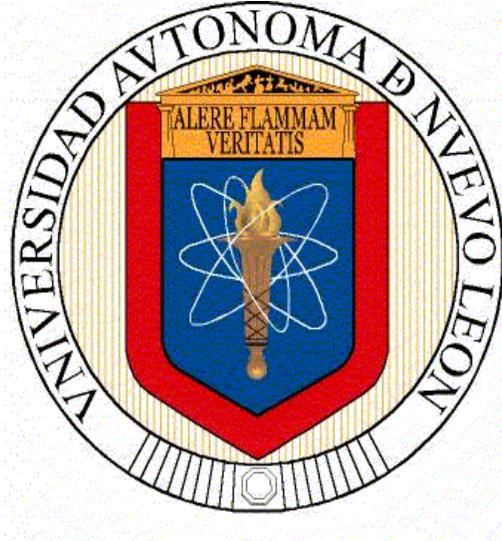


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**APLICACIONES DE ANCLAJES DE ESTRUCTURAS DE ACERO AL  
CONCRETO, BASADAS EN LA NORMA ACI 318S-08 (APÉNDICE D),  
UTILIZANDO EL PROGRAMA EXCEL**

**Por**

**RIGOBERTO GÓMEZ ARITA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural**

**Septiembre, 2012**



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Oficio SDEPI-317-2012

**ING. LÁZARO VARGAS GUERRA**  
Director del Departamento de Escolar y de  
Archivo de la UANL  
Presente.-

Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que el **ARQ. RIGOBERTO GÓMEZ ARITA**, pasante de la **Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural**, ha solicitado su examen de grado, para lo cual a cubierto la totalidad de los requisitos académicos y administrativos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales y el Reglamento General de Estudios de Posgrado de nuestra Institución.

De la manera más atenta, le solicito su colaboración para que se dé el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo a sus apreciables órdenes para cualquier duda o aclaración.

ATENTAMENTE,  
"ALERE FLAMAM VERITATIS"  
Cd. Universitaria a 13 de septiembre del 2012.

**DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ.**  
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación



SUB DIRECCION DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACION

C.c.p. Archivo.  
Rtp.



Cd. Universitaria S/N, Apdo. Postal No. 17  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66450  
Tels: (81) 1340-4388 Ext. 7234 y 7216 ó  
(81)1442-4400 Ext. 4447 y 5206  
[www.ingenieriacivil.uanl.mx](http://www.ingenieriacivil.uanl.mx)

**DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ**

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación  
de la Facultad de Ingeniería Civil, UANL

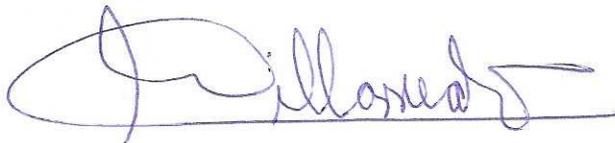
Presente.-

Estimado Doctor Valdez:

Por medio de la presente me es grato saludarlo y a la vez informarle que el Ingeniero **RIGOBERTO GÓMEZ ARITA**, Pasante de la Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural, ha concluido su trabajo de tesis titulado **“APLICACIONES DE ANCLAJES DE ESTRUCTURAS DE ACERO AL CONCRETO, BASADAS EN LA NORMA ACI 318S-08 (APENDICE D), UTILIZANDO EL PROGRAMA EXCEL”** la cual fue realizada bajo la dirección de su Servidor, por lo que no existe ningún inconveniente en atender la solicitud de Examen de Grado, con los requisitos que exige el **REGLAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES** de nuestra Institución, agradeceré informarle las instrucciones para el trámite correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano las atenciones que se sirva prestar a la presente, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere necesaria.

**ATENTAMENTE**  
**“ALERE FLAMMAM VERITATIS”**  
Cd. Universitaria, 7 de febrero de 2012



**DR. GUILLERMO VILLARREAL GARZA**

Profesor Emérito de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León y de la Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural



**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**Dr. Pedro L. Valdez Tamez**  
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación  
Facultad de Ingeniería Civil UANL.

Estimado Dr. Valdez Tamez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis “**Aplicaciones de anclajes de estructuras de acero al concreto, basadas en la norma ACI 318S-08 (APÉNDICE D), utilizando el programa Excel**”, que presenta el Arq. Rigoberto Gómez Arita, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

*Atentamente*  
“Alere Flammam Vritatis”  
Cd. Universitaria, 3 de julio del 2012.

  
**M.I. LUIS MANUEL ARANDA MALTEZ**  
DIRECTOR DIRECCION



C.c.p. Archivo.



Av. Pedro de Alba, Cd. Universitaria Apdo. Postal No. 58-F  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. C.P. 66450  
Tels. 8329 4060 · 8352 4850 Fax: Ext. 106  
[www.ingenieriacivil.uanl.mx](http://www.ingenieriacivil.uanl.mx)



**TECNOLOGICO  
DE MONTERREY**

**Dr. Pedro L. Valdez Tamez  
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación  
Facultad de Ingeniería Civil UANL.**

Estimado Dr. Valdez Tamez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis “Aplicaciones de anclajes de estructuras de acero al concreto, basadas en la norma ACI 318S-08 (APÉNDICE D), utilizando el programa Excel”, que presenta el Arq. Rigoberto Gómez Arita, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

*ATENTAMENTE,*  
**“ALERE FLAMMAM VERITATIS “**  
Cd. Universitaria, a 11 de junio del 2012

**M.C. CARLOS NUNGARAY PÉREZ**  
Director Asociado de la Carrera de Ingeniero Civil  
Ingeniería Civil del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey

c.c.p. Archivo.

## DEDICATORIA

Todo el esfuerzo, paciencia y sabiduría puestas, el interés y la dedicación de incontables horas empleadas para llegar a la obtención de este producto final tan importante en mi vida, va dedicado a ustedes:

A una de las fuentes fundamentales de mi inspiración, de mi lucha, de mi vida y de todo lo que soy, a un verdadero ejemplo de mujer y esposa, a Mi Todo, al Amor de mi Vida, a mi Esposa Adorada Rosa Nallely Torres de Gómez. Te amo muchísimo mi amor. Gracias por todo tu amor, cariño y apoyo cielito lindo.

A la memoria de mi querida Abuelita Rosa Delia Aguilar de Arita, quien siempre ha sido otra de las fuentes principales de inspiración en mi vida, por haber sido siempre en vida, un ejemplo digno de ser humano a seguir, un ser de luz y de calidad humana infinita e incondicional. Gracias Abuelita linda por todo.

A mis Padres Bellos, Rosa Delia Arita de Gómez y Rigoberto Gómez Madrid, por ser siempre fuente de inspiración de mi vida, ejemplos vivientes de lucha, de éxito, honestidad, sacrificio, sabiduría, amor, dedicación, enseñanza y verdaderos padres de familia. Gracias por la oportunidad de vida que me regalaron. Gracias por todo Papi y Mami lindos. Los quiero muchísimo.

A mi Hermanita Linda, Gabriela María Gómez Arita, un ejemplo de mujer incansable, de coraje e inteligencia, de sacrificio, madurez y lucha constante, una verdadera mujer de éxito. Te quiero mucho Hermana.

A mis Suegros Queridos, Rosa María Rubio Leija e Isidro Torres Alvarez y a mi Querido Cuñado Francisco Javier Torres Rubio, por ser ejemplos de lucha y perseverancia, profesionalismo, humildad y honestidad, porque siempre han creído en mí y me han apoyado moralmente en este camino duro pero satisfactorio a la vez. Gracias por todo el cariño brindado siempre Queridos Suegros y Querido Cuñado. Los quiero muchísimo.

A mis Tíos José Daniel Arita Aguilar y María del Tránsito Arita Aguilar, gracias por todas sus atenciones, paciencia y palabras sabias de apoyo en cada momento de mi vida, gracias por todo su amor, por ser ejemplos de verdaderos seres humanos y por su incondicionalidad a la hora de apoyar y amar a todos sus seres queridos y amistades. Son un tesoro invaluable para mi persona. Los quiero muchísimo.

A mi Tío Julio César Arita Aguilar, su Esposa Teresa Ferrera de Arita, mi Tío José Arturo Arita Aguilar y su Esposa Agustina Archaga de Arita, por todo el cariño brindado hacia mi persona durante toda mi vida. Son verdaderos ejemplos de perseverancia, humildad y calidez humana. Los quiero mucho.

A unas seres que a pesar de no poder hablar y pensar como nosotros, merecen toda mi gratitud, reconocimiento, cariño y amor por lo que representan en mi vida y por brindarme siempre de manera incondicional su amor, obediencia, amistad, apoyo y motivación, a mis Bebés, a mi Reina Hermosa Laika y a sus Hermanitas Lindas Pily, Payis y Kokis. Las adoro con todo mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento en primer lugar a mi Padre Celestial Dios, por permitirme vivir este momento y por esta valiosa oportunidad que me ha dado de estudiar esta maravillosa y linda maestría en una de las universidades de mayor prestigio de México y el mundo.

Al Asesor de mi Tesis, un gran ser humano y un verdadero maestro de calidad infinita, el Emérito Profesor de Generaciones Dr. Guillermo Villarreal Garza, gracias por todo su conocimiento brindado, por apoyarme y guiarme a través de todo este proceso para la consecución de esta importante meta.

A la Organización de Estados Americanos (OEA) por haberme permitido realizar uno de mis más importantes sueños a través de la beca que me otorgaron.

Al Dr. Ricardo Alcorta y al Dr. Pedro Valdez por haber creído en este servidor desde un principio y haberme otorgado esta maravillosa y valiosa oportunidad de estudiar una maestría de alta calidad. Gracias por todo su apoyo y toda la confianza puesta en mi persona.

A todos mis profesores, Dr. Ernesto Treviño, M.C. Ing. Adolfo Elías Chávez, Dr. Antonio Zaldívar, Dr. Ismael Flores, M.C. Ing. Martín Cantú y Dr. José Manuel Mendoza, gracias por toda la inmensa y enriquecedora cantidad de valiosos conocimientos que me brindaron en cada clase que me impartieron.

A todas mis amigos ingenieros, Juan Elizandro Castro, Luis Alberto Goytia, Abraham Trasviña, Ernesto Arreola, Bernardo Tadeo Terán, Juan Vázquez, Abraham Luna Pequeño, Carlos Campos, Jorge Lugo Guerrero, José Roberto Pérez, Salvador Rodríguez, Walter, Mario Briones y Ricardo Gallardo, gracias por su apoyo, por su motivación, por su tiempo, por su ayuda brindada en todo momento. Les estoy muy agradecido a todos ustedes.

Al Personal del Departamento de Control Escolar de la Subdirección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil, Sr. Ramiro Torres, Sra. Jessyca Saucedo y Sra. Myriam Guel, gracias por todo el apoyo administrativo brindado hacia mi persona desde el primer momento que ingresé en tan prestigioso centro de estudio.

A la Prestigiosa Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por todo el apoyo dado para la obtención de esta meta tan

importante para este servidor y por poseer un magnífico cuerpo de docentes que hacen de esta facultad y universidad, instituciones únicas, inigualables y exclusivas, de alto nivel educativo y con una visión bien clara de lo que desean lograr.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, por ser una institución de alta calidad educativa, con valores bien fundamentados, con una visión clara de sus objetivos, con frutos de calidad inigualable, gracias por haberme permitido estudiar la prestigiosa Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Estructural en una de sus mejores facultades y de mayor renombre.

A México, por ser un hermoso país con una riqueza social, educativa, deportiva, científica y cultural invaluable e inagotable, que desde el primer momento que pisé suelo mexicano, su gente me ha ayudado, apoyado y guiado de manera incondicional a través de este proceso de formación académica haciéndome sentir, por su calidez y trato humano, incluso como si fuese un mexicano más. Gracias por todo a esta linda tierra.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, el hombre, en su afán de ir creando cada vez más proyectos de gran envergadura y bajo las premisas fundamentales de la funcionalidad, la seguridad y la economía, ha ido descubriendo y desarrollando diferentes tipos de materiales y, en consecuencia, diversos sistemas constructivos. Con el paso de los siglos, se fue dando cuenta de la necesidad de la planeación de cada una de las actividades que el proceso de diseño y construcción involucra, por lo cual, fue ideando diversas formas de procedimientos de diseño que consideran de manera global, cada uno de los aspectos inherentes al proceso de concepción, diseño y materialización final de un proyecto. Dentro de estos aspectos, el área concerniente al diseño del esqueleto estructural que soportará al proyecto en mente, área conocida como Ingeniería Estructural, corresponde a una de las consideraciones más importantes que deben de tomarse en cuenta a la hora de visualizar la concepción de lo que se piensa edificar.

La Ingeniería Estructural es un campo de estudio muy amplio que engloba el análisis y diseño de muchos elementos que no pueden ser considerados de forma independiente por la misma naturaleza del comportamiento de las estructuras, sino que, al contrario, son partes importantes de un todo que actúa como tal ante la acción de todas las fuerzas existentes en la naturaleza. Ahora bien, en el caso particular del diseño de estructuras de acero apoyadas sobre cimentaciones hechas de concreto, es necesario e imprescindible considerar el tipo de unión que se diseñará para la fusión de estas dos estructuras correspondientes a dos materiales distintos, con el objeto de garantizar una transmisión eficiente y segura de las fuerzas generadas por las diferentes cargas en la estructura de acero y que se transmiten hacia la cimentación de concreto. Este tipo de unión es lo que se conoce como sistemas de anclaje de estructuras de acero en cimentaciones de concreto, que como ya se ha podido apreciar, por su naturaleza y función, es un importante tema que amerita ser considerado como objeto de estudio para una tesis de investigación sobre los principios y aplicaciones del Apéndice D del ACI 318S-08. Esto se explicará con más detalle en el primer capítulo del presente trabajo.

El análisis y diseño de sistemas de anclaje como tales, es un área de estudio reciente dentro del campo de la Ingeniería Estructural. Es un campo cuyo estudio detallado tendrá apenas unas cuantas décadas de haberse iniciado, como podrá verse más adelante en lo que a métodos y especificaciones respecta, por parte de diversas instituciones estudiosas de la materia, tanto del área del diseño del concreto estructural como del mismo acero. Lo anterior se podrá apreciar en detalle en el capítulo referente a los antecedentes del tema.

Una vez definido el tema de estudio, vista la importancia de éste y habiéndose efectuado una revisión bibliográfica del mismo, en el tercer capítulo de la

presente tesis, se plantearán los objetivos que se buscan con el estudio de tan valioso tópico. Entre ellos, se buscará estudiar la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 bajo la forma de un método automatizado utilizando como herramienta de diseño el Programa Excel de Microsoft Office, como la forma idónea para el diseño rápido y seguro de sistemas de anclaje para diversos casos estructurales. Asimismo, se buscará realizar un estudio comparativo de resultados, producto de la aplicación del método de estudio del presente trabajo y de dos métodos conservadores a dos casos estructurales típicos. Adicionalmente, se compararán los parámetros reguladores de diseño entre los métodos conservadores y el del Apéndice D-ACI 318S-08 con el fin de llegar a establecer cuál es el método mejor aplicable para el diseño de los sistemas de anclaje de los casos a tratar.

Una vez observados los objetivos buscados, en el capítulo cuatro se hará el respectivo planteamiento de la hipótesis a demostrar con la aplicación de los dos métodos conservadores y el método de estudio de esta investigación a los casos estructurales seleccionados, adelantando que la premisa fundamental a comprobar consistirá en verificar que los resultados que se obtienen de la aplicación del método de diseño basado en el Apéndice D del ACI 318S-08 son menos conservadores, es decir, más económicos que los dados por los métodos tradicionales elegidos.

Con los objetivos y la hipótesis planteados, en el capítulo cinco se hará una descripción detallada del tipo de metodología a implementar, dentro de la cual, se dará una explicación breve y precisa de cada método de diseño a usar, cuáles son los casos estructurales seleccionados cuyos sistemas de anclaje serán diseñados con cada método, los pasos a seguir para la aplicación del procedimiento de análisis y diseño inherente a cada uno de los métodos escogidos y la forma en que se llevará a cabo el estudio de los resultados que se obtengan. Es importante señalar que dentro del desglose de pasos de cada método se incluyen figuras representativas y las respectivas ecuaciones a emplear.

El capítulo seis corresponde al desarrollo minucioso relativo a la aplicación del procedimiento de análisis y diseño de sistemas de anclaje de cada uno de los métodos a cada caso estructural elegido. Como se verá en el capítulo relativo a la metodología a usar, en cada caso estructural de estudio seleccionado, se aplicará el Método del Apéndice D del ACI 318S-08 y un método conservador aplicable para el caso bajo consideración.

Ya sobre la recta final de la presente entrega, los últimos tres capítulos corresponden al análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el capítulo seis, el planteamiento de las conclusiones a las que se llegue y el enunciado de las respectivas recomendaciones que se harán para futuros proyectos investigativos en la materia. Vale la pena adelantar que, con base en los resultados que se obtendrán en el capítulo correspondiente al desarrollo de

los ejemplos, se llegará a la conclusión de que con la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 para el diseño de sistemas de anclaje para los casos estructurales elegidos, es posible llegar a obtener diseños de anclajes más completos pero no necesariamente más económicos que los dados por los métodos conservadores, respaldando además el hecho de que este método es el más aplicable para el diseño de sistemas de anclaje debido a su naturaleza complementaria y a su fundamentación teórico-unificadora de lo antiguo con lo moderno.

Finalmente, se espera que con la pequeña pero significativa aportación que se haga con el desarrollo del presente trabajo investigativo, se logre brindar a todos los profesionales de la Ingeniería Estructural una forma más rápida y segura de diseño de sistemas de anclaje, tomando en cuenta que lo examinado en la presente entrega, con el paso del tiempo, podrá irse constituyendo como una herramienta de alto grado de utilidad y beneficio, claro está, pensando que lo relativo a la materia de métodos de diseño de anclajes al concreto, todavía es un tema que siempre podrá ser perfeccionado con el paso de los años y que todavía no está escrita la última palabra al respecto.

# RESUMEN

**Rigoberto Gómez Arita**

**Fecha de Graduación: Octubre, 2012**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Título del Estudio: APLICACIONES DE ANCLAJES DE ESTRUCTURAS DE ACERO AL CONCRETO, BASADAS EN LA NORMA ACI 318S-08 (APÉNDICE D), UTILIZANDO EL PROGRAMA EXCEL**

**Número de Páginas: 281**

**Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Estructural**

**Área de Estudio: Ingeniería Civil**

**Propósito y Método del Estudio:** Dentro del campo de diseño de estructuras de acero apoyadas sobre cimentaciones de concreto, es muy importante el análisis y diseño del tipo de unión que se utilizará para la fusión de ambos tipos de estructuras, de tal forma que se pueda garantizar una transmisión eficiente y segura de las fuerzas internas propias de la estructura de acero hacia la cimentación de concreto. Producto de lo anterior, es que es muy importante el estudio del tema relativo al análisis y diseño de sistemas de anclaje de estructuras de acero en cimentaciones hechas de concreto. En el presente trabajo, el objetivo principal ha sido el de examinar la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 como la alternativa ideal para efectuar un análisis y diseño eficaz y rápido de sistemas de anclaje para diversos casos estructurales, bajo la forma de un método automatizado apoyado en el Programa Excel de Microsoft Office. De igual forma, como objetivos específicos, se realizaron dos estudios comparativos, uno, entre los parámetros reguladores de diseño que rigen los métodos escogidos, y el otro, entre los resultados obtenidos producto de la aplicación del método de estudio del presente trabajo y de dos métodos conservadores a dos casos estructurales típicos, la columna de un edificio y una chimenea industrial, con el fin de llegar a establecer cuál es el método más idóneo para el diseño de sistemas de anclaje para el tipo de casos seleccionados. Es importante recalcar que ambos casos estructurales fueron resueltos por medio de dos métodos, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 en ambos casos, el Método Conservador de Lincoln para la columna y el de Brownell & Young para la chimenea industrial.

**Contribuciones y Conclusiones:** Con base en la metodología implementada, se llegó a la conclusión de que la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 para el diseño de sistemas de anclaje para los casos estructurales estudiados, resulta ser la idónea, la más factible y rápida, la más completa por los elementos que considera en su procedimiento de diseño, todo esto en contraste con la aplicación de métodos tradicionales.

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MISMO . . . . .	1
1.1 Introducción . . . . .	2
1.2 Definición del Tema de Investigación . . . . .	3
1.3 Importancia del Tema de Investigación . . . . .	5
2. ANTECEDENTES . . . . .	7
2.1 Introducción . . . . .	8
2.2 Métodos Conservadores Tradicionales . . . . .	9
2.2.1 Método Conservador de Lincoln . . . . .	10
2.2.2 Método Conservador de Brownell & Young . . . . .	12
2.2.3 Especificación Normalizada Para Puentes Carreteros (AASHTO) . . . . .	13
2.2.4 Anuario de Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) . . . . .	14
2.2.5 Construction Industry Research and Information Association (CIRA) . . . . .	14
2.2.6 Manual de Diseño PCI . . . . .	15
2.3 Surgimiento del Apéndice D Dentro del Reglamento del ACI 318S-08 . . . . .	16
2.4 Definiciones . . . . .	21
2.4.1 Definiciones Básicas . . . . .	21
2.5 Norma del Reglamento del ACI 318S-08 Establecida Para el Diseño de Sistemas de Anclaje al Concreto: Apéndice D . . . . .	28
2.5.1 Alcance . . . . .	28
2.5.2 Requisitos Generales . . . . .	30
2.5.3 Requisitos Generales Para la Resistencia de los Anclajes . . . . .	32

2.5.4	Requisitos de Diseño Para Cargas de Tensión . . . . .	41
2.5.5	Requisitos de Diseño Para Solicitaciones de Cortante . . . . .	54
2.5.6	Interacción de las Fuerzas de Tensión y Cortante . . . . .	68
2.5.7	Distancias al Borde, Espaciamientos y Espesores Requeridos Para Evitar las Fallas por Hendimiento o Agrietamiento . . . . .	69
2.5.8	Instalación de los Anclajes . . . . .	71
3.	OBJETIVOS . . . . .	73
3.1	Introducción . . . . .	74
3.2	Planteamiento de Objetivos . . . . .	76
3.2.1	Objetivo General . . . . .	76
3.2.2	Objetivos Específicos . . . . .	76
4.	HIPÓTESIS . . . . .	78
4.1	Introducción . . . . .	79
4.2	Planteamiento de la Hipótesis . . . . .	80
5.	METODOLOGÍA . . . . .	82
5.1	Introducción . . . . .	83
5.2	Breve Descripción de la Metodología a Implementar . . . . .	84
5.3	Casos Estructurales a Desarrollar . . . . .	86
5.4	Métodos de Aplicación a los Casos Estructurales de Estudio . . . . .	87
5.4.1	Caso Estructural: Columna de un Gran Edificio . . . . .	88
5.4.2	Caso Estructural: Chimenea Industrial . . . . .	115
5.5	Estudio Analítico de los Resultados Obtenidos . . . . .	140

6.	CASOS TÍPICOS DE ESTRUCTURAS RESUELTOS POR MEDIO DE UN MÉTODO CONSERVADOR Y EL MÉTODO DEL APÉNDICE D-ACI 318S-08 . . . . .	143
6.1	Solución del Sistema de Anclaje de una Columna Perteneciente a un Edificio por Medio del Método Conservador de Lincoln . . . . .	145
6.1.1	Datos . . . . .	145
6.1.2	Cálculo de Datos Complementarios . . . . .	146
6.1.3	Barras de Anclaje en Tensión . . . . .	148
6.1.4	Dimensionamiento de la Placa Base de la Columna . . . . .	149
6.1.5	Diseño de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje (Diseño de Conexión de Bota) . . . . .	151
6.1.6	Diseño de la Soldadura de Unión Entre los Atiesadores y el Alma del Canal . . . . .	157
6.1.7	Diseño de la Soldadura de Unión Entre el Canal y el Patín de la Columna . . . . .	159
6.1.8	Diseño de la Soldadura de Unión Entre la Columna y la Placa Base . . . . .	165
6.2	Solución del Sistema de Anclaje de una Columna Perteneciente a un Edificio por Medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 . . . . .	167
6.2.1	Datos . . . . .	167
6.2.2	Cálculo de la Excentricidad de la Carga "P" . . . . .	168
6.2.3	Dimensionamiento de las Barras de Anclaje y Distribución Espacial . . . . .	168
6.2.4	Cálculos Previos Para la Determinación Definitiva de las Barras de Anclaje a Usar . . . . .	170
6.2.5	Información de las Barras de Anclaje a Utilizar . . . . .	173
6.2.6	Verificación del Tipo de Concreto a Usar . . . . .	173
6.2.7	Verificación de Exigencias de Prevención de Arrancamiento del Concreto . . . . .	173

6.2.8	Verificación de Requerimientos de Espaciamiento Mínimo Entre Anclajes y Distancias Mínimas al Borde Para Evitar Fallas por Fisuramiento (Hendimiento) . . .	174
6.2.9	Distribución de la Fuerza de Tensión Actuante ( $T_{act}$ ) en Cada Uno de los Anclajes a Tensión . . .	174
6.2.10	Factores de Reducción de Resistencia Para Anclajes en Concreto ( $\phi$ ) . . .	176
6.2.11	Cálculo de la Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{sa}$ ) . . .	177
6.2.12	Cálculo de la Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{cb}$ y $\phi N_{cbg}$ ) . . . . .	177
6.2.13	Cálculo de la Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión ( $\phi n N_{pn}$ ) . . . . .	179
6.2.14	Cálculo de la Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto en un Anclaje con Cabeza en Tensión ( $\phi N_{sb}$ y $\phi N_{sbg}$ ) . . . . .	179
6.2.15	Cálculo de la Resistencia de Diseño de los Anclajes ( $\phi N_n$ ) . . .	180
6.2.16	Dimensionamiento de la Placa Base . . . . .	181
6.2.17	Diseño de la Conexión de Botas en la Base de la Columna (Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje) . . . . .	184
6.2.18	Diseño de la Soldadura de Unión Entre la Columna y la Placa Base . . . . .	194
6.2.19	Diseño Final del Sistema de Anclajes . . . . .	196
6.3	Solución del Sistema de Anclaje de una Chimenea Industrial por Medio del Método Conservador de Brownell & Young . . . . .	197
6.3.1	Datos . . . . .	197
6.3.2	Cálculo de la Relación Modular "n" y " $f_c$ máx" . . . . .	198
6.3.3	Cálculo del Ancho de la Placa Base ( $t_{propuesto}$ ó $t_3$ ) . . . . .	199

6.3.4	Primera Estimación del Valor de "k" . . . . .	199
6.3.5	Segunda Estimación del Valor de "k" . . . . .	204
6.3.6	Tercera Estimación del Valor de "k" . . . . .	206
6.3.7	Cuarta Estimación del Valor de "k" . . . . .	208
6.3.8	Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en las Barras de Anclaje ( $f_{s \text{ comp.}}$ ) . . . . .	208
6.3.9	Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en el Concreto ( $f_c \text{ máx inducido}$ ) . . . . .	208
6.3.10	Cálculo del Espesor de la Placa Base . . . . .	209
6.3.11	Diseño Complementario de la Placa Base . . . . .	212
6.4	Solución del Sistema de Anclaje de una Chimenea Industrial por Medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 . . . . .	216
6.4.1	Datos . . . . .	216
6.4.2	Cálculo de Dimensiones de la Placa Base y Círculo de Barras de Anclaje . . . . .	216
6.4.3	Cálculo de la Excentricidad de la Carga " $W_{dw}$ " . . . . .	217
6.4.4	Dimensionamiento de las Barras de Anclaje y Distribución Espacial . . . . .	217
6.4.5	Determinación de la Relación Modular "n" y " $f_c \text{ máx}$ " . . . . .	221
6.4.6	Cálculo del Ancho de la Placa Base ( $t_3$ ) . . . . .	221
6.4.7	Primera Estimación del Valor de "k" . . . . .	222
6.4.8	Segunda Estimación del Valor de "k" . . . . .	225
6.4.9	Tercera Estimación del Valor de "k" . . . . .	227
6.4.10	Cuarta Estimación del Valor de "k" . . . . .	229
6.4.11	Quinta Estimación del Valor de "k" . . . . .	231
6.4.12	Sexta Estimación del Valor de "k" . . . . .	233

6.4.13	Séptima Estimación del Valor de "k" . . . . .	235
6.4.14	Octava Estimación del Valor de "k" . . . . .	237
6.4.15	Novena Estimación del Valor de "k" . . . . .	239
6.4.16	Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en las Barras de Anclaje ( $f_{s \text{ comp}}$ ) . . . . .	241
6.4.17	Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en el Concreto ( $f_c \text{ máx inducido}$ ) . . . . .	241
6.4.18	Cálculos Previos Para la Determinación Definitiva de las Barras de Anclaje a Usar . . . . .	242
6.4.19	Información de las Barras de Anclaje a Utilizar . . . . .	244
6.4.20	Verificación del Tipo de Concreto a Usar . . . . .	244
6.4.21	Verificación de Exigencias de Prevención de Arrancamiento del Concreto . . . . .	244
6.4.22	Verificación de Requerimientos de Espaciamiento Mínimo Entre Anclajes y Distancias Mínimas al Borde Para Evitar Fallas por Fisuramiento (Hendimiento) . . . . .	245
6.4.23	Distribución de la Fuerza de Tensión Actuante ( $T_{act}$ ) en Cada Uno de los Anclajes a Tensión . . . . .	246
6.4.24	Factores de Reducción de Resistencia Para Anclajes en Concreto ( $\phi$ ) . . . . .	248
6.4.25	Cálculo de la Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{sa}$ ) . . . . .	249
6.4.26	Cálculo de la Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{cb}$ y $\phi N_{cbg}$ ) . . . . .	249
6.4.27	Cálculo de la Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión ( $\phi n N_{pn}$ ) . . . . .	251

6.4.28	Cálculo de la Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto en un Anclaje con Cabeza en Tensión ( $\phi N_{sb}$ y $\phi N_{sbg}$ ) . . . . .	251
6.4.29	Cálculo de la Resistencia de Diseño de los Anclajes ( $\phi N_n$ ) . . .	252
6.4.30	Dimensionamiento de la Placa Base . . . . .	253
6.4.31	Diseño Final del Sistema de Anclajes . . . . .	257
7.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS . . . . .	258
7.1	Introducción . . . . .	259
7.2	Análisis Comparativo de Resultados . . . . .	260
7.2.1	Presentación de los Resultados Obtenidos . . . . .	260
7.2.2	Análisis Comparativo de Resultados . . . . .	263
8.	CONCLUSIONES . . . . .	271
8.1	Introducción . . . . .	272
8.2	Conclusiones . . . . .	272
9.	RECOMENDACIONES . . . . .	275
9.1	Introducción . . . . .	276
9.2	Recomendaciones . . . . .	276
	BIBLIOGRAFÍA . . . . .	278

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I.	Métodos de Aplicación a los Casos Estructurales Seleccionados . . . . .	88
II.	Esfuerzos Permisibles de Compresión de la Cimentación . . . . .	89
III.	Tipos de Acero Para Placa Base . . . . .	107
IV.	Tipos de Acero Para Barras de Anclaje . . . . .	107
V.	Valores Promedio Referentes a Propiedades de Diferentes Tipos de Concreto . . . . .	115
VI.	Valores Para las Constantes $C_t$ , $C_c$ , $z$ y $j$ , Como Funciones de "k" . . . . .	117
VII.	Momentos Flexionantes Máximos en una Placa Base con Atiesadores . . . . .	123
VIII.	Número Máximo de Asientos Centrados que Pueden Utilizarse en el Faldón de una Chimenea Industrial Para Diversos Tamaños de Chimenea . . . . .	125
IX.	Espaciamientos y Distancias Mínimas al Borde de Placa Base Para Barras de Anclaje . . . . .	130

X.	Resultados Obtenidos Para el Caso de la Columna de Edificio Producto de la Aplicación del Método Conservador de Lincoln y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 . . . . .	261
XI.	Resultados Obtenidos Para el Caso de la Chimenea Industrial Producto de la Aplicación del Método Conservador de Brownell & Young y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 . . . . .	262

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Anclajes del Tipo Preinstalados . . . . .	22
2. Anclajes del Tipo Postinstalados . . . . .	23
3. Modalidades de Fallas de los Anclajes . . . . .	34
4. Cono de Arrancamiento por Tensión . . . . .	36
5. Cono de Arrancamiento por Cortante . . . . .	37
6. Cálculo de $A_{Nco}$ y de $A_{Nc}$ Para Anclajes Individuales y Grupos de Anclajes . . . . .	43
7. Tensión en Elementos Angostos . . . . .	45
8. Definición de la Dimensión $e_N'$ Para un Grupo de Anclajes . . . . .	46
9. Refuerzo de Anclaje Para Tensión . . . . .	50
10. Cálculo de $A_{Vco}$ . . . . .	58
11. Fuerza Cortante Paralela a un Borde . . . . .	58
12. Cálculo de $A_{Vc}$ Para un Solo Anclaje y Grupos de Anclajes . . . . .	59
13. Fuerza Cortante Cerca de una Esquina . . . . .	60
14. Cortante Cuando los Anclajes Están Influenciados por 3 o más Bordes . . . . .	62
15. Definición de $e_v'$ Para un Grupo de Anclajes . . . . .	63
16. Refuerzo de Anclaje de Horquilla Para Cortante . . . . .	66

17.	Refuerzo de Borde y Refuerzo de Anclaje Para Cortante . . . . .	66
19.	Conexión de Bota (Canal y Atiesador) . . . . .	92
20.	Detalle de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje . . . . .	94
21.	Primera Opción . . . . .	100
22.	Segunda Opción . . . . .	101
23.	Tercera Opción . . . . .	102
24.	Cuarta Opción . . . . .	102
25.	Columna de un Edificio Sometida a la Acción de una Carga Axial de Compresión y un Momento . . . . .	146
26.	Ubicación de la Carga Excéntrica . . . . .	147
27.	Generación de Fuerzas a Partir de la Acción de la Carga Excéntrica . . . . .	148
28.	Detalle de "f" . . . . .	148
29.	Dimensiones de la Placa Base . . . . .	149
30.	Cálculo del Esfuerzo $\sigma_1$ y del Momento al Paño de la Columna . . . . .	150
31.	Tipo de Atiesador a Usar . . . . .	151
32.	Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje . . . . .	153
33.	Cálculo de $\sigma_{prom.atiesa}$ . . . . .	157
34.	Momento en la Soldadura . . . . .	160
35.	Soldadura en Bordes Superior e Inferior . . . . .	161
36.	Soldadura en Bordes Laterales . . . . .	162
37.	Soldadura en Bordes Laterales y Superior . . . . .	162
38.	Soldadura en los 4 Bordes . . . . .	163

39.	Distancia Entre Centroides de Patines y Ancho de Patín . . . . .	165
40.	Representación de la Carga Excéntrica P . . . . .	168
41.	Fuerzas Resistentes Originadas por la Acción de la Carga Excéntrica P . . . . .	168
42.	Tipo de Barra a Usar . . . . .	170
43.	Detalle de $h_{ef}$ . . . . .	170
44.	Falla del Acero . . . . .	170
45.	Cálculo de $A_{Nc}$ . . . . .	171
46.	Falla por Arrancamiento . . . . .	171
47.	Falla por Deslizamiento . . . . .	172
48.	Estimación de Dimensiones de la Placa Base . . . . .	172
49.	Falla por Fisuramiento . . . . .	174
50.	Distribución de $T_{act}$ Sobre Cada Anclaje . . . . .	174
51.	Cálculo de la Excentricidad $e_N'$ . . . . .	176
52.	Detalle #1 de $e_N'$ . . . . .	178
53.	Detalle #2 de $e_N'$ . . . . .	178
54.	Cálculo de la Longitud Requerida Para la Placa Base . . . . .	181
55.	Detalle de los Esfuerzos $\sigma_c$ y $\sigma_{c1}$ . . . . .	183
56.	Dimensiones Finales de la Placa Base . . . . .	183
57.	Detalle del Canal y el Atiesador . . . . .	184
58.	Detalle de los Esfuerzos $\sigma_c$ , $\sigma_{c2}$ y $\sigma_{c3}$ . . . . .	188
59.	Componentes de $M_{soldadura}$ . . . . .	190
60.	Detalle de la Soldadura en Bordes Superior e Inferior . . . . .	191

61.	Detalle de la Soldadura en los 2 Bordes Laterales . . . . .	191
62.	Detalle de la Soldadura en 3 Bordes . . . . .	192
63.	Detalle de la Soldadura en los 4 Bordes . . . . .	192
64.	Longitud de Soldadura por Cada Patín . . . . .	194
65.	Comportamiento de las Barras de Anclaje Ante la Acción de las Cargas Actuantes . . . . .	198
66.	Distribución de Fuerzas Inducidas y Áreas de Acero y Concreto . . . . .	202
67.	Placa Base en Forma de Ángulo Rolado de Acero . . . . .	212
68.	Placa Base en Forma de Viga-Anillo . . . . .	213
69.	Placa Base en Forma de Asientos Centrados Para Barras de Anclaje . . . . .	214
70.	Cargas Actuantes Sobre la Chimenea . . . . .	217
71.	Representación de la Carga Excéntrica $W_{dw}$ . . . . .	217
72.	Fuerzas Resistentes Originadas por la Acción de la Carga Excéntrica $W_{dw}$ . . . . .	218
73.	Distribución de Barras de Anclaje y Cuadrante de Análisis . . . . .	218
74.	Distancia de las Barras de Anclaje al Borde de la Placa Base . . . . .	221
75.	Diagrama de Esfuerzos Para la Estimación de $f_c$ aprox. barras . . . . .	222
76.	Detalle de las Fuerzas Inducidas . . . . .	223
77.	Cálculo de $A_{Nc}$ Para Chimeneas Industriales . . . . .	243
78.	Distribución de $T_{act}$ Sobre Cada Anclaje Para el Caso de Chimeneas Industriales . . . . .	246

## NOMENCLATURA

A	Área total de las barras de anclaje a usar para un sistema de anclaje de una chimenea industrial
$A_{alma}$	Área del alma del canal que se utilice como parte de la sección efectiva de resistencia del anclaje
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
$A_{barra}$	Área de barra de anclaje a usar
$A_{brg}$	Área de apoyo de la cabeza de un perno o tornillo de anclaje, barra corrugada con cabeza
ACI	American Concrete Institute
AISC	American Institute of Steel Construction
$A_{mín}$	Área mínima de placa base
$A_{nc}$	Área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo o en un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia a tensión
$A_{nco}$	Área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a tensión cuando no se encuentra limitada por la distancia al borde o el espaciamiento
$A_{patín}$	Área del patín de un perfil de acero
$A_{req}$ anclajes	Área requerida para las barras de anclaje
$A_s$	Área de las barras de anclaje en tensión
$A_{se,N}$	Área efectiva de la sección transversal del anclaje en tensión

$A_{se,V}$	Área efectiva de la sección transversal del anclaje en cortante
ASTM	American Society for Testing and Materials
$A_{atiesador}$	Área del tipo de atiesador que se utilice como parte de la sección efectiva de resistencia del anclaje
$A_{Vc}$	Área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo o de un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia al cortante
$A_{Vco}$	Área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a cortante, cuando no se encuentra limitada por la influencia de una esquina, del espaciamiento o del espesor del elemento
b	Ancho de la sección transversal del perfil de acero de una columna
b	Espaciamiento entre los atiesadores a usar en un sistema de anclaje de una chimenea industrial
B	Ancho de la placa base
$b_f$	Ancho del patín de un perfil de acero
$c_{a1}$	Distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en una dirección. Si se aplica cortante al anclaje, $c_{a1}$ se mide en la dirección de la fuerza cortante aplicada. Si se aplica tensión al anclaje, $c_{a1}$ es la mínima distancia al borde
$c_{a2}$	Distancia desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en dirección perpendicular a $c_{a1}$
$c_{ac}$	Distancia crítica al borde requerida para desarrollar la resistencia básica del concreto al arrancamiento de un anclaje post instalado en concreto no fisurado sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento (agrietamiento)
$c_{a,máx}$	Máxima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto
$c_{a,mín}$	Mínima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto

CIRA	Construction Industry Research and Information Association
$d$	Peralte de la sección transversal de un perfil de acero
$d$	Diámetro del círculo de barras de anclaje
$d_a$	Diámetro exterior de un anclaje o diámetro del fuste del perno con cabeza, del tornillo con cabeza o del perno con forma de gancho
$d_a'$	Valor que se sustituye por $d_a$ cuando se emplea un anclaje sobre dimensionado
$D$	Largo de la placa base
$D_{e\text{ placa}}$	Diámetro exterior de una placa base circular
$D_{i\text{ placa}}$	Diámetro interior de una placa base circular
$e$	Excentricidad de la carga
$E_c$	Módulo de elasticidad del concreto
$e_h$	Distancia desde la superficie interna del fuste de un perno en forma de J o de L hasta la parte externa de la punta del perno en forma de J o L
$e_{N'}$	Distancia entre la resultante de tensión en un grupo de anclajes cargados en tensión y el centroide del grupo de anclajes cargados en tensión; $e_{N'}$ es siempre positiva
E.N.C.	Eje neutro de la columna
E.N.S.E.	Eje neutro de la sección efectiva de resistencia del anclaje
$e_{\text{real}}$	Excentricidad real entre el punto de aplicación de la fuerza de tensión actuante y el centroide del grupo de anclajes
$E_s$	Módulo de elasticidad del acero
$e_v'$	Distancia entre la carga resultante de cortante en un grupo de anclajes solicitados en cortante en la misma dirección y el centroide del grupo de anclajes cargados a cortante en la misma dirección; $e_v'$ es siempre positiva
$f$	Resistencia requerida de soldadura por unidad de longitud

$f$	Distancia entre el eje neutro de la columna y el centroide de las barras de anclaje en tensión
$F_{\text{atiesador}}$	Fuerza en un atiesador
$F_c$	Fuerza de compresión inducida
$f_c$	Esfuerzo de compresión inducido en la porción de concreto ubicada bajo el círculo de barras de anclaje de un sistema correspondiente a una chimenea industrial
$f'_c$	Resistencia especificada a la compresión del concreto
$f_c$ aprox. barras	Esfuerzo de compresión aproximado en el círculo de barras de anclaje
$f_c$ círculo barras	Esfuerzo de compresión en el círculo de barras de anclaje
$f_c$ máx	Esfuerzo permisible máximo de compresión del concreto
$f_c$ máx inducido	Esfuerzo máximo de compresión en el concreto ubicado bajo el círculo de barras de anclaje de un sistema de anclaje correspondiente a una chimenea industrial
$F_{nt}$	Esfuerzo nominal de tensión
$f_s$	Esfuerzo de tensión inducido en el acero del círculo de barras de anclaje
$f_s$ permi	Esfuerzo permisible del acero a utilizar para el diseño de las barras de anclaje
$f_s$ comp.	Esfuerzo máximo de compresión en el círculo de barras de anclaje de un sistema de anclaje perteneciente a una chimenea industrial
$F_t$	Fuerza de tensión inducida
$F_{\text{total en el canal}}$	Fuerza total de compresión en el canal
$F_u$	Resistencia mínima especificada a la tensión
$f_{uta}$	Resistencia especificada a la tensión del acero del anclaje
$F_y$	Esfuerzo mínimo de fluencia del tipo de acero a usar

$f_{ya}$	Resistencia especificada a la fluencia en el acero del anclaje
$h_a$	Espesor de un elemento en el que se coloca un anclaje, medido paralelamente al eje del anclaje
$h_{ef}$	Profundidad efectiva de embebido del anclaje
$l_{mín}$	Longitud efectiva mínima de soldadura
$I_n$	Momento de inercia alrededor del eje neutro de la sección efectiva de resistencia del anclaje
$I_y$	Momento de inercia alrededor del eje y
$k_c$	Coficiente para la resistencia básica al arrancamiento del concreto en tensión
$k_{cp}$	Coficiente para la resistencia al desprendimiento por cabeceo del anclaje
$L$	Longitud de cordón de soldadura para ambos lados de cada atiesador
$l$	Longitud de la soldadura en cada patín
$l_e$	Longitud de apoyo de la carga de un anclaje para cortante
$M$	Momento flexionante actuante en el elemento estructural
$M_{máx}$	Momento flexionante máximo en una placa base circular
$M_{paño-columna}$	Momento al paño de la columna
$M_{soldadura}$	Momento en la soldadura
$M_{viento}$	Momento ocasionado por la acción del viento en una chimenea industrial
$M_x$	Momento flexionante máximo en una placa base en la dirección x
$M_y$	Momento flexionante máximo en una placa base en la dirección y
$N$	Número de barras de anclaje a utilizar para un sistema de anclaje de una chimenea industrial

$n$	Relación entre el módulo de elasticidad del acero y el del concreto
$n$	Número de unidades, tales como ensayos de resistencia, barras, alambres, dispositivos de anclaje para torones individuales, anclajes o brazos de una cabeza de cortante
$N_{atiesa}$	Número de atiesadores a considerar en un sistema de anclaje correspondiente a una chimenea industrial
$N_b$	Resistencia básica al arrancamiento del concreto en tensión de un solo anclaje en concreto fisurado
$n_{bg}$	Número de barras de anclaje por cada línea de gramil
$N_{cb}$	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tensión de un solo anclaje
$N_{cbg}$	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tensión de un grupo de anclajes
$N_n$	Resistencia nominal en tensión
$N_p$	Resistencia a la extracción por deslizamiento por tensión de un solo anclaje en concreto fisurado
$N_{pn}$	Resistencia nominal a la extracción por deslizamiento por tensión de un solo anclaje
$N_{sa}$	Resistencia nominal de un solo anclaje o de un grupo de anclajes en tensión determinado por la resistencia del acero
$N_{sb}$	Resistencia al desprendimiento lateral de un solo anclaje
$N_{sbg}$	Resistencia al desprendimiento lateral de un grupo de anclajes
$n_t$	Número de hilos de paso por pulgada
$N_{ua}$	Fuerza mayorada de tensión aplicada a un anclaje o grupo de anclajes
$P$	Carga axial de compresión actuante
$p$	Esfuerzo permisible de compresión del concreto
$P_c$	Carga axial de compresión actuante en el elemento estructural

PCI	Precast/Prestressed Concrete Institute
$P_T$	Fuerza de tensión actuante
$r$	Radio de la sección transversal de las barras de anclaje
$R_{sf}$	Resistencia de la soldadura de filete
$s$	Espaciamiento medido centro a centro de unidades tales como refuerzo longitudinal, refuerzo transversal, tendones de preesfuerzo, alambres o anclajes
$t$	Espesor de la placa base
$t_1$	Espesor del área equivalente al área real de las barras de anclaje
$t_2$	Espesor del área equivalente al área real del concreto
$t_4$	Espesor de una placa base circular
$T_{act}$	Fuerza de tensión actuante
$t_f$	Espesor del patín de un perfil de acero
$t_{propuesto}$ o $t_3$	Ancho de una placa base circular
$T_R$	Resistencia a la tensión de las barras de anclaje
$t_{sf}$	Tamaño requerido de soldadura en la union entre la columna y la placa base
$t_w$	Espesor del alma de un perfil de acero
$V_b$	Resistencia básica al arrancamiento por cortante de un solo anclaje en concreto fisurado
$V_{cb}$	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante de un solo anclaje
$V_{cbg}$	Resistencia nominal al arrancamiento del concreto al cortante de un grupo de anclajes
$V_{cp}$	Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un anclaje solo

$V_{cpg}$	Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un grupo de anclajes
$V_n$	Resistencia nominal a cortante
$V_{sa}$	Resistencia nominal a cortante de un solo anclaje o de un grupo de anclajes determinada por la resistencia del acero
$V_{ua}$	Fuerza cortante mayorada aplicada a un anclaje solo o a un grupo de anclajes
$W_{dw}$	Carga muerta de la chimenea
$x$	Distancia entre el eje de referencia seleccionado y el eje neutro de la sección efectiva de resistencia del anclaje (E.N.S.E.)
$Y$	Longitud efectiva de resistencia
$\phi$	Factor de reducción de resistencia
$\Psi_{c,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tensión de anclajes con base en presencia o ausencia de fisuras en el concreto
$\Psi_{c,V}$	Factor de modificación para resistencia a cortante de anclajes con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto y la presencia o ausencia de refuerzo suplementario
$\Psi_{cp,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tensión de anclajes postinstalados utilizados en concreto no fisurado y sin refuerzo suplementario
$\Psi_{ec,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tensión de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas
$\Psi_{ec,V}$	Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas
$\Psi_{ed,N}$	Factor de modificación para la resistencia a tensión de anclajes con base en la proximidad a los bordes del elemento de concreto

$\Psi_{ed,V}$	Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la proximidad a los bordes del elemento de concreto
$\Psi_{h,V}$	Factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes colocados en elementos de concreto con $h_a < 1.5c_{a1}$
$\lambda$	Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión
$\sigma$	Esfuerzo máximo de flexión
$\sigma_c$	Esfuerzo de compresión en el extremo de los atiesadores
$\sigma_{c2}$	Esfuerzo al paño del alma del canal
$\sigma_{c3}$	Esfuerzo al paño de la columna
$\sigma_{prom.alma-canal}$	Esfuerzo promedio en el alma del canal
$\sigma_{prom.atiesa}$	Esfuerzo promedio en los atiesadores
$\sigma_T$	Esfuerzo de tensión en las barras de anclaje a tensión
$\sigma_y$	Esfuerzo mínimo de fluencia del tipo de acero a usar
$\omega$	Espesor requerido de soldadura de filete

## **CAPÍTULO 1**

### **DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MISMO**

## **CAPÍTULO 1**

### **DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MISMO**

#### **1.1 Introducción**

Cuando se procede al análisis y diseño de la estructura propuesta para un proyecto específico, como puede ser el caso de un edificio de grandes dimensiones, un estadio deportivo, un puente de gran envergadura, una chimenea industrial, etc., el profesional encargado de tan delicada e interesante tarea tiene que tomar en cuenta todos y cada uno de los detalles que dicho procedimiento involucra, desde todas las posibles cargas que puedan llegar a actuar sobre la estructura del proyecto, hasta la búsqueda de la optimización global de un diseño funcional y económico.

Ahora bien, para el caso específico de un proyecto concebido a partir de una estructura de acero cimentada sobre una de concreto, dentro de todos los aspectos o elementos a considerar sobresalen los tipos de conexiones que se diseñarán para la unión entre estas dos estructuras hechas de dos materiales distintos. Estas conexiones, por su naturaleza y función, poseen un alto grado de importancia que las convierte en elementos que deben considerarse como imprescindibles a la hora de diseñar estructuras mixtas de acero apoyadas sobre cimentaciones a base de concreto.

Por tal razón, el análisis y diseño de los diferentes tipos de conexiones o propiamente dicho, sistemas de barras de anclaje, que podemos tener dentro de este tipo de estructura, es un tema de vital importancia que merece ser estudiado y analizado a profundidad, por la relevancia que posee dentro del proceso del diseño estructural.

## **1.2 Definición del Tema de Investigación**

Históricamente hablando, es importante mencionar que a través de los años, el Instituto Americano del Concreto (ACI, siglas en inglés), ha venido perfeccionando la normativa dentro de la cual se enmarcan los requisitos mínimos y necesarios para un diseño adecuado de los sistemas de barras de anclaje para la unión de estructuras de acero a cimentaciones de concreto. Dicha institución ha venido trabajando en estas regulaciones desde finales de la década de los 90's, con el propósito de condensar en un único compendio, todas las especificaciones condicionantes del diseño de sistemas de este tipo.

Finalmente, fue hasta el año 2002, en el Código ACI 318-02 que pudieron presentar todos estos requisitos como un solo conjunto, habiéndose éstos constituido como el ya conocido Apéndice D del código. Después de 6 años de haberse realizado la primera versión de este apéndice, nos encontramos con una nueva versión del mismo en el Código ACI 318S-08, titulada de la misma manera, el cual es un apartado ya mejorado y mejor sustentado, que permite

diseñar con mayor claridad los diferentes tipos de sistemas de anclajes de estructuras de acero a cimentaciones de concreto.

Es por ello que debido al alto grado de importancia que posee esta normativa, al gran aporte que ha hecho con las regulaciones que expone y a la búsqueda del uso óptimo de dichos requerimientos de diseño, en la presente tesis de investigación, se ha definido como tema de la misma, el estudio de la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 al diseño de sistemas de barras de anclaje preinstalados como elementos esenciales de conexión entre estructuras de acero y cimentaciones de concreto, bajo la forma de un método automatizado apoyado sobre la implementación de un programa computarizado. Para tal fin, los pilares básicos para el estudio de la aplicación de dicho método serán, por un lado, la norma establecida por el Reglamento del ACI 318S-08 en su sección titulada Apéndice D (fundamento teórico del método), y por otra parte, el uso del programa de cálculo conocido como Excel (herramienta de aplicación del método), el cual forma parte del paquete computarizado denominado Microsoft Office.

En términos sencillos, lo que se buscará a lo largo del desarrollo del presente trabajo, será el evaluar la aplicación de un método bajo un formato automatizado por medio del cual se puedan diseñar de una forma práctica, rápida, segura y apegada al reglamento sobre el cual están basados los requisitos de diseño, sistemas de anclaje del tipo preinstalados de estructuras de acero a cimentaciones de concreto, para diversos casos estructurales a seleccionar.

### 1.3 Importancia del Tema de Investigación

Ahora, es interesante mencionar que a pesar de contar en la actualidad con una norma muy bien diseñada para la concepción de sistemas de anclaje de estructuras de acero a cimentaciones de concreto, tal y como lo expone el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, no se ha creado hasta este momento, un formato automatizado apoyado sobre la plataforma sólida de un programa de cálculo eficiente, como lo es el Programa Excel de Microsoft Office, para el método de diseño propuesto por la normativa ya mencionada en relación al diseño de sistemas de anclajes preinstalados.

Por tales razones, se considera que al tener una normativa muy bien explicada como lo es el Apéndice D, la cual fue aprobada y revisada por un ente regulador de la materia de gran jerarquía como lo es el Instituto Americano del Concreto (ACI), y que a su vez, posee un método de diseño basado en ella que pueda ser utilizado para diversos casos estructurales de aplicación pero sin contar con el apoyo de un formato automatizado para la aplicación rápida y segura del mismo, amerita ser considerada como un importantísimo y necesario tema de estudio.

En conclusión, un tema que ya es parte de una reglamentación, y que por ende debe de ponerse atención y obediencia, y que adicionalmente posee un método de diseño que tiene la carencia de una aplicación automatizada y directa del mismo, es necesario e imprescindible considerarlo como tema de estudio y

desarrollo para un trabajo de investigación con el cual se busque contribuir de manera significativa, al avance de la ciencia de la Ingeniería Estructural.

A continuación, en el siguiente capítulo se describirán brevemente algunos de los más importantes métodos conservadores tradicionales que se han venido utilizando para el diseño de sistemas de anclaje de estructuras de acero en cimentaciones de concreto, la historia del Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, las definiciones básicas que se deberán de tener en cuenta a lo largo del estudio de la normativa y los requerimientos de diseño establecidos por el Apéndice D, base fundamental teórica del método a estudiar en capítulos posteriores.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANTECEDENTES**

## **CAPÍTULO 2**

### **ANTECEDENTES**

#### **2.1 Introducción**

Como ya se pudo apreciar en el capítulo anterior, uno de los temas más importantes que se pueden abordar dentro del campo del diseño estructural, es el correspondiente al diseño adecuado de los sistemas de anclaje de diversos tipos de casos estructurales hechos a base de una estructura primaria de acero apoyada sobre un sistema de cimentación construido a base de concreto.

El tratamiento que se le debe de dar a este tipo de conexiones entre elementos de diferentes tipos de sistemas constructivos, es de vital importancia dentro del proceso de análisis, diseño y construcción de la estructura de una obra, pues los elementos que la componen podrán estar bien diseñados, pero si sus conexiones no lo están, de nada habrá servido el proceso planeado y ejecutado a la hora de diseñar y construir la estructura de dicha obra.

En el presente capítulo, se hará una revisión bibliográfica del tema que se ha seleccionado como el objetivo de estudio de la presente tesis de investigación, de tal forma que se pueda llegar a tener un panorama claro de lo que se ha venido realizando en todo lo que respecta al tema escogido y a su vez, encontrar ejemplos resueltos que puedan servir como puntos de comparación con los resultados que se obtendrán a partir de la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 a esos mismos ejemplos. Una vez que se hayan revisado los

antecedentes, en el siguiente capítulo se expondrán los objetivos que se buscan con el desarrollo del presente trabajo, para posteriormente, llegar a plantear la hipótesis que se pretenderá demostrar y cuál será toda la metodología a implementar para estudiar de la mejor manera la aplicación automatizada del método ya descrito de forma generalizada en párrafos anteriores, y que a su vez, nos lleve a la obtención de los resultados que avalen o nieguen lo plasmado en la hipótesis.

## **2.2 Métodos Conservadores Tradicionales**

Antes de la aparición del Apéndice D dentro del Reglamento para el Concreto Estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI), se habían venido utilizando varios métodos conservadores, los cuales, fueron creados con el objetivo principal de buscar el diseño más funcional y económico posible para sistemas de anclaje correspondientes a diversos casos estructurales típicos (Ej.: edificios, puentes, chimeneas, etc.); cabe señalar que los casos estructurales tratados por estos métodos poseen la característica común de ser una estructura mixta, es decir, una combinación de acero y concreto, donde, el primero corresponde al material de la superestructura, y el segundo, al material de la cimentación.

Ahora bien, es importante destacar que estos métodos, por su naturaleza y sobretodo por la complejidad del comportamiento de la gran variedad de casos estructurales que se pueden encontrar en la vida diaria, fueron creados con el

objeto de resolver casos específicos, es decir, que no son métodos estandarizados que puedan resolver todos los diferentes casos de estructuras que puedan presentarse. En otras palabras, para cada caso estructural se aplica un método en particular.

A continuación se describirán de una manera breve, algunos métodos conservadores que, por su base teórica y lo razonable de los resultados que han brindado a través de los años para una gran cantidad de proyectos, son considerados como métodos fundamentales de estudio y predecesores del tipo de método que se pretende estudiar en el presente trabajo.

#### 2.2.1 Método Conservador de Lincoln

El Método Conservador de Lincoln <sup>[13]</sup> es un método que fue desarrollado por The James F. Lincoln Arc Welding Foundation en la década de los 60's, con el objeto de proporcionar al profesional de la Ingeniería Estructural un método por medio del cual se pudieran diseñar en una forma global y de una manera eficiente, segura y económica, sistemas de anclaje para una cierta variedad de casos estructurales, específicamente hablando, para elementos estructurales tipo columna.

El método en sí se ha constituido a lo largo de los años como una forma muy completa para diseñar sistemas de anclaje, ya que en él, por medio del diseño de la denominada “sección efectiva de resistencia del anclaje”,

se abarca, en un único procedimiento, el diseño tanto de las barras de anclaje que se propongan para el sistema, así como también el diseño de la conexión de bota que se requiera en la base del elemento estructural, la cual, usualmente estará formada por atiesadores y/o un canal, ambos distribuidos de forma simétrica a ambos lados del elemento (en los patines propiamente dicho). Asimismo, el uso de este método contempla también el diseño de la placa base de soporte para el sistema de anclaje y el elemento estructural involucrado, para asegurar la transmisión uniforme de fuerzas hacia la cimentación.

Es interesante acotar que a pesar de que este método es muy completo desde el punto de vista de que para el diseño del sistema de anclaje considera el comportamiento estructural global del mismo, es decir, toma en cuenta el comportamiento de las barras de anclaje en tensión en combinación con el de la conexión de bota seleccionada y el del mismo elemento estructural que se está analizando. Sin embargo, no toma en cuenta la interacción directa que se da entre las barras de anclaje y el concreto del que está hecho la cimentación. A pesar de ello, es un método que ha sido utilizado por muchos profesionales y que a lo largo de muchos años ha dado resultados bastante satisfactorios.

### 2.2.2 Método Conservador de Brownell & Young

El Método Conservador de Brownell & Young <sup>[15]</sup> es un método que fue desarrollado por Lloyd E. Brownell y Edwin H. Young durante la década de los 50's, con el fin de proveer una base de diseño para sistemas de anclaje de chimeneas industriales en cimentaciones de concreto.

Al igual que el Método Conservador de Lincoln, el presente método se ha constituido a lo largo de los años como uno de los métodos más completos que existen y su aplicación al diseño de sistemas de anclaje para chimeneas industriales ha brindado resultados bastante razonables. En este método, el diseño del sistema de anclaje para una chimenea industrial se efectúa por medio de un procedimiento iterativo de convergencia, en el cual se van calculando los valores de los esfuerzos inducidos en el círculo de barras de anclaje, tanto para el acero de las barras como para el concreto de apoyo de éstas, de tal forma que con estos valores se vaya calculando el valor del factor de proporcionamiento "k", con el fin de llegar a determinar su valor final aproximado. Una vez hecho lo anterior, se calculan los esfuerzos máximos de compresión tanto en las barras de anclaje como en el concreto de cimentación, con lo cual se realiza la revisión final del sistema de anclaje propuesto. Adicionalmente, con este método también se llega a determinar el diseño de la placa base de soporte del sistema de anclaje, pero en una forma distinta a la del Método Conservador de Lincoln.

Finalmente, al igual que en el caso del Método Conservador de Lincoln, el Método Conservador de Brownell & Young tampoco toma en cuenta la interacción directa de comportamiento que se da entre las barras de anclaje y el concreto del que está hecho la cimentación, ya que para el diseño del sistema de anclaje, sólo considera la interacción de comportamientos que se da entre el de la chimenea industrial, el de las barras de anclaje y el de la placa base.

### 2.2.3 Especificación Normalizada Para Puentes Carreteros (AASHTO) <sup>[18]</sup>

La especificación hecha por la AASHTO para el diseño de sistemas de anclaje (propriadamente hablando para el caso de puentes), está basada fundamentalmente en utilizar la resistencia o capacidad última de los conectores de corte tipo barra junto con un factor de reducción de resistencia de 0.85. Para la revisión del sistema propuesto, se requiere la ejecución de verificaciones para el corte horizontal bajo cargas de servicio, para que finalmente, se puedan llegar a comparar las cargas de servicio con las cargas admisibles <sup>[18]</sup>.

La proposición de las barras de anclaje a usar (tamaño, número de barras y longitud embebida requerida) se hace con base en la longitud que posea el puente <sup>[18]</sup>, según lo indicado por la especificación respectiva de la AASHTO

#### 2.2.4 Anuario de Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) <sup>[18]</sup>

En términos generales, en la norma ASTM E 488 titulada “Métodos de Ensayo Normalizados Para Determinar la Resistencia de Anclajes en Elementos de Hormigón y Mampostería”, se describen los procedimientos necesarios para llegar a determinar las resistencias estática, dinámica y a la tensión por fatiga, para sistemas de anclaje preinstalados, químicos, de expansión y otros <sup>[18]</sup>.

#### 2.2.5 Construction Industry Research and Information Association (CIRA) <sup>[18]</sup>

La guía de la CIRA titulada “Selección y Empleo de Dispositivos de Fijación en Hormigón y Mampostería”, es una guía amplia cuyo objeto primordial es el de proporcionar diferentes opciones de anclajes para su selección, teniendo un campo de aplicación que abarca tres tipos de anclajes, los preinstalados, los de expansión y los anclajes cementados. Adicionalmente, esta guía también proporciona información relativa a consideraciones prácticas y de diseño para sistemas de anclaje, limitaciones, durabilidad, ensayos y comportamiento estructural de las barras que conforman el sistema <sup>[18]</sup>.

### 2.2.6 Manual de Diseño PCI [18]

El Manual de Diseño PCI, en esencia, lo que hace es plantear algunas consideraciones de diseño basadas en ciertos fundamentos que son muy similares a aquéllos sobre los que se encuentra basado el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, razón por la cual se le puede considerar como uno de los métodos que tuvo una influencia significativa en la creación de dicho apéndice. Este manual posee una sección en la cual, a partir de la consideración de un modelo cónico para una posible falla del concreto usado como base para el cálculo de la tensión real de cada una de las barras de anclaje, se pueden encontrar expresiones para calcular las cargas de corte y tensión admisibles para las barras, un estudio del caso de cargas combinadas, cuáles son las distancias requeridas a los bordes y la separación entre barras de anclaje.

A continuación, en la siguiente sección se describirá de una forma resumida, la historia del surgimiento del Apéndice D dentro del Reglamento del ACI 318S-08.

### **2.3 Surgimiento del Apéndice D Dentro del Reglamento del ACI 318S-08**

Por la importancia que este tema posee, dicho tópico tiene un apartado especial dentro de la norma que regula el diseño de estructuras de concreto reforzado. Dichas regulaciones para este tema, están contenidas dentro del Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, constituyéndolo como un capítulo especial dentro de dicha normativa.

Ahora bien, este apéndice no siempre estuvo presente dentro del reglamento de diseño del ACI 318. Si nos remontamos a épocas anteriores a la aparición del Reglamento del ACI 318-02, nos encontraremos que la normativa reguladora del diseño de anclajes de diferentes tipos de estructuras al concreto, no existía como tal dentro del reglamento de esta institución. Lo que estaba disponible antes del año 2002, eran ciertas fuentes de información que se encargaban de proporcionar los elementos básicos para el diseño de anclajes; claro, hay que acotar que toda esta información no se encontraba contenida dentro de un único compendio relacionado con el tema. Cabe destacar que estas fuentes de información eran: <sup>[6]</sup>

- a. El Apéndice B del ACI 349-85
- b. El Manual de Diseño PCI
- c. Las especificaciones dictadas por los fabricantes de anclajes.

Los dos primeros eran los que proveían las regulaciones para el diseño de anclajes colados in situ (anclajes preinstalados), y el tercero era el que proporcionaba las especificaciones para los anclajes incorporados al concreto endurecido (anclajes postinstalados) [6].

Fue así como a finales de la década de los 90, el Comité ACI 318 tomó la iniciativa de crear una normativa conjunta comprendida en un sólo estudio o apartado especial, la cual, englobara todos los requerimientos necesarios para el diseño adecuado de anclajes de estructuras al concreto, ya fueran del tipo preinstalado o del tipo postinstalado. Para dicha labor, contó con el respaldo del Comité ACI 355 (anclaje en concreto) y el Comité ACI 349 (estructuras nucleares de concreto) [6].

Como resultado de esta cooperación mutua, en la cual, el Comité ACI 318 se enfocó en el planteamiento de los requisitos de diseño y el Comité ACI 355 en el desarrollo de un método de ensayo mediante el cual se pudiese evaluar el comportamiento de los anclajes postinstalados, fue que nació el famoso Apéndice D, planteado exclusivamente para regularizar el diseño de anclajes preinstalados y postinstalados para la adhesión de estructuras a sistemas estructurales de concreto, y cuya incorporación al Reglamento del ACI, se tenía prevista dentro de la publicación del Código ACI 318-99 [6]. Claro está que esto último al final no se daría, por el hecho de que el Comité ACI 355 tenía que aprobar el método de ensayo correspondiente a la evaluación del comportamiento de los anclajes postinstalados, aprobación que era exigida por

el procedimiento de consenso por el cual se regula el ACI y que no se daría dentro del plazo estipulado por la publicación del Código ACI 318-99 [6].

Para evitar posponer su inclusión dentro del Reglamento del ACI, se propuso incluir dicho apéndice dentro del código ya mencionado, pero orientado sólo al diseño de anclajes preinstalados, cosa que tampoco se logró por la falta de tiempo disponible que satisficiera las fechas establecidas por el ICC (International Code Council) para la presentación del Código ACI 318-99 ya publicado, a fin de ser incluido en el IBC 2000 [6].

Como consecuencia de lo anterior, al final lo que se logró fue que las regulaciones que en un principio iban a constituir el Apéndice D del Código ACI 318-99 excluyendo las disposiciones para anclajes postinstalados, fueran presentadas y aprobadas para ser incorporadas en el artículo 1913 del IBC 2000 [6].

Posterior a esto, ya con la publicación del Código ACI 318-02 con su respectivo Apéndice D, titulado “Anclaje en Concreto”, en el cual se plasmaron las regulaciones para el diseño de anclajes preinstalados y postinstalados, y la aparición de la norma ACI 355.2 titulada “Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos Incorporados al Concreto Endurecido”, el artículo 1913 del IBC fue remplazado como una referencia al Apéndice D de la norma ACI 318-02 [6].

A los tres años de haber salido publicado el Apéndice D dentro del Código ACI 318-02, se publica el Código ACI 318S-05 en enero del año 2005.

Al compararse los respectivos Apéndices D de cada uno de los códigos (2002 y 2005), se llega a la conclusión de que el primer Apéndice D sufrió algunas modificaciones, las cuales fueron llevadas a cabo con el propósito de aclarar y mejorar de manera significativa, el contenido expuesto en la primera versión de dicho apéndice <sup>[17]</sup>. En términos generales, las modificaciones sufridas por esa primera versión se pueden señalar como las siguientes <sup>[17]</sup>:

aclaraciones de tipo editorial, aclaración de conceptos y formas de calcular ciertos parámetros (ej.; magnitud de “ $h_{ef}$  modificado” para calcular la resistencia al desprendimiento del concreto, aclaración de cómo calcular la resistencia al desprendimiento del concreto por corte cerca de 3 ó 4 bordes), exigencia de realización de ensayos para ciertos tipos de anclajes postinstalados bajo ciertas circunstancias y perfeccionamiento de algunas normativas (factores, distancias, entre otros) por confirmación de ensayos realizados que demostraban lo contrario a lo expuesto en la primera versión <sup>[17]</sup>.

En años más recientes, después del perfeccionamiento hecho al Apéndice D para el Código ACI 318S-05, surge una nueva publicación del mismo: el ACI 318S-08. Ahora bien, al comparar los apéndices de ambos códigos, nos daremos cuenta de que en esencia, ambos siguen siendo lo mismo, tanto en contenido (conceptos, aplicaciones y ecuaciones), forma del mismo y

comentarios. De las muy pocas diferencias que podemos señalar que existen entre los apéndices de uno y otro código, encontramos:

introducción de conceptos aclaratorios en contenido y comentarios (ej.: refuerzo del anclaje, grupo de anclajes), aclaración de notación de fórmulas, introducción del factor “ $\lambda$ ” en ecuaciones y modificación ligera de algunas constantes dentro de éstas (ej.: en la ecuación D-17 se modificó la constante 13.3 y se colocó 13, además de que se introdujo el factor  $\lambda$ ), introducción del factor “ $\Psi_{h,v}$ ”.

En nuestro caso, el Reglamento del ACI 318S-08 es el que contiene el Apéndice D en el cual está basado el método de estudio del presente trabajo, el cual, nos permitirá llevar a cabo la resolución de casos típicos de diseño de sistemas de anclaje al concreto para diversos tipos de estructuras (específicamente hablando sistemas de anclaje preinstalado), haciendo uso de una poderosa herramienta computacional, el diseño de una hoja de cálculo por medio del Programa Excel para la resolución de cualquier problema aplicado.

## 2.4 Definiciones

En la presente sección, se hace la exposición de diversos conceptos que el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, incluye en su parte introductoria, como punto de partida para la realización del análisis y diseño de sistemas de anclaje preinstalado al concreto. El fin del presente apartado es el de ser el punto de inicio para la comprensión de toda la terminología que se utilizará en las secciones y capítulos siguientes, tomando en cuenta que el entendimiento de los conceptos básicos es un paso necesario y obligatorio para poder comprender de la mejor forma, el desarrollo del tema que se pretende estudiar.

A continuación, se exponen las definiciones básicas involucradas dentro del tema de investigación que abarca el presente trabajo.

### 2.4.1 Definiciones Básicas

2.4.1.1 Anclaje [1]: dispositivo de acero utilizado para transmitir fuerzas aplicadas. Éste puede ser de dos tipos:

- Anclajes Preinstalados [1]: son los anclajes colocados antes del colado del concreto (Ver Figura 1). A este tipo de anclaje pertenecen:

los tornillos con cabeza, pernos con cabeza y tornillos con extremo en forma de gancho (en forma de “J” o de “L”).

Un perno con cabeza es un anclaje de acero que cumple con los requisitos dados por la AWS D1.1, el cual, se fija a una placa o aditamento de acero similar, mediante el proceso de soldadura de arco, previo al colado del concreto <sup>[1]</sup>.

Un tornillo con gancho en su extremo en forma de “J”, es un tipo de anclaje preinstalado anclado principalmente por el apoyo de un doblez en 180° contra el concreto en su extremo embebido, con un valor mínimo  $e_h$  mayor que  $3d_a$  <sup>[1]</sup>.

Un tornillo con gancho en su extremo en forma de “L”, es un tipo de anclaje preinstalado anclado principalmente por el apoyo de un doblez en 90° contra el concreto en su extremo embebido, con un valor mínimo  $e_h$  mayor que  $3d_a$  <sup>[1]</sup>.

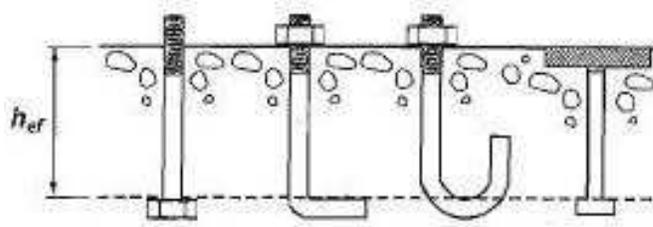


Figura 1. Anclajes del Tipo Preinstalados <sup>[1]</sup>

- Anclajes Postinstalados <sup>[1]</sup>: son los anclajes que se instalan en el concreto endurecido (Ver Figura 2). A este tipo de anclaje pertenecen:  
anclajes con sobreperforación en su base y anclajes de expansión.

Los anclajes con sobreperforación en su base son aquellos anclajes que desarrollan su resistencia a la tensión, basados en un mecanismo de trabazón, el cual, es dado por la sobreperforación del concreto, ya sea por medio de un taladro especial antes de la instalación o por medio del mismo anclaje durante su instalación, en el extremo embebido del anclaje <sup>[1]</sup>.

Los anclajes de expansión son aquellos anclajes postinstalados que se encargan de transmitir cargas hacia y desde el concreto, ya sea por apoyo directo, fricción o por ambas acciones. Estos anclajes pueden ser de 2 tipos <sup>[1]</sup>:

de torsión controlada (la expansión se obtiene mediante una torsión que actúa en el tornillo o perno) o de desplazamiento controlado (la expansión se logra por medio de fuerzas de impacto que actúan en una camisa o tapón, donde la longitud de desplazamiento de estos componentes controla la expansión).

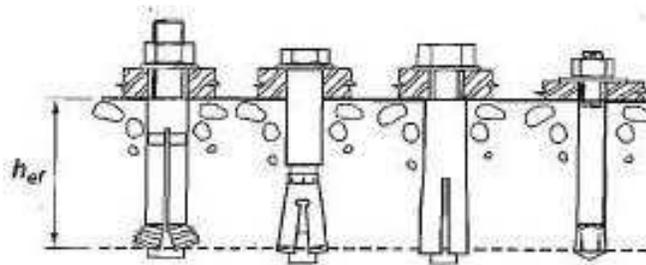


Figura 2. Anclajes del Tipo Postinstalados <sup>[1]</sup>

2.4.1.2 Grupo de Anclajes <sup>[1]</sup>: grupo conformado por anclajes que poseen, de forma aproximada, la misma profundidad efectiva de embebido.

Cuando el grupo de anclajes está sometido a tensión, la separación entre anclajes adyacentes es, como mínimo,  $3h_{ef}$  <sup>[1]</sup>.

Cuando el grupo de anclajes está sometido a cortante, la separación entre anclajes adyacentes es, como mínimo,  $3c_{a1}$  <sup>[1]</sup>.

2.4.1.3 Área Proyectada <sup>[1]</sup>: zona en la superficie libre del elemento de concreto usada para representar la base mayor de la superficie de falla rectilínea asumida.

2.4.1.4 Distancia al Borde <sup>[1]</sup>: es la distancia medida desde el borde de la superficie de concreto hasta el centro del anclaje más cercano.

2.4.1.5 Profundidad Efectiva de Embebido ( $h_{ef}$ ) <sup>[1]</sup>: es la profundidad total a través de la cual, el anclaje transmite las fuerzas aplicadas hacia o desde el concreto que lo rodea. Es importante señalar que esta profundidad es la misma de la superficie de falla del concreto en las aplicaciones en tensión. Asimismo, cabe indicar que esta profundidad efectiva, en el caso de anclajes preinstalados como es el caso de los tornillos con cabeza y los pernos con cabeza, se mide desde la superficie sobre la cual se da el contacto entre el concreto y el apoyo de la cabeza.

2.4.1.6 Elemento Dúctil de Acero <sup>[1]</sup>: es un elemento que cumple con los requisitos dados por la ASTM A307, y el cual, presenta un alargamiento

en tensión mayor al 14% y una consecuente reducción de área de por lo menos un 30%, ambas cantidades medidas experimentalmente.

2.4.1.7 Elemento Frágil de Acero <sup>[1]</sup>: es un elemento que presenta un alargamiento en tensión menor al 14% o una reducción de área menor al 30% o ambos casos.

2.4.1.8 Refuerzo del Anclaje <sup>[1]</sup>: tipo de refuerzo utilizado con el fin de que la fuerza de diseño sea transmitida en su totalidad desde los anclajes hacia el elemento estructural.

2.4.1.9 Refuerzo Suplementario <sup>[1]</sup>: tipo de refuerzo usado para restringir el prisma de falla potencial por arrancamiento del concreto. Cabe aclarar que este refuerzo no está diseñado para transmitir toda la carga de diseño desde los anclajes hacia el elemento estructural.

2.4.1.10 Percentil del 5 Por Ciento <sup>[1]</sup>: es un término estadístico que significa que hay un 90% de confianza de que existe un 95% de probabilidad de que la resistencia real exceda a la nominal.

2.4.1.11 Resistencia al Arrancamiento del Concreto por Tensión del Anclaje <sup>[1]</sup>: es la resistencia que posee una cierta cantidad de volumen de concreto que rodea al anclaje o grupo de anclajes para evitar su respectivo desprendimiento del elemento estructural.

2.4.1.12 Resistencia a la Extracción por Deslizamiento del Anclaje <sup>[1]</sup>: es la resistencia que posee el anclaje o un componente principal del dispositivo de anclaje para evitar su respectivo deslizamiento fuera del concreto (el tipo de deslizamiento al que esta resistencia se refiere, es

aquél que se produce sin romperse una parte sustancial del concreto que rodea al anclaje o componente principal del dispositivo del mismo).

2.4.1.13 Resistencia al Desprendimiento del Concreto por Cabeceo del Anclaje <sup>[1]</sup>: es la resistencia que corresponde a la formación en anclajes cortos y rígidos de un descascaramiento de concreto detrás de elementos y en dirección opuesta a la fuerza cortante aplicada.

2.4.1.14 Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto <sup>[1]</sup>: es la resistencia que poseen los anclajes con mayor profundidad efectiva de embebido y con el menor espesor de recubrimiento lateral, el cual corresponde al descascaramiento del concreto que rodea la cara lateral de la cabeza embebida, pero sin ocurrir arrancamientos mayores en la parte superior de la superficie de concreto.

2.4.1.15 Camisa de Espaciamento <sup>[1]</sup>: es una camisa que envuelve la parte central de un anclaje postinstalado y que tiene la propiedad de no expandirse. Es usado en anclajes con sobreperforación en su base, anclajes de expansión de torsión controlada o de expansión de desplazamiento controlado.

2.4.1.16 Camisa de Expansión <sup>[1]</sup>: es la parte externa de un anclaje de expansión, la cual, es forzada hacia afuera por la parte central, mediante la aplicación de una torsión o impacto <sup>[1]</sup>, con el objeto de que ésta se apoye contra los lados de un orificio perforado previamente.

2.4.1.17 Fijación [ 1 ]: dispositivo estructural externo a la superficie de concreto, cuya finalidad es transmitir o recibir fuerzas de parte de los elementos de anclaje.

2.4.1.18 Insertos Especiales [ 1 ]: son anclajes prediseñados, prefabricados y preinstalados, que son usados con el objeto de fijar conexiones atornilladas o ranuradas.

## **2.5 Norma del Reglamento del ACI 318S-08 Establecida Para el Diseño de Sistemas de Anclaje al Concreto: Apéndice D**

En la presente sección se describen de manera resumida, las partes que componen el cuerpo principal del Apéndice D perteneciente al Reglamento ACI 318S-08.

El orden en el que se presentan las siguientes secciones que componen este apartado, es el mismo que el Reglamento del ACI ha utilizado para la exposición del apéndice que es objeto de estudio en el presente trabajo.

### **2.5.1 Alcance (Sección D.2)**

2.5.1.1 (Sección D.2.1) El Apéndice D proporciona los requisitos necesarios para el diseño adecuado de anclajes para el concreto, considerando que éstos serán utilizados para la transferencia de cargas entre elementos estructurales conectados o aditamentos y elementos estructurales relacionados con la seguridad. Se considera que los anclajes realizan la transmisión de cargas por medio de una de las siguientes formas <sup>[1]</sup>:

- a. Transmisión de cargas por medio de tensión
- b. Transmisión de cargas por medio de cortante

c. Transmisión de cargas por medio de la acción combinada de tensión y cortante

2.5.1.2 (Sección D.2.2) Dentro del Apéndice D no está incluido el estudio de insertos especiales, tornillos pasantes, anclajes múltiples conectados a una sola platina de acero en el extremo embebido de los anclajes, anclajes pegados o inyectados con mortero, ni tampoco anclajes directos como pernos o clavos instalados neumáticamente o mediante pólvora <sup>[1]</sup>. Adicionalmente, el estudio de las aplicaciones con carga que sean predominantemente ciclos de fatiga fuerte o cargas de impacto, no están incluidos dentro del alcance del Apéndice D <sup>[1]</sup>.

2.5.1.3 (Sección D.2.3) Dentro del estudio de anclajes preinstalados, se incluye el estudio de los tornillos con cabeza y de pernos con cabeza, los cuales, por la geometría que poseen, se ha demostrado experimentalmente que tienen una resistencia a la extracción por deslizamiento en concreto no fisurado igual o superior a  $1.4N_p$  ( $N_p$  está dado por la ecuación D-15). De igual manera, se ha comprobado que los tornillos con extremo en forma de gancho también llegan a tener una resistencia a la extracción por deslizamiento en concreto no fisurado, igual o superior a  $1.4N_p$ , pero sin considerar el beneficio de la fricción ( $N_p$  está dado por la ecuación D-16)

Los anclajes postinstalados cuyo estudio abarca el Apéndice D, deben de cumplir con los requisitos de evaluación del ACI 355.2 <sup>[1]</sup>.

## 2.5.2 Requisitos Generales (Sección D.3)

2.5.2.1 (Sección D.3.1) Los anclajes y grupos de anclajes deberán de diseñarse para resistir los efectos críticos que ocasionan las cargas factorizadas, las cuales, a su vez, deberán de ser determinadas mediante un análisis elástico <sup>[1]</sup>.

Ahora, cuando la resistencia nominal esté controlada por elementos de acero dúctiles y siempre que se tome en cuenta la compatibilidad de deformaciones, el uso del análisis plástico estará permitido.

2.5.2.2 (Sección D.3.2) La resistencia de diseño de los anclajes deberá de ser igual o superior a la resistencia mayorada calculada con las combinaciones de carga de la sección 9.2 o C.9.2 <sup>[1]</sup>.

2.5.2.3 (Sección D.3.3) Cuando en el diseño de un anclaje, se encuentren involucradas fuerzas sísmicas para estructuras asignadas a las categorías de diseño sísmico C, D, E o F, se deberá de cumplir con los requisitos adicionales establecidos desde la sección D.3.3.1 hasta la sección D.3.3.6 <sup>[1]</sup>.

2.5.2.3.1 (Sección D.3.3.1) Las normativas dictadas por el Apéndice D no son aplicables al diseño de anclajes en zonas de articulación plástica de estructuras de concreto sometidas a fuerzas sísmicas <sup>[1]</sup>.

2.5.2.3.2 (Sección D.3.3.2) Los anclajes del tipo postinstalado, deberán de estar calificados para su uso en concreto agrietado, debiendo cumplir,

adicionalmente, con los Ensayos de Simulación Sísmica de acuerdo con el ACI 355.2 <sup>[1]</sup>.

La resistencia a la extracción por deslizamiento ( $N_p$ ) y la resistencia del acero del anclaje en cortante ( $V_{sa}$ ) deberán de basarse en los resultados de los Ensayos de Simulación Sísmica del ACI 355.2.

2.5.2.3.3 (Sección D.3.3.3) La resistencia de diseño del anclaje asociado con modos de falla del concreto, debe de tomarse como  $0.75\phi N_n$  y como  $0.75\phi V_n$ , ( $\phi$  es dado en D.4.4 o D.4.5 y  $N_n$  y  $V_n$  se determinan según D.5.2, D.5.3, D.5.4, D.6.2 y D.6.3 suponiendo que el concreto está agrietado, a no ser que se demuestre lo contrario) <sup>[1]</sup>.

2.5.2.3.4 (Sección D.3.3.4) Los anclajes <sup>[1]</sup> deberán de ser diseñados de tal forma que estén controlados por la resistencia del acero de un elemento de acero dúctil de acuerdo con D.5.1 y D.6.1, a no ser que se cumpla con D.3.3.5 o D.3.3.6 .

2.5.2.3.5 (Sección D.3.3.5) En lugar de D.3.3.4, el aditamento que el anclaje conecta a la estructura deberá de diseñarse de tal forma que la fijación llegue a fluencia dúctil con el nivel de carga correspondiente a fuerzas de anclaje que no sean mayores que la resistencia de diseño de los anclajes, la cual, ya fue especificada en D.3.3.3 <sup>[1]</sup>.

2.5.2.3.6 (Sección D.3.3.6) Se permite tomar la resistencia de diseño de los anclajes como 0.4 veces la resistencia de diseño determinada con D.3.3.3.

Para el anclaje de muros de carga a base de marcos estructurales ligeros (marcos diseñados para soportar cargas no tan grandes) se permite tomar la resistencia de diseño de los anclajes como 0.5 veces la resistencia de diseño determinada con D.3.3.3 <sup>[1]</sup>.

2.5.2.4 (Sección D.3.4) El factor de modificación  $\lambda$  para concreto de peso liviano deberá de estar de acuerdo con la sección 8.6.1, a menos que se especifique de otro modo <sup>[1]</sup>.

2.5.2.5 (Sección D.3.5) Los valores de  $f'_c$  no deben de exceder de 70 MPa (700 kg/cm<sup>2</sup>) para los anclajes preinstalados, y de 55 MPa (550 kg/cm<sup>2</sup>) para los anclajes postinstalados.

Cuando se quieran emplear anclajes postinstalados en concretos con un  $f'_c$  mayor a 55 MPa (550 kg/cm<sup>2</sup>), se requieren ensayos para dichos anclajes <sup>[1]</sup>.

### 2.5.3 Requisitos Generales Para la Resistencia de los Anclajes (Sección D.4)

2.5.3.1 (Sección D.4.1) El diseño por resistencia de los anclajes debe de hacerse por medio de cálculos que se encuentren basados en modelos de diseño que satisfagan los requisitos de la sección D.4.2 o en base a los resultados de ensayos experimentales utilizando un percentil del 5% de los mismos para lo siguiente <sup>[1]</sup>:

a. Resistencia a tensión del acero del anclaje (D.5.1)

- b. Resistencia al cortante del acero del anclaje (D.6.1)
- c. Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje por tensión (D.5.2)
- d. Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje por cortante (D.6.2)
- e. Resistencia a la extracción por deslizamiento del anclaje por tensión (D.5.3)
- f. Resistencia al desprendimiento lateral del concreto de anclaje por tensión (D.5.4)
- g. Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje por cortante (D.6.3)

Adicionalmente, los anclajes deben de cumplir con las distancias al borde, espaciamiento y espesor estipulados por la sección D.8, con el objeto de evitar las fallas por hendimiento.

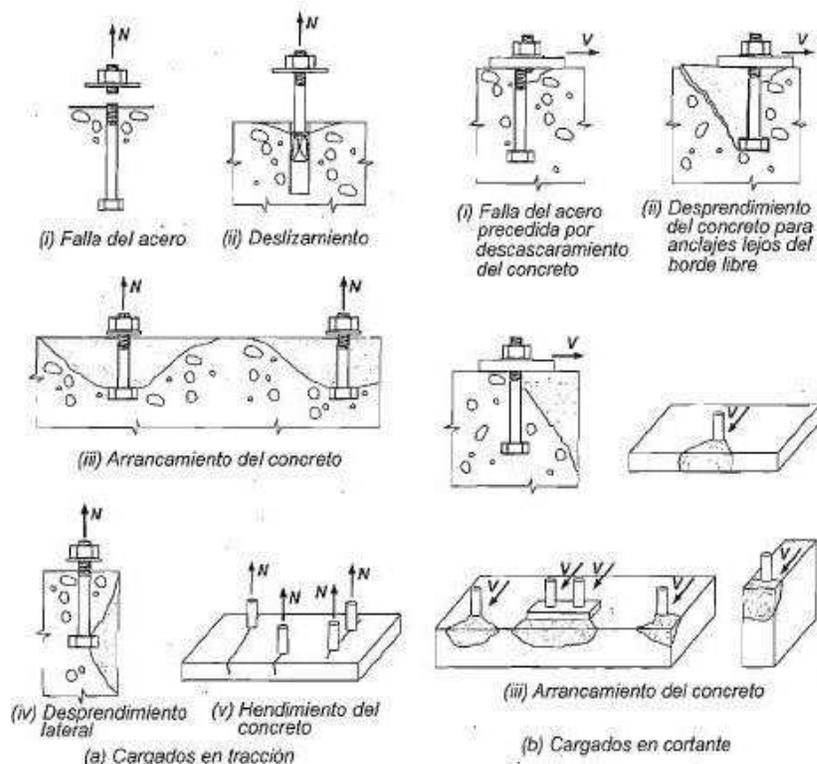


Figura 3. Modalidades de Fallas de los Anclajes <sup>[1]</sup>

2.5.3.1.1 (Sección D.4.1.1) Para el diseño de anclajes, salvo lo exigido en D.3.3 <sup>[1]</sup>:

$$\phi N_n \geq N_{ua} \quad (D-1)$$

$$\phi V_n \geq V_{ua} \quad (D-2)$$

2.5.3.1.2 (Sección D.4.1.2) En las ecuaciones D-1 y D-2,  $\phi N_n$  y  $\phi V_n$  son las resistencias de diseño más bajas determinadas para todas las modalidades pertinentes de falla <sup>[1]</sup>.

$\phi N_n$  es la resistencia de diseño más baja en tensión de un anclaje o grupos de anclajes, determinada según las consideraciones de  $\phi N_{sa}$ ,  $\phi n N_{pn}$ , ya sea  $\phi N_{sb}$  o  $\phi N_{sbg}$ , y  $\phi N_{cb}$  o  $\phi N_{cbg}$ .

$\phi V_n$  es la resistencia de diseño más baja para cortante de un anclaje o grupos de anclajes, determinada de las consideraciones de  $\phi V_{sa}$ , ya sea  $\phi V_{cb}$  o  $\phi V_{cbg}$ , y  $\phi V_{cp}$  o  $\phi V_{cpg}$ .

2.5.3.1.3 (Sección D.4.1.3) Cuando  $N_{ua}$  y  $V_{ua}$  se encuentren presentes, se deben de considerar los efectos de interacción de acuerdo con la sección D.4.3 <sup>[1]</sup>.

2.5.3.2 (Sección D.4.2) La resistencia nominal para cualquier anclaje o grupos de anclajes debe de estar basada en modelos de diseño que produzcan predicciones de resistencia que concuerden de manera sustancial con los resultados de ensayos experimentales <sup>[1]</sup>.

Los materiales empleados en los ensayos deben ser compatibles con los materiales usados en la estructura <sup>[1]</sup>.

La resistencia nominal debe de basarse en el percentil del 5% de la resistencia básica individual del anclaje. Para resistencias nominales relacionadas con la resistencia del concreto, se deben de considerar las modificaciones debido a efectos del tamaño, el número de anclajes, los efectos del espaciamiento reducido de los anclajes, proximidad a los bordes, espesor del elemento de concreto, cargas excéntricas de grupos de anclajes y la presencia o ausencia de fisuración <sup>[1]</sup>.

2.5.3.2.1 (Sección D.4.2.1) Los modelos de diseño que se usen para cumplir con lo estipulado en la sección D.4.2, pueden incluir el efecto del refuerzo colocado para restringir el arrancamiento del concreto <sup>[1]</sup>.

Según las secciones D.5.2.9 y D.6.2.9, donde se coloque refuerzo del anclaje no se requieren cálculos para la resistencia al arrancamiento del concreto <sup>[1]</sup>.

2.5.3.2.2 (Sección D.4.2.2) Para anclajes con diámetros que no excedan 5 cm y profundidades efectivas de embebido de 63.5 cm, las exigencias para prevenir el arrancamiento del concreto deben de considerarse satisfechas si se cumple con los procedimientos de diseño de las secciones D.5.2 y D.6.2 <sup>[1]</sup>.

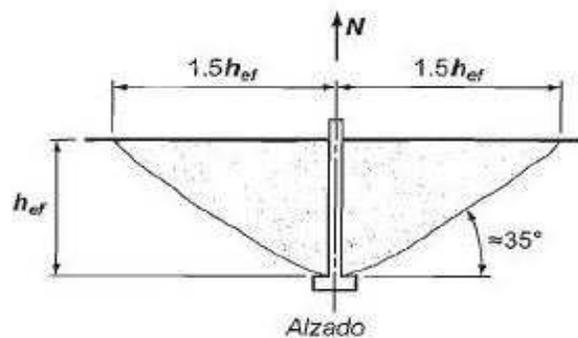


Figura 4. Cono de Arrancamiento por Tensión <sup>[1]</sup>

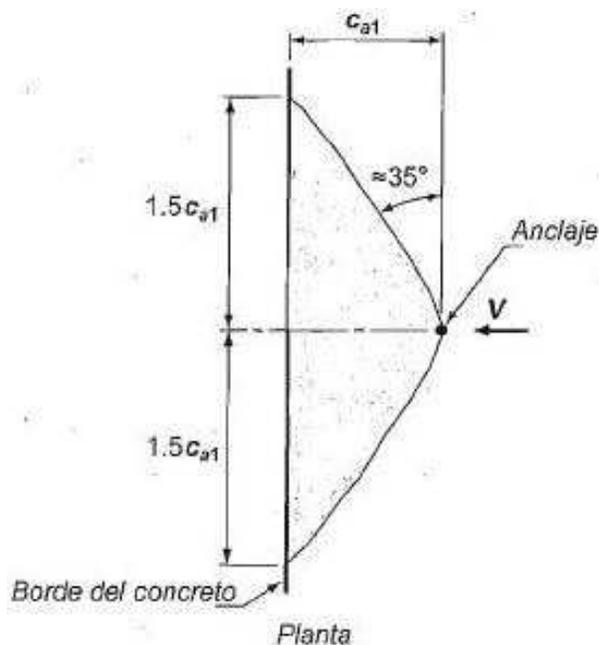


Figura 5. Cono de Arrancamiento por Cortante <sup>[1]</sup>

2.5.3.3 (Sección D.4.3) Para el diseño para cargas de tensión y cortante que actúen en forma combinada, se deberá de usar una expresión de interacción que resulte en una resistencia que concuerde con los resultados de ensayos exhaustivos. Se deberá de considerar que la sección D.7 satisface dichos requisitos <sup>[1]</sup>.

2.5.3.4 (Sección D.4.4) Cuando se usen las combinaciones de carga de la sección 9.2, el factor de reducción de resistencia  $\phi$  para anclajes en concreto deberá de ser <sup>[1]</sup>:

a. Anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero dúctil

a.1 Cargas de tensión: 0.75

a.2 Fuerza cortante: 0.65

b. Anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero frágil

b.1 Cargas de tensión: 0.65

b.2 Fuerza cortante: 0.60

c. Anclaje controlado por la resistencia al arrancamiento, desprendimiento lateral, extracción por deslizamiento o desprendimiento por cabeceo del anclaje

	<u>Condición A</u>	<u>Condición B</u>
c.1 Cargas de cortante:	0.75	0.70

c.2 Cargas de tensión:

Anclajes preinstalados

Pernos con cabeza

Tornillos con cabeza	0.75	0.70
----------------------	------	------

Tornillos con gancho

Anclajes postinstalados (según las categorías del ACI 355.2)

Categoría 1 (baja sensibilidad a

la instalación y confiabilidad alta)	0.75	0.65
--------------------------------------	------	------

Categoría 2 (sensibilidad media a la

instalación y confiabilidad mediana)	0.65	0.55
--------------------------------------	------	------

Categoría 3 (alta sensibilidad y

confiabilidad baja)	0.55	0.45
---------------------	------	------

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

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

2.5.3.5 (Sección D.4.5) Cuando se usen las combinaciones de carga del Apéndice C, el factor de reducción de resistencia  $\phi$  para anclajes en concreto deberá de ser [1]:

a. Anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero dúctil

a.1 Cargas de tensión: 0.80

a.2 Fuerza cortante: 0.75

b. Anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero frágil

b.1 Cargas de tensión: 0.70

b.2 Fuerza cortante: 0.65

c. Anclaje controlado por la resistencia al arrancamiento, desprendimiento lateral, deslizamiento del anclaje o desprendimiento por cabeceo del anclaje

	<u>Condición A</u>	<u>Condición B</u>
c.1 Cargas de cortante:	0.85	0.75
c.2 Cargas de tensión:		
Anclajes preinstalados		
Conectores		
Pernos con cabeza	0.85	0.75
Pernos con gancho embebidos		
Anclajes postinstalados (según las categorías del ACI 355.2)		
Categoría 1 (baja sensibilidad a la instalación y confiabilidad alta)	0.85	0.75
Categoría 2 (sensibilidad media a la instalación y confiabilidad mediana)	0.75	0.65
Categoría 3 (alta sensibilidad y confiabilidad baja)	0.65	0.55

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

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

## 2.5.4 Requisitos de Diseño Para Cargas de Tensión (Sección D.5)

### 2.5.4.1 Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión (Sección D.5.1)

2.5.4.1.1 (Sección D.5.1.1) La resistencia nominal de un anclaje en tensión controlada por el acero ( $N_{sa}$ ), debe de ser evaluada por medio de cálculos basados en las propiedades del material del anclaje y en las dimensiones físicas del mismo [1].

2.5.4.1.2 (Sección D.5.1.2) La resistencia nominal de un solo anclaje o grupo de anclajes en tensión ( $N_{sa}$ ), no debe de exceder [1]:

$$N_{sa} = n A_{se,N} f_{uta} \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-3)$$

$n$  = número de anclajes en el grupo

$A_{se,N}$  = área transversal efectiva del anclaje en tensión, en  $\text{mm}^2$

$f_{uta}$  = no debe de ser mayor que el menor de  $1.9f_{ya}$  o 860 MPa (8600  $\text{kg/cm}^2$ )

### 2.5.4.2 Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión (Sección D.5.2)

2.5.4.2.1 (Sección D.5.2.1) La resistencia nominal de arrancamiento del concreto ( $N_{cb}$  o  $N_{cbg}$ ) de un solo anclaje o grupo de anclajes, no debe de exceder de [1]:

a. Para un solo anclaje:

$$N_{cb} = (A_{nc}/A_{nco}) \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-4)$$

b. Para un grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = (A_{nc}/A_{nco}) \Psi_{ec,N} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-5)$$

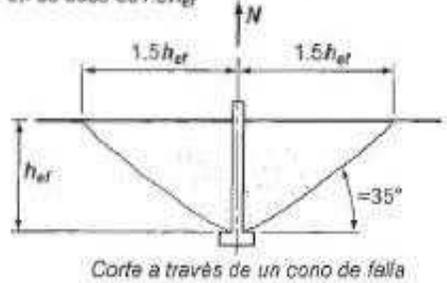
$\Psi_{ec,N}$ ,  $\Psi_{ed,N}$ ,  $\Psi_{c,N}$  y  $\Psi_{cp,N}$  se encuentran definidos en las secciones D.5.2.4, D.5.2.5, D.5.2.6 y D.5.2.7 respectivamente

$A_{Nc}$  = área proyectada de la superficie de falla para un solo anclaje o grupo de anclajes (como las mostradas en la Figura 6), la cual debe de ser aproximada a la base de la figura geométrica rectilínea que resulta al proyectar la superficie de falla hacia fuera en  $1.5h_{ef}$ , desde la línea del eje del anclaje o, en el caso de un grupo de anclajes, desde una línea a través de una fila de anclajes adyacentes.  $A_{Nc}$  no debe de exceder a  $nA_{nco}$ , donde "n" es el número de anclajes en tensión en el grupo.

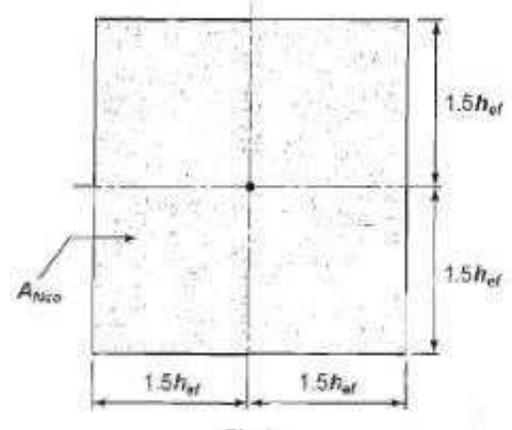
$A_{Nco}$  = área proyectada de la superficie de falla de un solo anclaje con una distancia del borde igual o mayor a  $1.5h_{ef}$  (ver la Figura 6)

$$A_{Nco} = 9 (h_{ef})^2 \text{ (en "m}^2 \text{ ó pulg}^2\text{")} \quad (D-6)$$

La distancia crítica al borde para pernos con cabeza, tornillos con cabeza, anclajes de expansión, y anclajes con sobreperforación en su base es  $1.5h_{ef}$



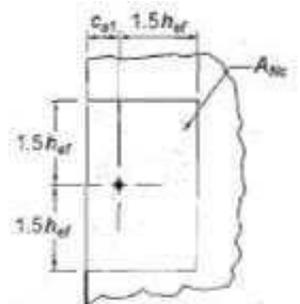
Corte a través de un cono de falla



Planta

$$A_{Nco} = (2 \times 1.5h_{ef}) \times (2 \times 1.5h_{ef}) = 9h_{ef}^2$$

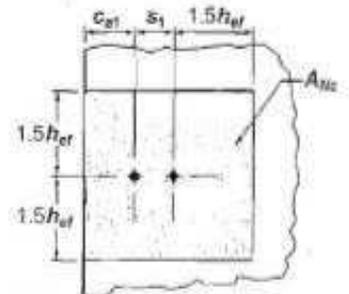
(a)



Si  $c_{et} < 1.5h_{ef}$

$$A_{Nc} = (c_{et} + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef})$$

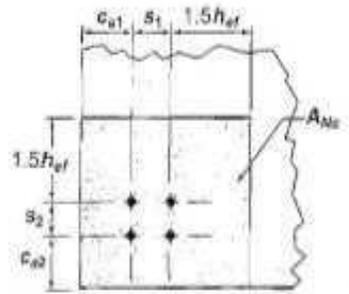
Planta



Si  $c_{et} < 1.5h_{ef}$  y  $s_1 < 3h_{ef}$

$$A_{Nc} = (c_{et} + s_1 + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef})$$

Planta



Si  $c_{et}$  y  $c_{ad} < 1.5h_{ef}$   
y  $s_1$  y  $s_2 < 3h_{ef}$

$$A_{Nc} = (c_{et} + s_1 + 1.5h_{ef})(c_{ad} + s_2 + 1.5h_{ef})$$

Planta

(b)

Figura 6. Cálculo de  $A_{Nco}$  y de  $A_{Nc}$  Para Anclajes Individuales y Grupos de Anclajes [11]

2.5.4.2.2 (Sección D.5.2.2) La resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tensión embebido en concreto fisurado ( $N_b$ ), no debe exceder de <sup>[1]</sup>:

$$N_b = k_c \lambda \sqrt{f'_c} (h_{ef})^{1.5} \text{ (en "N")} \quad (D-7)$$

$k_c = 10$  para anclajes preinstalados

$k_c = 7$  para anclajes postinstalados

Se permite que el valor de  $k_c$  para anclajes postinstalados pueda ser incrementado sobre 7 basándose en los ensayos específicos para productos del ACI 355.2, pero en ningún caso debe de exceder de 10.

De forma alternativa, para pernos con cabeza preinstalados, con una profundidad efectiva de embebido ( $h_{ef}$ ) mayor o igual a 28 cm y menor o igual a 63.5 cm,  $N_b$  no debe de exceder de:

$$N_b = 3.9 \lambda \sqrt{f'_c} (h_{ef})^{5/3} \text{ (en "N")} \quad (D-8)$$

2.5.4.2.3 (Sección D.5.2.3) Donde los anclajes se ubican a menos de  $1.5h_{ef}$ , de 3 o más bordes, el valor de  $h_{ef}$  usado en las ecuaciones D-4 a la D-11 debe de ser mayor entre  $c_{a,máx}/1.5$  y un  $1/3$  del espaciamiento máximo entre los anclajes dentro del grupo <sup>[1]</sup>.

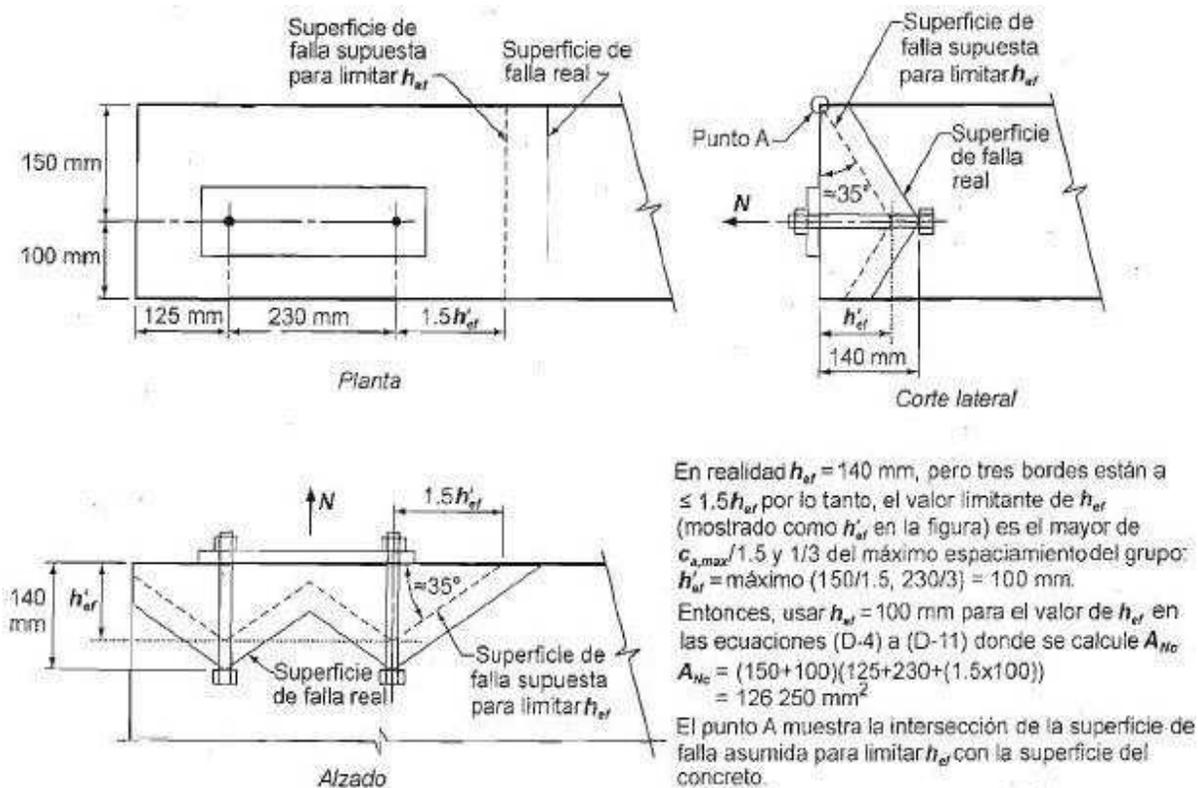


Figura 7. Tensión en Elementos Angostos [1]

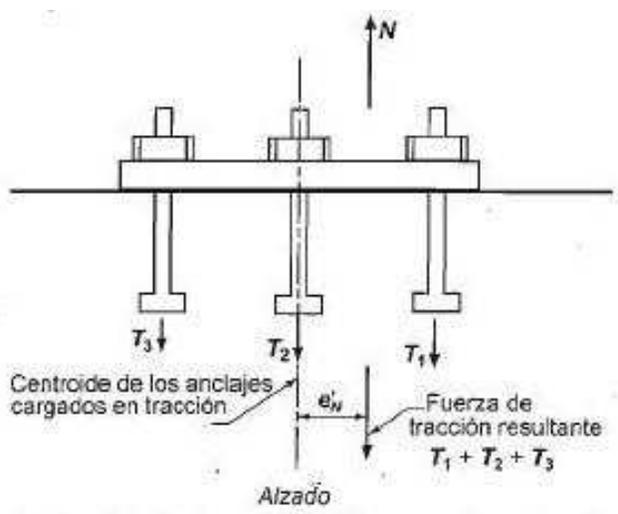
2.5.4.2.4 (Sección D.5.2.4) El factor de modificación para grupos de anclajes sometido a cargas excéntricas de tensión es [1]:

$$\Psi_{ec,N} = 1 / (1 + (2 e_N / 3 h_{ef})) \quad (\text{adimensional}) \quad (\text{D-9})$$

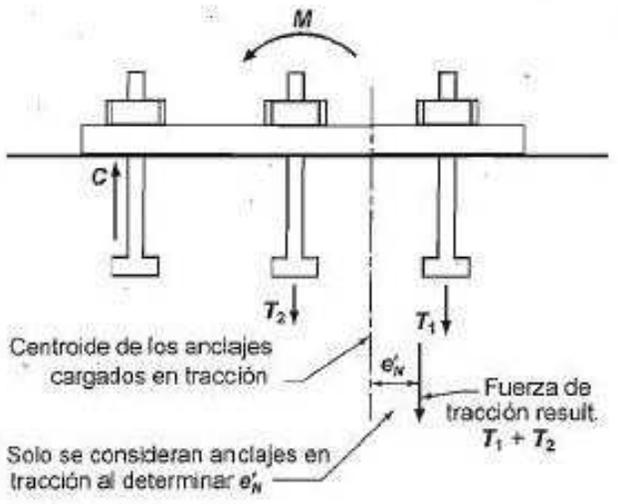
$\Psi_{ec,N}$  no debe de tomarse menor que la unidad (1.0).

Si la carga sobre un grupo de anclajes es tal que sólo algunos de los anclajes se encuentran en tensión, entonces, sólo esos anclajes que estén en tensión se considerarán para determinar la excentricidad  $e_N'$  en la ecuación D-9 y para calcular  $N_{cbg}$  en la ecuación D-5 (ver Figura 8).

Cuando las cargas excéntricas existen alrededor de 2 ejes, el factor de modificación ( $\Psi_{ec,N}$ ) deberá de calcularse para cada eje de manera individual, y el producto de esos factores es el que deberá de usarse como el factor de modificación ( $\Psi_{ec,N}$ ) en la ecuación D-5.



(a) Cuando todos los anclajes del grupo están en tracción



(b) Cuando unos anclajes del grupo están en tracción

Figura 8. Definición de la Dimensión  $e'_N$  Para un Grupo de Anclajes [1]

2.5.4.2.5 (Sección D.5.2.5) El factor de modificación para los efectos del borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tensión es <sup>[11]</sup>:

$$\Psi_{ed,N} = 1 \quad \text{si } c_{a,\min} \geq 1.5h_{ef} \text{ (adimensional)} \quad (D-10)$$

$$\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 (c_{a,\min} / 1.5h_{ef}) \quad \text{si } c_{a,\min} < 1.5h_{ef} \text{ (adimensional)} \quad (D-11)$$

2.5.4.2.6 (Sección D.5.2.6) Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde los análisis muestren que no hay fisuración para niveles de cargas de servicio, se permitirá el siguiente factor de modificación <sup>[11]</sup>:

$$\Psi_{c,N} = 1.25 \text{ para anclajes preinstalados (adimensional)}$$

$$\Psi_{c,N} = 1.4 \text{ para anclajes postinstalados, (adimensional)}$$

**donde el valor de  $k_c$  usado en la ecuación D-7 es igual a 7**

Cuando el valor de  $k_c$  que se utilice en la ecuación D-7 se tome del ACI 355.2 para anclajes postinstalados, que han sido calificados para ser usados en concreto fisurado y no fisurado, entonces, los valores de  $k_c$  y de  $\Psi_{c,N}$  deberán de basarse en el informe para evaluación de productos del ACI 355.2.

Cuando el valor de  $k_c$  que se utilice en la ecuación D-7 se tome del informe para evaluación de productos del ACI 355.2 para anclajes postinstalados, que han sido calificados para ser usados sólo en concreto no fisurado, entonces, el valor de  $\Psi_{c,N}$  deberá de tomarse como 1.0.

Cuando el análisis indique fisuración para niveles de cargas de servicio,  $\Psi_{c,N}$  deberá tomarse igual a 1.0 tanto para los anclajes preinstalados como para los postinstalados. Claro está que los anclajes postinstalados deberán de estar calificados para su empleo en concreto fisurado de acuerdo con el ACI 355.2.

La fisuración en el concreto debe de ser controlada mediante refuerzo de tensión, el cual, deberá de distribuirse según las disposiciones de la sección 10.6.4 o, en su defecto, se deberá efectuar un control de fisuración equivalente proporcionado mediante refuerzo de confinamiento.

2.5.4.2.7 (Sección D.5.2.7) El factor de modificación para anclajes postinstalados diseñados para concreto no fisurado de acuerdo con D.5.2.6 sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento,  $\Psi_{cp,N}$  deberá de calcularse de la siguiente forma <sup>[11]</sup>: (usando la distancia crítica ( $c_{ac}$ ) como se define en la sección D.8.6)

$$\Psi_{cp,N} = 1.0 \quad \text{si } c_{a,mín} \geq c_{ac} \text{ (adimensional)} \quad (D-12)$$

$$\Psi_{cp,N} = (c_{a,mín} / c_{ac}) \quad \text{si } c_{a,mín} < c_{ac} \text{ (adimensional)} \quad (D-13)$$

$\Psi_{cp,N}$  calculado por medio de la ecuación D-13, no deberá de tomarse menor que  $1.5h_{ef}/c_{ac}$ , donde la distancia crítica ( $c_{ac}$ ) se encuentra definida en D.8.6.

Para todos los demás casos, incluyendo los anclajes preinstalados,  $\Psi_{cp,N}$  deberá tomarse como 1.0.

2.5.4.2.8 (Sección D.5.2.8) Cuando se agregue una platina adicional o arandela a la cabeza del anclaje, se puede calcular el área proyectada de la superficie de falla, proyectando la superficie de falla  $1.5h_{ef}$  hacia afuera del perímetro efectivo de la platina o arandela <sup>[1]</sup>.

El perímetro efectivo no deberá de exceder el valor en una sección proyectada hacia afuera, más del espesor de la arandela o platina desde el borde exterior de la cabeza del anclaje.

2.5.4.2.9 (Sección D.5.2.9) Cuando el refuerzo del anclaje se desarrolle en base a lo dispuesto en el Capítulo 21 a ambos lados de la superficie de arrancamiento, se permitirá el uso de la resistencia de diseño del refuerzo del anclaje para determinar  $\phi N_n$ , en lugar de la resistencia al arrancamiento del concreto <sup>[1]</sup>.

En el diseño del refuerzo del anclaje se permitirá usar un factor de reducción de resistencia de 0.75.

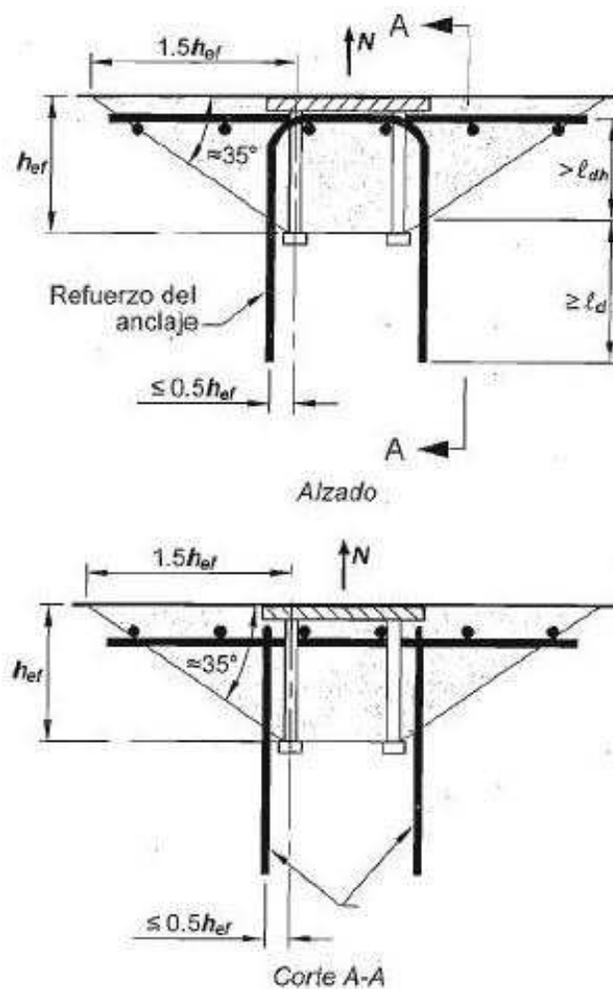


Figura 9. Refuerzo de Anclaje Para Tensión <sup>[11]</sup>

2.5.4.3 Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión (Sección D.5.3)

2.5.4.3.1 (Sección D.5.3.1) La resistencia nominal a la extracción por deslizamiento de un anclaje en tensión ( $N_{pn}$ ), no deberá exceder <sup>[11]</sup>:

$$N_{pn} = \Psi_{c,p} N_p \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-14)$$

y  $\Psi_{c,p}$  es definido en D.5.3.6.

2.5.4.3.2 (Sección D.5.3.2) En el caso de los anclajes postinstalados (de expansión y con sobreperforación en su base), los valores de  $N_p$  deberán de estar basados en los resultados con un percentil del 5% de ensayos realizados y evaluados de acuerdo con el ACI 355.2 [1].

No se permite determinar la resistencia a la extracción por deslizamiento para dicho tipo de anclajes por medio de cálculo.

2.5.4.3.3 (D.5.3.3) En el caso de pernos con cabeza y tornillos con cabeza individuales, la resistencia a la extracción por deslizamiento puede ser evaluada usando la sección D.5.3.4.

Para tornillos individuales con extremo en forma de gancho (L o J), la resistencia a la extracción por deslizamiento en tensión puede ser evaluada usando la sección D.5.3.5.

De forma alternativa, se pueden usar valores de  $N_p$  basados en los resultados de ensayos con un percentil del 5% de ensayos realizados y evaluados de la misma forma que los procedimientos del ACI 355.2, pero sin el beneficio de la fricción [1].

2.5.4.3.4 (Sección D.5.3.4) La resistencia a la extracción por deslizamiento a tensión de un perno o tornillo con cabeza individual ( $N_p$ ) para ser empleada en la ecuación D-14, no deberá de exceder [1]:

$$N_p = 8 A_{brg} f'_c \text{ (en "N ó lb")} \text{ (D-15)}$$

2.5.4.3.5 (Sección D.5.3.5) La resistencia a la extracción por deslizamiento por tensión de un tornillo individual con gancho ( $N_p$ ) para ser empleada en la ecuación D-14, no deberá exceder <sup>[11]</sup>:

$$N_p = 0.9 f'_c e_h d_a \text{ (en "N ó lb")} \text{ (D-16)}$$

donde  $e_h$  tiene que ser mayor o igual a  $3d_a$  y menor o igual a  $4.5d_a$ .

2.5.4.3.6 (Sección D.5.3.6) Para un anclaje ubicado en una región de un elemento de concreto, donde el análisis muestre que no existen fisuras para niveles de cargas de servicio, se permitirá el uso del siguiente factor de modificación <sup>[11]</sup>:

$$\Psi_{c,P} = 1.4 \text{ (adimensional)}$$

Cuando el análisis indique fisuración al nivel de cargas de servicio,  $\Psi_{c,P}$  deberá de ser tomado como 1.0.

2.5.4.4 Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto en un Anclaje con Cabeza en Tensión (Sección D.5.4)

2.5.4.4.1 (Sección D.5.4.1) Para un anclaje individual con cabeza con un embebido profundo cercano a un borde  $h_{ef}$  mayor a  $2.5c_{a1}$ , la resistencia nominal al desprendimiento lateral ( $N_{sb}$ ), no deberá exceder <sup>[11]</sup>:

$$N_{sb} = 13 c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \lambda \sqrt{f'_c} \text{ (en "N")} \text{ (D-17)}$$

Si  $c_{a2}$  para el perno con cabeza individual es menor que  $3c_{a1}$ , el valor de  $N_{sb}$  deberá de multiplicarse por el siguiente factor:

$$(1 + (c_{a2}/c_{a1}))/ 4$$

$$\text{donde } 1.0 \leq c_{a2}/c_{a1} \leq 3.0$$

2.5.4.4.2 (Sección D.5.4.2) Para un grupo de anclajes con cabeza con embebido profundo localizados cerca de un borde  $h_{ef} > 2.5c_{a1}$ , y con un espaciamiento entre los anclajes menor que  $6c_{a1}$ , la resistencia nominal de esos anclajes susceptibles a una falla por desprendimiento lateral del concreto ( $N_{sbg}$ ) no deberá de exceder <sup>[1]</sup>:

$$N_{sbg} = (1 + (s/ 6 c_{a1})) N_{sb} \text{ (en "N ó lb")} \text{ (D-18)}$$

$s$  = espaciamiento de los anclajes exteriores a lo largo del borde

$N_{sb}$  = se obtiene de la ecuación D-17, sin modificaciones debido a la distancia perpendicular al borde

## 2.5.5 Requisitos de Diseño Para Solicitaciones de Cortante (Sección D.6)

### 2.5.5.1 Resistencia del Acero del Anclaje Sometido a Cortante (Sección D.6.1)

2.5.5.1.1 (Sección D.6.1.1) La resistencia nominal de un anclaje a cortante cuando está controlada por el acero ( $V_{sa}$ ), deberá de ser evaluada por medio de un cálculo basado en las propiedades del material del anclaje y las dimensiones físicas del anclaje [1].

2.5.5.1.2 (Sección D.6.1.2) La resistencia nominal de un anclaje individual o de un grupo de anclajes en cortante ( $V_{sa}$ ), no deberá de exceder los siguientes parámetros [1]:

a. Para conectores preinstalados:

$$V_{sa} = n A_{se,v} f_{uta} \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-19)$$

$n$  = número de anclajes en el grupo

$A_{se,v}$  = área transversal efectiva del anclaje en cortante, en  $\text{mm}^2$

$f_{uta}$  = no debe de tomarse mayor que el menor entre  $1.9f_{ya}$  y 860 MPa ( $8600 \text{ kg/cm}^2$ )

b. Para anclajes preinstalados de tornillo con cabeza o con gancho y para anclajes postinstalados donde las camisas no se extienden a través del plano de cortante:

$$V_{sa} = n 0.6 A_{se,v} f_{uta} \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-20)$$

$n$  = número de anclajes en el grupo

$A_{se,v}$  = área transversal efectiva del anclaje en cortante, en  $\text{pulg}^2$

$f_{uta}$  = no debe de tomarse mayor que el menor entre  $1.9f_{ya}$  y  $860 \text{ Mpa}$  ( $8600 \text{ kg/cm}^2$ )

- c. Para anclajes postinstalados donde las camisas se extienden a través del plano de cortante,  $V_{sa}$  debe basarse en los resultados de los ensayos experimentales realizados y evaluados de acuerdo con el ACI 355.2. De forma alternativa, se permite el uso de la ecuación D-20.

2.5.5.1.3 (Sección D.6.1.3) Cuando los anclajes se usen con platinas de apoyo inyectadas con mortero, las resistencias nominales de la sección D.6.1.2 deberán de multiplicarse por un factor igual a  $0.80$  <sup>[1]</sup>.

2.5.5.2 Resistencia al Arrancamiento del Concreto de Anclajes a Cortante (Sección D.6.2)

2.5.5.2.1 (Sección D.6.2.1) La resistencia nominal al arrancamiento del concreto ( $V_{cb}$  o  $V_{cbg}$ ) en cortante de un anclaje individual o de un grupo de anclajes, no deberá de exceder <sup>[1]</sup>:

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

$$V_{cb} = (A_{vc} / A_{vco}) \Psi_{ed,v} \Psi_{c,v} \Psi_{h,v} V_b \text{ (en "N ó lb")} \text{ (D-21)}$$

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

$$V_{cbg} = (A_{Vc} / A_{Vco}) \Psi_{ec,V} \Psi_{ed,V} \Psi_{c,V} \Psi_{h,V} V_b \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-22)$$

- c. Para una fuerza cortante paralela a un borde, se permite que  $V_{cb}$  o  $V_{cbg}$  sea el doble del valor de la fuerza cortante encontrada por medio de las ecuaciones D-21 o D-22, respectivamente, suponiendo que la fuerza cortante actúa de manera perpendicular al borde con  $\Psi_{ed,V}$  tomado igual a la unidad 1.0.
- d. Para anclajes ubicados en una esquina, la resistencia nominal límite al arrancamiento del concreto deberá de ser determinada para cada borde, usándose posteriormente, el valor mínimo.

Los factores  $\Psi_{ec,V}$ ,  $\Psi_{ed,V}$ ,  $\Psi_{c,V}$  y  $\Psi_{h,V}$  se encuentran definidos en las secciones D.6.2.5, D.6.2.6, D.6.2.7 y D.6.2.8 respectivamente.

$V_b$  es la resistencia básica al arrancamiento del concreto por cortante para un solo anclaje.

$A_{V,c}$  es el área proyectada de la superficie de falla sobre un lado del elemento de concreto en su borde, para un solo anclaje o para un grupo de anclajes (ver Figura 12). Este valor se permitirá evaluar como el área proyectada de la superficie de falla sobre la cara lateral del elemento, tanto para anclajes individuales como para grupos de anclajes.

$A_{V,c}$  también se puede evaluar 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.

$c_{a1}$  deberá de tomarse como la distancia desde el borde hasta el eje mencionado en el párrafo anterior.

Cabe hacer notar que  $A_{V,c}$  no deberá de exceder a  $nA_{Vco}$ , donde  $n$  es el número de anclajes del grupo.

$A_{Vco}$  es el área proyectada para un anclaje individual en un elemento alto, con una distancia al borde, igual o mayor que  $1.5c_{a1}$  en dirección perpendicular a la fuerza cortante (ver Figura 10). Este valor se permite evaluar como la base de una media pirámide con una longitud lateral paralela al borde igual a  $3c_{a1}$  y una profundidad de  $1.5c_{a1}$ :

$$A_{Vco} = 4.5 (c_{a1})^2 \text{ (en "m}^2 \text{ ó pulg}^2\text{")} \text{ (D-23)}$$

Cuando los anclajes se encuentran ubicados a distintas distancias del borde y éstos están soldados al aditamento de tal forma que éste distribuya la fuerza a todos los anclajes, se puede evaluar la resistencia basándose en la distancia desde el borde hasta la fila de anclajes más alejada. En este caso, el valor de  $c_{a1}$  puede tomarse como la distancia desde el borde al eje de la fila de anclajes más alejada que fue seleccionada como crítica, debiendo de suponerse que toda la fuerza cortante será resistida únicamente por esta fila crítica de anclajes.

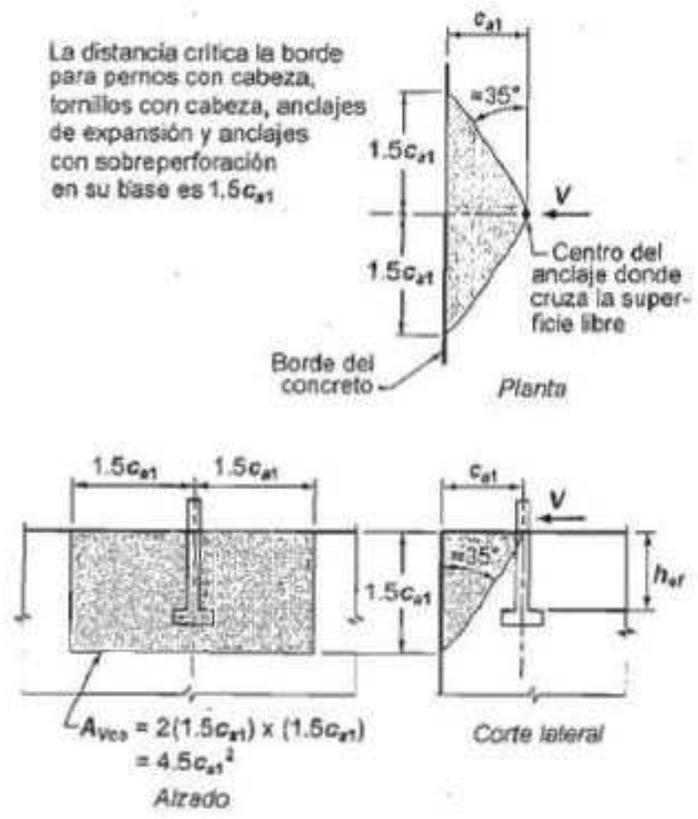


Figura 10. Cálculo de  $A_{Vco}$  [1]

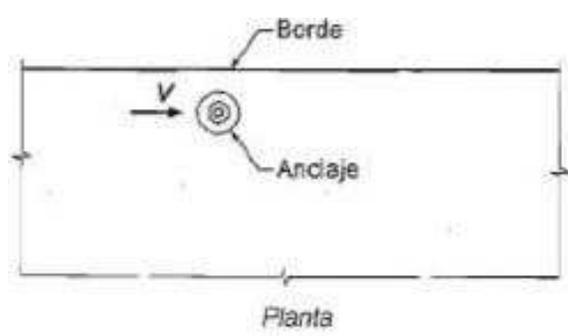


Figura 11. Fuerza Cortante Paralela a un Borde [1]

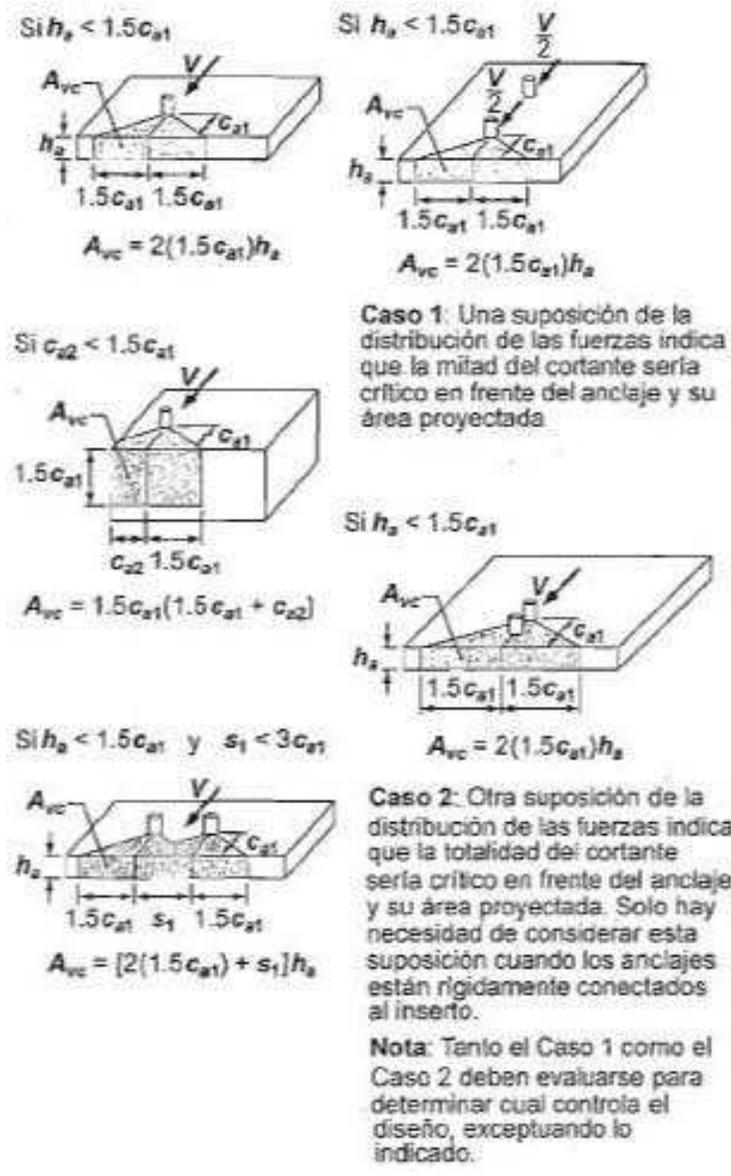


Figura 12. Cálculo de  $A_{vc}$  Para un Solo Anclaje y Grupos de Anclajes <sup>[1]</sup>

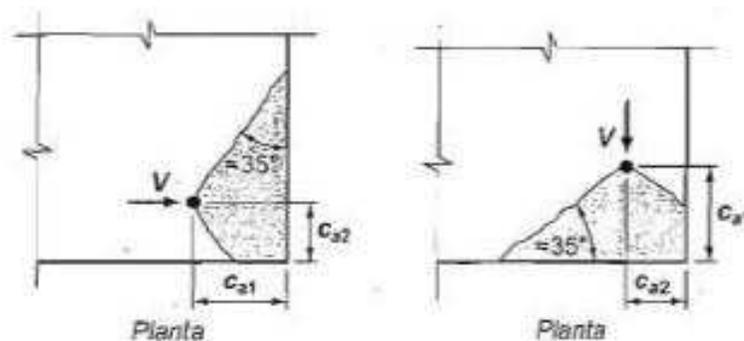


Figura 13. Fuerza Cortante Cerca de una Esquina <sup>[1]</sup>

2.5.5.2.2 (Sección D.6.2.2) La resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto de un anclaje individual <sup>[1]</sup> en concreto fisurado ( $V_b$ ), no deberá de exceder :

$$V_b = 0.6 (l_e / d_a)^{0.2} \sqrt{d_a} \lambda \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1.5} \text{ (en "N")} \text{ (D-24)}$$

$l_e$  = longitud de apoyo de carga del anclaje en cortante:

- a.  $l_e = h_{ef}$ , para anclajes de rigidez constante en toda la sección de longitud de embebido (como es el caso de los anclajes con cabeza y de los anclajes postinstalados con una camisa tubular en toda la longitud de embebido)
- b.  $l_e = 2d_a$ , para anclajes de expansión de torque controlado con una camisa distanciadora separada de la camisa de expansión; cabe aclarar que, en ningún caso,  $l_e$  podrá exceder a  $8d_a$ .

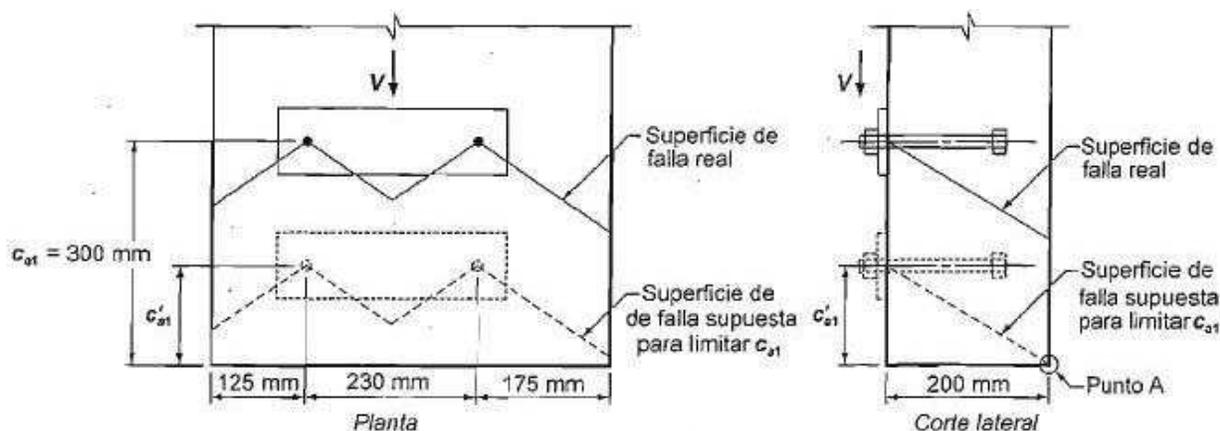
2.5.5.2.3 (Sección D.6.2.3) Para pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho (preinstalados), que estén soldados en forma continua a aditamentos de acero, con un espesor mínimo igual al mayor entre 10 mm (1 cm) y a la mitad del diámetro del anclaje, la resistencia básica al arrancamiento del concreto en cortante para un solo anclaje en concreto fisurado ( $V_b$ ), no deberá de exceder <sup>[1]</sup>:

$$V_b = 0.66 (l_e / d_a)^{0.2} \sqrt{d_a} \lambda \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1.5} \text{ (en "N")} \quad (D-25)$$

$l_e$  = valor definido en la sección D.6.2.2 y siempre que:

- a. Para un grupo de anclajes, la resistencia sea determinada con base en la resistencia de la fila de anclajes más alejada del borde
- b. El espaciamiento de los anclajes ( $s$ ), no sea menor de 65 mm (6.5 cm)
- c. Se coloque refuerzo suplementario en las esquinas si  $c_{a2} \leq 1.5h_{ef}$

2.5.5.2.4 (Sección D.6.2.4) Donde los anclajes estén influenciados por 3 o más bordes, el valor de  $c_{a1}$  empleado en las ecuaciones D-23 ala D-29, no deberá de exceder al mayor de  $c_{a2}/1.5$  en cualquier dirección,  $h_a/1.5$  y  $1/3$  del espaciamiento máximo entre los anclajes dentro del grupo <sup>[1]</sup>.



El valor real de  $c_{a1} = 300$  mm pero dos bordes ortogonales  $c_{a2}$  y  $h_a$  están  $\leq 1.5c_{a1}$  por lo tanto el valor limite para  $c_{a1}$  (mostrado como  $c'_{a1}$  en la figura) es el mayor de  $c_{a2,max}/1.5$ ,  $h_a/1.5$  y  $1/3$  del máximo espaciamento de un grupo de anclajes.

$c'_{a1} = \text{máximo de } (175/1.5, 200/1.5, 230/3) = 133$  mm

Por lo tanto, debe usarse  $c'_{a1} = 133$  mm en las ecuaciones (D-21) a (D-28) incluyendo el cálculo de  $A_{vc}$ :

$$A_{vc} = (125 + 230 + 175)(1.5 \times 133) = 105\,735 \text{ mm}^2$$

El punto A muestra la intersección de la superficie de falla supuesta para limitar  $c_{a1}$  con la superficie del concreto

Figura 14. Cortante Cuando los Anclajes Están  
Influenciados por 3 o más Bordes <sup>[1]</sup>

2.5.5.2.5 (Sección D.6.2.5) El factor de modificación <sup>[1]</sup> para grupos de anclajes cargados excéntricamente ( $\Psi_{ec,v}$ ), deberá de calcularse como:

$$\Psi_{ec,v} = 1 / (1 + (2 e_v / 3 c_{a1})) \text{ (adimensional) (D-26)}$$

pero  $\Psi_{ec,v}$  no deberá de tomarse mayor que la unidad 1.0.

Si la carga en un grupo de anclajes actúa de forma tal que solo algunos de ellos se encuentran cargados en corte en la misma dirección, únicamente esos anclajes que se encuentran cargados en corte en la misma dirección, pueden ser considerados al determinar la excentricidad

$e_v'$  para ser usada en la ecuación D-26 y para calcular  $V_{cbg}$  en la ecuación D-22 (ver Figura 15).

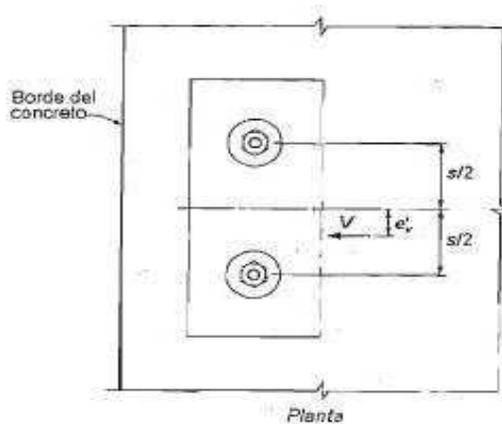


Figura 15. Definición de  $e_v'$  Para un Grupo de Anclajes <sup>[1]</sup>

2.5.5.2.6 (Sección D.6.2.6) El factor de modificación para el efecto del borde para anclajes sencillos o grupos de anclajes cargados en cortante es <sup>[1]</sup>:

$$\Psi_{ed,v} = 1.0 \quad \text{si } c_{a2} \geq 1.5 c_{a1} \text{ (adimensional)} \quad (\text{D-27})$$

$$\Psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 (c_{a2} / 1.5 c_{a1}) \quad \text{si } c_{a2} < 1.5 c_{a1} \text{ (adimensional)} \quad (\text{D-28})$$

2.5.5.2.7 (Sección D.6.2.7) Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto donde el análisis indique que no hay fisuración debido a cargas de servicio, se permitirá el uso del siguiente factor de modificación <sup>[1]</sup>:

$$\Psi_{c,v} = 1.4 \text{ (adimensional)}$$

Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto donde el análisis indique que hay fisuración debido a cargas de servicio, se permitirá el uso de los siguientes factores de modificación:

- a.  $\Psi_{c,v} = 1.0$  para anclajes en concreto fisurado sin refuerzo suplementario o refuerzo de borde menor que una barra de diámetro #13
- b.  $\Psi_{c,v} = 1.2$  para anclajes en concreto fisurado con refuerzo consistente en barras de diámetro #13 o mayor, ubicadas entre el anclaje y el borde
- c.  $\Psi_{c,v} = 1.4$  para anclajes en concreto fisurado con refuerzo consistente en una barra de diámetro #13 o mayor, ubicada entre el anclaje y el borde, y con el refuerzo confinado por estribos espaciados a no más de 100 mm (10 cm)

2.5.5.2.8 (Sección D.6.2.8) Para anclajes ubicados en un elemento de concreto, donde  $h_a < 1.5c_{a1}$ ,  $\Psi_{h,v}$  deberá de calcularse de la siguiente manera <sup>[11]</sup>:

$$\Psi_{h,v} = \sqrt{(1.5 c_{a1} / h_a)} \text{ (adimensional) } \quad (D-29)$$

donde  $\Psi_{h,v}$  no deberá de tomarse menor que la unidad 1.0.

2.5.5.2.9 (Sección D.6.2.9) Donde el refuerzo del anclaje se desarrolle siguiendo los lineamientos establecidos por el Capítulo 12, a ambos lados

de la superficie de ruptura, o encierre al anclaje y se desarrolle más allá de la superficie de ruptura, entonces, para determinar  $\phi V_n$ , se permitirá usar la resistencia de diseño del refuerzo del anclaje en vez de la resistencia al arrancamiento del concreto [1].

Se permitirá usar un factor de reducción de resistencia de 0.75 para el diseño del refuerzo del anclaje.

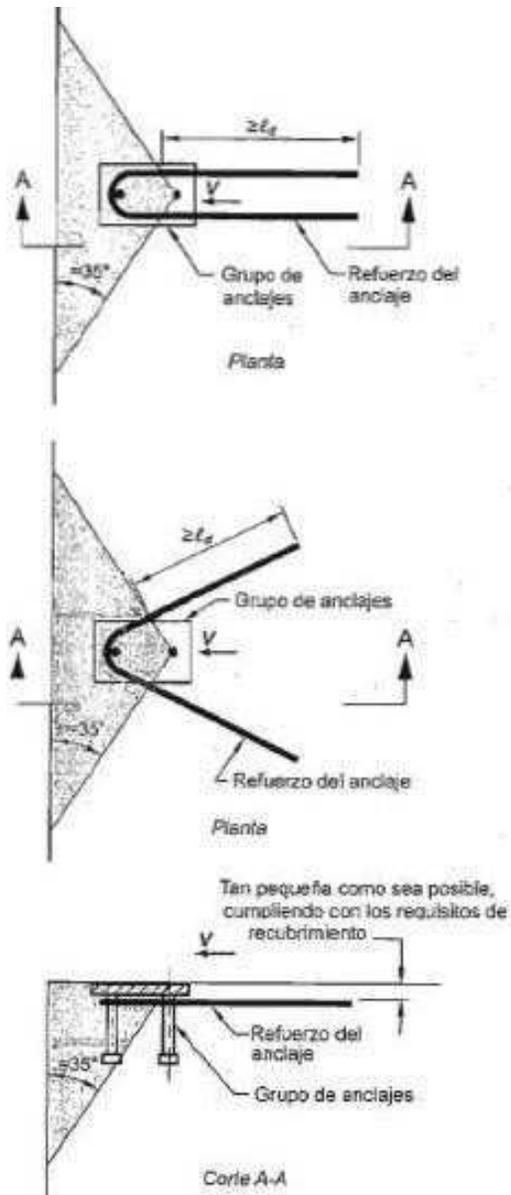


Figura 16. Refuerzo de Anclaje de Horquilla Para Cortante <sup>[1]</sup>

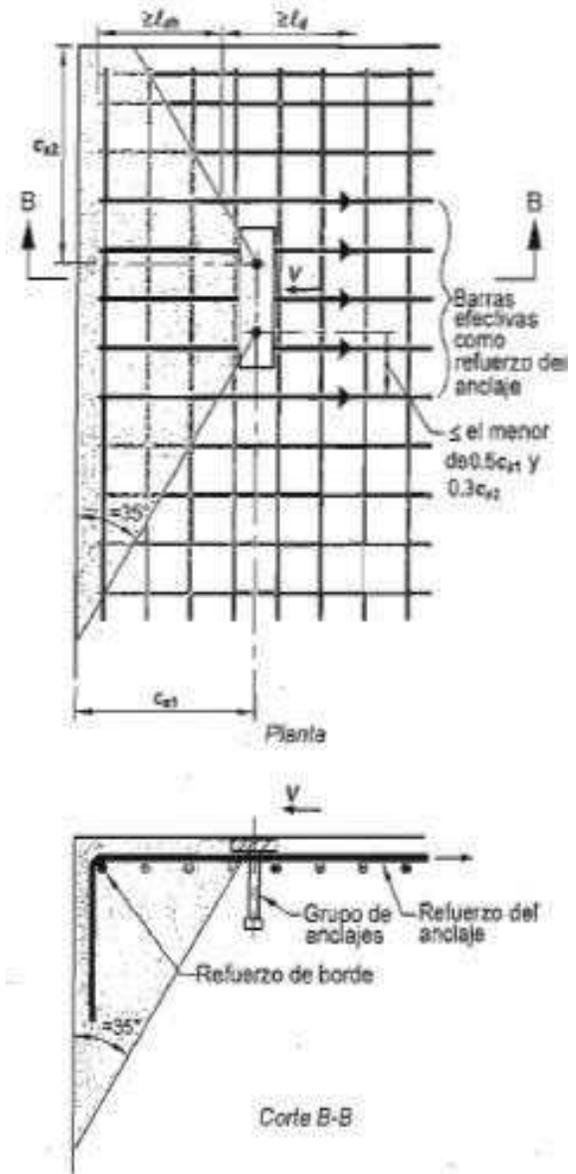


Figura 17. Refuerzo de Borde y Refuerzo de Anclaje Para Cortante <sup>[1]</sup>

### 2.5.5.3 Resistencia al Desprendimiento del Concreto por Cabeceo del Anclaje Sometido a Cortante (Sección D.6.3)

2.5.5.3.1 (Sección D.6.3.1) La resistencia nominal al desprendimiento por cabeceo del anclaje causado por cortante ( $V_{cp}$  o  $V_{cpg}$ ), no deberá de exceder de <sup>[1]</sup>:

a. Para un solo anclaje:

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-30)$$

b. Para un grupo de anclajes:

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cbg} \text{ (en "N ó lb")} \quad (D-31)$$

$$k_{cp} = 1.0, \text{ para } h_{ef} < 65 \text{ mm (6.5 cm)}$$

$$k_{cp} = 2.0, \text{ para } h_{ef} \geq 65 \text{ mm (6.5 cm)}$$

$N_{cb}$  y  $N_{cbg}$  se deberán de determinar mediante la ecuación D-4 y la ecuación D-5 respectivamente

## 2.5.6 Interacción de las Fuerzas de Tensión y Cortante (Sección D.7)

Los anclajes o grupos de anclajes que se encuentren sometidos a la acción combinada de cargas axiales y de cargas de cortante, deberán de ser diseñados para satisfacer los requerimientos comprendidos desde la sección D.7.1 hasta la sección D.7.3, a no ser que sean diseñados para cumplir con lo dispuesto en la sección D.4.3 <sup>[1]</sup>.

El valor de  $\phi N_n$  deberá de ser el exigido por la sección D.4.1.2, mientras que el valor de  $\phi V_n$  deberá de ser el definido por la misma sección <sup>[1]</sup>.

2.5.6.1 (Sección D.7.1) Si  $V_{ua} \leq 0.2\phi V_n$ , se permitirá usar la resistencia total en tensión <sup>[1]</sup>:

$$\phi N_n \geq N_{ua}$$

2.5.6.2 (Sección D.7.2) Si  $N_{ua} \leq 0.2\phi N_n$  <sup>[1]</sup>, se permitirá usar la resistencia total por cortante:

$$\phi V_n \geq V_{ua}$$

2.5.6.3 (Sección D.7.3) Si  $V_{ua} > 0.2\phi V_n$  y  $N_{ua} > 0.2\phi N_n$ , entonces <sup>[1]</sup>:

$$\left(\frac{N_{ua}}{\phi N_n}\right) + \left(\frac{V_{ua}}{\phi V_n}\right) \leq 1.2 \quad (D-32)$$

### 2.5.7 Distancias al Borde, Espaciamientos y Espesores Requeridos Para Evitar las Fallas por Hendimiento o Agrietamiento (Sección D.8)

Los espaciamientos mínimos y distancias al borde para anclajes, así como también los espesores mínimos de los elementos, deberán de cumplir con lo establecido desde la sección D.8.1 hasta la D.8.6, a no ser que se coloque refuerzo suplementario para controlar el hendimiento o agrietamiento <sup>[1]</sup>.

2.5.7.1 (Sección D.8.1) El espaciamiento mínimo entre centro y centro de los anclajes deberá de ser  $4d_a$  para anclajes preinstalados que no serán sometidos a torsión y de  $6d_a$  para anclajes preinstalados y postinstalados que serán sometidos a torsión de acuerdo con el ACI 355.2 <sup>[1]</sup>.

Este requerimiento deberá de cumplirse a menos que los espaciamientos se determinen en base a lo dispuesto en la sección D.8.4.

2.5.7.2 (Sección D.8.2) Las distancias mínimas al borde para los anclajes con cabeza preinstalados que no serán torsionados deberán de basarse en los requisitos mínimos de recubrimiento para el refuerzo, según la sección 7.7 <sup>[1]</sup>.

Para los anclajes con cabeza preinstalados que serán sometidos a torsión, la distancia mínima al borde es de  $6d_a$ .

Este requerimiento deberá de cumplirse a menos que las distancias mínimas al borde se determinen en base a lo dispuesto en la sección D.8.4.

2.5.7.3 (Sección D.8.3) Las distancias mínimas al borde para anclajes postinstalados deberán de estar basadas en el mayor de los requisitos mínimos de recubrimiento especificado para refuerzos en base a lo establecido en la sección 7.7, o los requisitos para la distancia mínima al borde para los productos determinado por ensayos experimentales de acuerdo con el ACI 355.2, y no deberán de ser menores que 2.0 veces el tamaño máximo del agregado <sup>[1]</sup>.

En ausencia de información sobre los ensayos específicos para los productos según el ACI 355.2, la distancia mínima al borde no deberá de ser menor de:

- a. Anclajes con sobreperforación en su base:  $6d_a$
- b. Anclajes controlados por torque:  $8d_a$
- c. Anclajes controlados por desplazamiento:  $10d_a$

Este requerimiento deberá de cumplirse a menos que las distancias mínimas al borde se determinen en base a lo dispuesto en la sección D.8.4.

2.5.7.4 (Sección D.8.4) Para los anclajes donde la instalación no produce una fuerza de agrietamiento y que no serán sometidos a torsión, si la

distancia al borde o espaciamiento es menor al especificado en las secciones D.8.1, D.8.2 y D.8.3, los cálculos deben de realizarse sustituyendo  $d_a$  por un valor menor  $d_a'$  que cumpla con los requisitos de las secciones ya mencionadas (de D.8.1 a D.8.3) <sup>[11]</sup>.

Las fuerzas calculadas aplicadas al anclaje deberán de limitarse a los valores que correspondan a un anclaje de diámetro  $d_a'$ .

2.5.7.5 (Sección D.8.5) El valor de  $h_{ef}$  para un anclaje postinstalado, ya sea de expansión o con sobreperforación en su base, no deberá de exceder al mayor entre  $2/3$  del espesor del elemento o el espesor del elemento menos 100 mm (10 cm) <sup>[11]</sup>.

2.5.7.6 (Sección D.8.6) La distancia crítica de borde ( $c_{ac}$ ), no deberá de tomarse menor que <sup>[11]</sup>:

- a. Anclajes con sobreperforación en su base:  $2.5h_{ef}$
- b. Anclajes de torsión controlada:  $4h_{ef}$
- c. Anclajes de desplazamiento controlado:  $4h_{ef}$

## 2.5.8 Instalación de los Anclajes (Sección D.9)

2.5.8.1 (Sección D.9.1) Los anclajes deberán de ser instalados de acuerdo con los planos y especificaciones del proyecto <sup>[11]</sup>.

Finalmente y ya para concluir el presente capítulo, es necesario acotar algunas notas aclaratorias:

Primero: con el fin de no alterar de forma significativa la numeración de las ecuaciones dada por el Apéndice D, se aclara que la numeración que éstas poseen dentro del presente capítulo, corresponde a la numeración que el Apéndice D les ha asignado dentro de su contenido.

Segundo: la nomenclatura de secciones que aparece entre paréntesis en cada apartado de la normativa del Apéndice D expuesta en el presente capítulo, corresponde a la dada por el mismo apéndice a cada sección dentro de su contenido.

Tercero: si se desea profundizar más en el estudio de la normativa del Apéndice D expuesto en este capítulo, se recomienda remitirse a la respectiva sección de comentarios de dicho apéndice.

Una vez revisado los antecedentes del tema de estudio de la presente tesis de investigación, a continuación, se procederá en el siguiente capítulo a la exposición de los objetivos que se buscarán alcanzar con el desarrollo del presente trabajo.

## **CAPÍTULO 3**

### **OBJETIVOS**

## **CAPÍTULO 3**

### **OBJETIVOS**

#### **3.1 Introducción**

Como todo tema de investigación, antes de la presentación de los objetivos que se buscan con el estudio del tema elegido y de la exposición de la(s) hipótesis a demostrar con el proceso metodológico seleccionado, es necesario y obligatorio conocer los trabajos previos que se han efectuado con respecto al tema sobre el cual se ha decidido investigar. Para ello, se realiza lo que se conoce como una revisión del estado del arte o conocimiento de los antecedentes del tema escogido, lo cual puede apreciarse claramente en el desarrollo del capítulo anterior. Vale la pena destacar que para el caso específico del presente trabajo, la revisión bibliográfica se ha realizado con el objeto de conocer algunos de los métodos conservadores utilizados en décadas pasadas y especialmente, con el fin de encontrar ejemplos resueltos que puedan servirnos como puntos de comparación con los resultados que se obtendrán de la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 a ellos mismos. Habiéndose revisado dichos antecedentes, es cuando se está listo para adentrarse ya en el respectivo planteamiento de los objetivos que se persiguen con el presente trabajo y de la hipótesis cuya veracidad se pretende comprobar.

De forma general, se puede decir que la presente tesis de investigación está orientada fundamentalmente a la obtención de dos metas. En primera instancia,

el estudio de la aplicación del método basado en lo establecido por el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08 bajo el formato de un método automatizado apoyado sobre la plataforma del Programa Excel perteneciente al paquete computarizado de Microsoft Office, cuyo fin básico será el de proveer una herramienta práctica y de fácil utilización para el análisis y diseño de sistemas de anclajes de estructuras de acero a estructuras de concreto reforzado.

Por otra parte, se pretende llevar a cabo el análisis y diseño de los sistemas de anclajes para algunos casos estructurales típicos, haciendo uso del método examinado en la presente tesis, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 y de un método conservador tradicional aplicable a cada caso, con el objetivo primario de llevar a cabo un estudio comparativo de resultados entre los métodos aplicados, el cual, llevará a la consecución de los objetivos perseguidos y a la confirmación o negación de lo plasmado en la hipótesis.

A continuación se expone el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis de investigación.

## 3.2 Planteamiento de Objetivos

### 3.2.1 Objetivo General

Estudiar la aplicación del método de diseño basado en la nueva norma establecida por el Código ACI 318S-08 en su Apéndice D, bajo el formato de un método automatizado cuya base operacional se desarrollará a partir de las herramientas que provee el Programa Excel de Microsoft Office, como una alternativa de diseño práctica, rápida y segura a la solución de problemas relacionados con el diseño de los sistemas de anclajes de estructuras de acero a cimentaciones de concreto reforzado.

Después de haberse expuesto el objetivo general de la presente tesis, se mencionan a continuación los 2 objetivos específicos del presente trabajo.

### 3.2.2 Objetivos Específicos

a. Realizar un estudio comparativo de resultados entre los obtenidos mediante la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 y los que resulten de la aplicación de métodos basados en antiguas normas (Método Conservador de Lincoln y Método Conservador de Brownell & Young) a los casos estructurales seleccionados para el estudio.

b. Comparar los parámetros reguladores del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 y los dados por los métodos tradicionales utilizados, junto con los resultados obtenidos por medio de cada uno de ellos, con el fin de

establecer cuál de estos métodos (nuevo vs. tradicionales o conservadores) es el idóneo para aplicar a la solución de problemas relacionados con el diseño de sistemas de anclajes de estructuras de acero a estructuras de concreto reforzado.

Habiéndose observado el planteamiento de los objetivos a buscar con el presente trabajo, en el siguiente capítulo se procederá a la presentación de la hipótesis a comprobar.

## **CAPÍTULO 4**

### **HIPÓTESIS**

## **CAPÍTULO 4**

### **HIPÓTESIS**

#### **4.1 Introducción**

Hasta este momento, ya se han estudiado previamente 3 capítulos que ya han descrito, de forma clara y precisa, el panorama general que engloba la presente tesis de investigación.

En primera instancia, el capítulo relativo a la definición del tema de estudio y la justificación del mismo, nos han dado la definición clara de la temática de la cual trata el presente trabajo y al mismo tiempo, el por qué es importante y necesario debatirlo, estudiarlo, comprenderlo y aplicarlo.

En segundo lugar, el capítulo concerniente a los antecedentes, nos ha dado la información bibliográfica necesaria para el estudio del tema elegido, la cual, nos ha introducido a profundidad en el tema central de la presente investigación. Lo anterior se ha logrado mediante el estudio de una reseña histórica del tema, las definiciones básicas que es necesario comprender, cuáles han sido las especificaciones y métodos tradicionales que, antes de la aparición del Apéndice D, se han venido utilizando para el análisis y diseño de sistemas de anclajes, así como también, la exposición de la normativa dada por el apéndice ya mencionado; ya con ello, se ha cubierto de forma sustancial, la definición de la temática en discusión, su terminología, su historia, lo antiguo y lo nuevo del

tema, es decir, el qué es, de dónde viene, de qué trata el tema y su respectiva evolución a través del tiempo.

Finalmente, el capítulo que trata sobre los objetivos, nos indica de forma clara, cuál es el rumbo hacia el cual se dirige la presente investigación, es decir, qué es lo que se pretende con el desarrollo del presente trabajo.

Ya habiendo estudiado la definición del tema de estudio, su importancia, su historia, los conceptos que involucra, el contraste entre lo antiguo y lo nuevo del mismo (antiguos métodos de diseño y el propuesto por la nueva normativa) y cuáles son las metas que se desean cumplir, se puede enunciar ya cuál será la hipótesis que se pretenderá comprobar dentro de la presente tesis de investigación.

#### **4.2 Planteamiento de la Hipótesis**

La hipótesis del presente trabajo es la siguiente:

**Comprobar que los resultados que se obtienen por medio de la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 son menos conservadores que los obtenidos en base a ejemplos resueltos con métodos tradicionales de antiguas normas.**

Habiéndose hecho el planteamiento de la hipótesis por demostrar en la presente tesis de investigación, en el capítulo siguiente se procederá a la descripción clara y detallada de la metodología a implementar para la búsqueda del

cumplimiento de los objetivos pretendidos en el presente trabajo y la demostración de la hipótesis enunciada.

## **CAPÍTULO 5**

### **METODOLOGÍA**

## **CAPÍTULO 5**

### **METODOLOGÍA**

#### **5.1 Introducción**

Una vez que se ha planteado la hipótesis que se pretende demostrar, en el presente capítulo se procederá a describir de una forma clara, precisa y detallada la metodología que se implementará con el fin de cumplir con los objetivos o metas que se han trazado en el presente trabajo, así como también el buscar la demostración de la veracidad de lo planteado en el enunciado de la hipótesis o por el contrario, el visualizar el no cumplimiento de lo establecido por la misma.

En las siguientes secciones del presente capítulo, se definirá cuál será la metodología a utilizar, cuáles serán los casos estructurales a desarrollar, los métodos de solución a aplicar a cada uno de ellos, la descripción de los pasos para la aplicación de cada método y el tipo de análisis a efectuar con los resultados que se obtengan de la aplicación de los métodos seleccionados a cada caso de estudio.

A continuación, en la siguiente sección se describirá cuál será la metodología a utilizar.

## 5.2 Breve Descripción de la Metodología a Implementar

La metodología que se utilizará en la presente tesis de investigación consiste en conceptualizar y materializar la automatización de un método de diseño basado en una nueva normativa, de tal forma, que este método sea más práctico y más fácil de utilizar para el diseño óptimo, económico y rápido de sistemas de anclajes de estructuras de acero en cimentaciones de concreto reforzado. Dicho método posee como base de sustentación las normas reguladoras establecidas por el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08 [1]. Ahora bien, para lograr plantear el método como tal, es decir, como un método automatizado de fácil utilización y que brinde los resultados de una manera más rápida, se ha llegado a la conclusión de que el uso de las herramientas pertenecientes al Programa Excel del paquete computarizado de Microsoft Office como base operacional del método, es la forma más viable para la materialización de dicha idea.

Una vez automatizado el método en cuestión (Método del Apéndice D-ACI 318S-08), se procederá a la selección de los dos casos estructurales cuyos sistemas de anclaje serán diseñados. Cabe mencionar que los dos casos a seleccionar serán dos casos típicos de naturaleza general, es decir, casos que se observan a menudo en muchos tipos de edificaciones y que por ende, ameritan ser estudiados en detalle para poder llegar a tener una conceptualización general clara de cómo se pueden solucionar otros casos de tipo e importancia similar a los analizados.

Es importante aclarar que en el presente trabajo, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, poseerá dos formatos de aplicación, esto debido a las características propias de cada caso estructural a estudiar, razón por la cual el método no se puede estandarizar, es decir, tiene que poseer un formato de aplicación específico para el tipo de caso estructural a analizar.

Ya una vez seleccionados los casos de estudio, se procederá al diseño de los sistemas de anclaje para cada ejemplo, llevándose a cabo esta operación por medio de la aplicación de dos métodos: el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 y el método conservador aplicable para cada caso.

Finalmente, una vez obtenidos los resultados de los dos métodos para cada caso estudiado, se procederá a la realización de un análisis comparativo entre los mismos, con el objeto de estudiar y discutir las diferencias que puedan darse entre ellos, las probables causas de estas diferencias, la deducción y enunciado de las conclusiones finales, la comprobación de lo planteado en la hipótesis y la emisión de las respectivas recomendaciones del caso para futuros trabajos.

Todo lo anteriormente descrito es una breve descripción de la metodología a utilizar para alcanzar los objetivos trazados y comprobar la hipótesis enunciada. A continuación, se describen los casos estructurales a estudiar.

### 5.3 Casos Estructurales a Desarrollar

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, los casos estructurales a desarrollar en la presente tesis, serán casos típicos de naturaleza generalizada, los cuales pueden apreciarse en muchos tipos de edificaciones existentes y que por lo tanto, conviene analizarlos en detalle para poder tener un enfoque globalizado de cómo poder solucionar otros casos que sean de orden similar, en cuanto a tipo e importancia se refiere.

Para el presente trabajo, los casos estructurales a estudiar son los que se enumeran a continuación:

- a. Columna de un gran edificio
- b. Chimenea industrial

Es interesante destacar que en ambos casos, la condición de carga es la misma, ya que tanto en el caso de la columna de un gran edificio como en el de la chimenea industrial, ambas estructuras se encuentran sometidas a la acción de una carga axial de compresión al centro del elemento en combinación con la acción de un momento flexionante. Todos los demás datos relacionados con la magnitud de las cargas, las dimensiones de los elementos estructurales, la resistencia última a la compresión del concreto a usar en el pedestal ( $f'_c$ ) entre otros, son datos que ya se encuentran dados por los ejemplos a solucionar.

A continuación, se describirán los métodos que se utilizarán para dar solución a los casos estructurales seleccionados.

#### **5.4 Métodos de Aplicación a los Casos Estructurales de Estudio**

Como ya se había mencionado en líneas anteriores, el diseño de los sistemas de anclaje para cada caso estructural seleccionado, se hará por medio de dos métodos. Ahora bien, es tiempo de especificar cuáles serán esos métodos conservadores a utilizar, de qué forma se aplicarán para resolver los casos a analizar (descripción detallada del procedimiento), y también, de igual forma, cuál será la forma de aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08.

Es importante señalar que debido a las características propias de cada caso estructural, en cuanto al tipo de elemento estructural, comportamiento y dimensiones del mismo se refiere, se han seleccionado dos métodos conservadores distintos para ser aplicados a los dos casos de estudio. A continuación, en la Tabla I, se especifican de manera clara los métodos a utilizar para cada caso estructural escogido:

Tabla I

## Métodos de Aplicación a los Casos Estructurales Seleccionados

Casos Estructurales a Solucionar	Método Conservador a Implementar	Método del Apéndice D-ACI 318S-08
1. Columna de un gran edificio	Método Conservador de Lincoln	Formato de aplicación para el caso de columnas
2. Chimenea industrial	Método Conservador de Brownell & Young	Formato de aplicación para el caso de chimeneas

En los siguientes apartados, se describirán de forma muy específica, cada uno de los procedimientos que se llevarán a cabo para cada método a emplear en la solución de los casos estructurales.

## 5.4.1 Caso Estructural: Columna de un Gran Edificio

5.4.1.1 Método Conservador de Lincoln <sup>[13]</sup>

- Cálculo de datos complementarios

En primer lugar, el cálculo del módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) se hará por medio de la siguiente expresión:

$$E_c = 57,000 \sqrt{f'_c}$$

Seguidamente, se realizará el cálculo de la relación entre módulos de elasticidad ( $n$ ) con la siguiente ecuación:

$$n = E_s / E_c$$

Después, el cálculo del esfuerzo máximo de flexión ( $\sigma$ ) se hará con esta ecuación:  $\sigma = 0.75 * \sigma_y$

El cálculo del esfuerzo permisible de compresión del concreto ( $p$ ) se hará con base en la información dada por la Tabla II, donde la elección del valor o de la expresión a usar dependerá de qué tipo de cimentación posea el caso en estudio:

Tabla II  
Esfuerzos Permisibles de Compresión  
de la Cimentación <sup>[13]</sup>

On sandstone and limestone	$p = 400 \text{ psi}$
On brick in cement mortar	$p = 250 \text{ psi}$
On full area of concrete support	$p = 0.25 f'_c$
On $\frac{1}{3}$ area of concrete support	$p = 0.375 f'_c$

where  $f'_c$  is the specified compression strength of the concrete at 28 days  
(In this text,  $f'_c$  is used as equivalent to AISC's  $f'_c$ .)

Seguidamente, el cálculo de la excentricidad de la carga ( $e$ ) se hará con la siguiente fórmula:  $e = M / P_c$

Una vez obtenido el valor de la excentricidad, éste deberá de compararse contra el valor de " $d / 2$ ", de tal forma que si " $e$ " resultara ser menor o igual a " $d / 2$ ", entonces no se requeriría diseñar una conexión de botas en la base de la columna; por el contrario, si resultara ser mayor a " $d / 2$ ", entonces sí se necesitaría diseñar una conexión de botas. El diseño de este tipo de conexión se especifica más adelante.

- Barras de anclaje en tensión

En este paso, el ejemplo expone los siguientes datos: tamaño de las barras de anclaje a usar, área de cada barra y número de barras de anclaje a considerar a cada lado de la columna.

A continuación se deberá de encontrar cuál es la distancia que hay entre el eje neutro de la columna y el centroide de las barras de anclaje en tensión (f).

- Dimensionamiento de la placa base de la columna

El cálculo del área mínima de placa base ( $A_{\text{mín}}$ ) se deberá de hacer con la siguiente expresión:  $A_{\text{mín}} = P_c / p$

Seguidamente, el cálculo de las dimensiones mínimas de la placa base (B y D) se hará sacando la raíz cuadrada del valor obtenido para el  $A_{\text{mín}}$ :  $B = D = \sqrt{A_{\text{mín}}}$

Es importante aclarar que la dimensión “B” corresponde al ancho de la placa base y la dimensión “D” al largo de la misma.

A continuación, el ejemplo expone cuáles serán las dimensiones finales de la placa base a considerar.

Seguidamente, se procederá a la verificación de las dimensiones propuestas por el ejemplo tanto para la placa base como para las barras de anclaje a usar, lo cual, se hará por medio del cálculo de la longitud efectiva de resistencia (Y), el cálculo de  $P_T$  y  $\sigma_c$ . Para ello, primero se deberá de calcular el área de las barras de anclaje en tensión:

$$\text{Área de barras en tensión} = A_s = \# \text{ barras} * A_{\text{barra}}$$

En segundo lugar, se deberán de calcular los valores de las 3 constantes  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  por medio de las siguientes ecuaciones:

$$K_1 = 3 * (e - (D / 2))$$

$$K_2 = ((6 * n * A_s) (f + e)) / B$$

$$K_3 = - K_2 * ((D / 2) + f)$$

Una vez encontrados los valores de las constantes anteriores, éstos se ingresarán en la siguiente ecuación bajo el esquema que se muestra a continuación:  $Y^3 + K_1 Y^2 + K_2 Y + K_3 = 0$

Teniendo la ecuación anterior ya armada con los valores de las constantes, se procederá a resolverla para obtener el valor de “Y”.

Una vez que se ha obtenido el valor de “Y”, se deberá de calcular el valor de  $P_T$  por medio de la siguiente expresión:

$$P_T = - P_c * (((D / 2) - (Y / 3) - e) / ((D / 2) - (Y / 3) + f))$$

El valor de  $P_T$  obtenido deberá de resultar menor o igual al valor de  $P_c$ .

Y como última verificación, se deberá de calcular el valor de  $\sigma_c$  mediante la siguiente expresión:  $\sigma_c = 2 * ((P_c + P_T) / (Y * B))$

El valor de  $\sigma_c$  obtenido deberá de resultar menor o igual al valor dado por  $0.85 f_c$ .

- Diseño de la sección efectiva de resistencia del anclaje (diseño de conexión de bota)

Lo primero que se realizará, será el enunciar los elementos que conformarán la sección efectiva de resistencia del anclaje: número de barras de anclaje en tensión (encontrado en pasos anteriores), diámetro y área de dichas barras (definidos en pasos anteriores), porción del alma de la columna (dato que se conocerá de forma posterior), patín de columna (es un dato inicial), tipo de canal (selección a efectuar), tipo de atiesador y número de atiesadores a considerar (selecciones a efectuar).

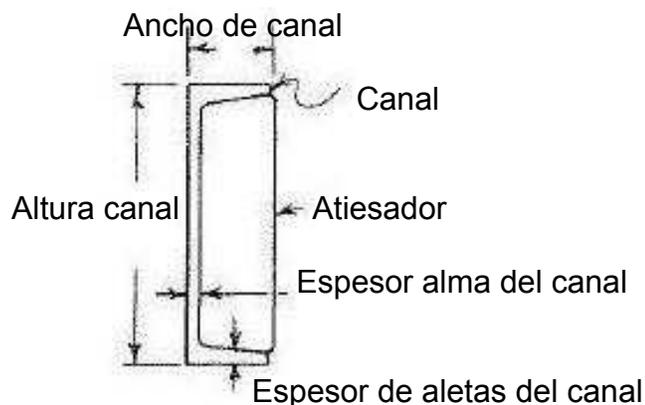


Figura 19. Conexión de Bota (Canal y Atiesador) <sup>[13]</sup>

Una vez seleccionados los elementos que conformarán la sección efectiva de resistencia del anclaje, se deberá de encontrar la ubicación del eje neutro de dicha sección. En primer lugar, se hará un cálculo inicial de áreas de los componentes conocidos:

**Barras en tensión= # de barras \*  $A_{\text{barra}}$**

**Porción del alma=  $t_w$  \* longitud** (quedará planteada como ecuación)

**Patín de columna=  $t_f$  \* longitud**

**Alma del canal= espesor \* longitud**

**Atiesadores del canal= # de atiesadores \* espesor \* longitud**

En segundo lugar, se procederá a realizar el cálculo de  $I_y$  para cada uno de los componentes conocidos:

**Barras en tensión=**

**# de barras \*  $((1/4 * \pi * r^4) + (A_{\text{barra}} * d_{\text{barra-eje de referencia}}^2))$**

**Patín de columna=  $(1/12 * b_f * t_f^3) + (A_{\text{patín}} * d_{\text{patín-eje de referencia}}^2)$**

**Alma del canal=  $(1/12 * largo * espesor^3) + (A_{\text{alma}} * d_{\text{alma-eje de referencia}}^2)$**

**Atiesadores del canal= # de atiesadores \*  $((1/12 * espesor * largo^3) + (A_{\text{atiesador}} * d_{\text{atiesa.-eje de referencia}}^2))$**

Seguidamente, se deberá de realizar el cálculo de  $I_g$  para los atiesadores del canal:

**Atiesadores del canal= # de atiesadores \*  $(1/12 * espesor * largo^3)$**

Una vez calculadas las áreas,  $I_y$  e  $I_g$  de los elementos que conforman la conexión de bota, se deberá de proceder al cálculo de las distancias de los centroides de éstos (barras de anclaje, porción de alma, patín de columna, alma del canal y atiesadores) al

eje de referencia seleccionado, tal y como se muestra en la Figura 20:

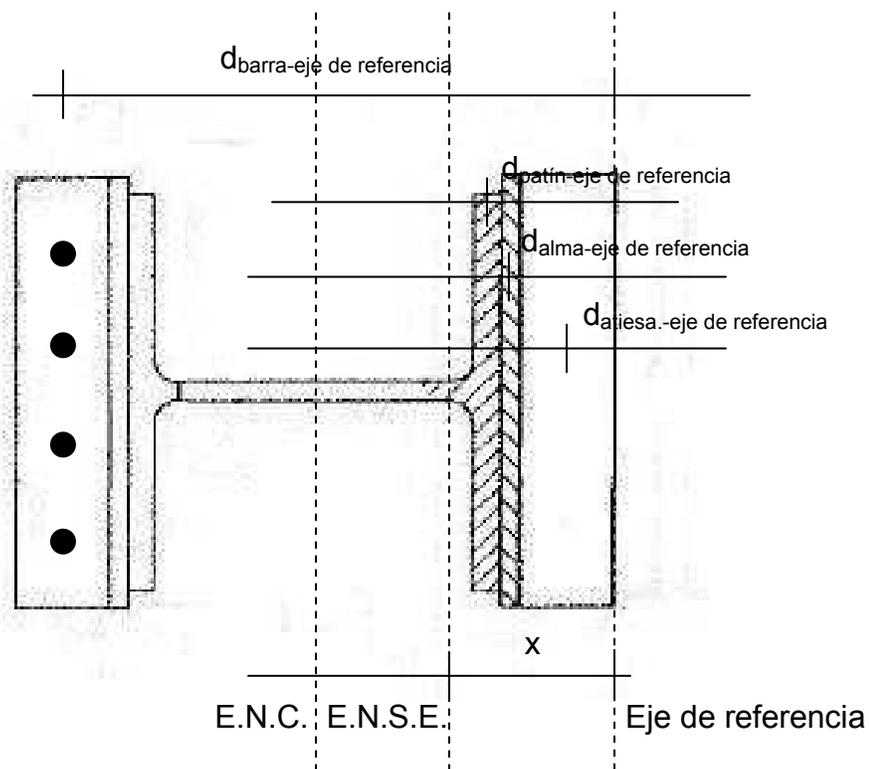


Figura 20. Detalle de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje <sup>[13]</sup>

Una vez que se han encontrado las distancias entre centroides de partes y el eje de referencia, se deberá de calcular el momento para cada componente, siguiendo esta operación:

#### **distancia a eje de referencia x área**

Seguidamente, se procederá a realizar el cálculo de la primera sumatoria de áreas y también el de la primera sumatoria de momentos, con lo cual, se llegarán a obtener como resultados, dos ecuaciones respectivamente.

Basados en lo obtenido en el paso anterior, y al aplicar la siguiente expresión " $x = \Sigma M / \Sigma A$ ", se obtendrá una ecuación matemática que habrá que resolverse para obtener el valor de "x", es decir, la distancia que hay entre el eje de referencia seleccionado y el eje neutro de la sección efectiva de resistencia del anclaje (E.N.S.E.).

Una vez encontrado el valor de "x", se deberán de calcular los totales finales de áreas (A) y de momentos (M), así como también se deberá de llevar a cabo el cálculo de la sumatoria de  $I_y$ , el cálculo de la sumatoria de  $I_g$  y también el cálculo de la sumatoria de los momentos de inercia ( $I_y + I_g$ ).

Después de haberse hecho todo lo anterior, ahora se podrá llevar a cabo el cálculo del momento de inercia alrededor del eje neutro de la sección efectiva de resistencia del anclaje ( $I_n$ ) por medio de la siguiente ecuación:  $I_n = I_y + I_g - (M^2 / A)$

Una vez encontrado  $I_n$ , se procederá al cálculo y revisión del esfuerzo de compresión en el extremo de los atiesadores del canal ( $\sigma_c$ ) mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = ((P_c * \text{distancia}_{P_c-E.N.S.E.} * x) / I_n) + (P_c / A)$$

El valor de  $\sigma_c$  obtenido deberá de resultar menor o igual al valor dado por  $0.6 F_y$ .

Finalmente y para concluir que la conexión de bota propuesta funciona adecuadamente, se procederá al cálculo del esfuerzo de tensión en las barras de anclaje a tensión ( $\sigma_T$ ), así como también al

cálculo y revisión de  $P_T$ . Para ello, primeramente se calculará  $\sigma_T$  con la siguiente fórmula:

$$\sigma_T = ((P_c * \text{distancia}_{P_c-E.N.S.E.} * d_{E.N.S.E.-barras a tensión}) / I_n) - (P_c / A)$$

Y ya por último, se calculará  $P_T$  con esta ecuación:  $P_T = \sigma_T * A_s$

El valor de  $P_T$  obtenido deberá de resultar menor o igual al valor de la carga  $P_c$  y al valor de la fuerza de tensión actuante  $P_T$ .

- Diseño de la soldadura de unión entre los atiesadores y el alma del canal

Lo primero que se deberá de hacer es el cálculo del esfuerzo promedio en los atiesadores ( $\sigma_{\text{prom.atiesa}}$ ). Para tal efecto, primero se deberá de encontrar el valor del esfuerzo  $\sigma_{c2}$  (esfuerzo al paño del alma del canal) por medio de la siguiente relación:

$$\sigma_{c2} = (x - \text{longitud de atiesador}) (\sigma_c / x)$$

Y en segundo lugar, ya con el valor de  $\sigma_c$  y  $\sigma_{c2}$ , se podrá obtener el esfuerzo buscado con la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{prom.atiesa}} = (\sigma_c + \sigma_{c2}) / 2$$

Seguidamente, se deberá de calcular la fuerza en cada atiesador ( $F_{\text{atiesador}}$ ) de la siguiente forma:  $F_{\text{atiesador}} = \sigma_{\text{prom.atiesa}} * A_{\text{atiesador}}$

Una vez encontrada la fuerza en cada atiesador, será necesario proponer una longitud de cordón de soldadura para ambos lados de cada atiesador ( $L$ ). Para esto, se podrá considerar que la estimación inicial del valor de  $L$  podrá obtenerse de la siguiente manera:

**Valor máximo de  $L = \text{Altura del canal} - (2 * \text{Espesor de las aletas del canal})$**

Seguido de lo anterior, se deberá de llevar a cabo el cálculo de la resistencia requerida de soldadura por unidad de longitud ( $f$ ) por medio de la siguiente expresión:  **$f = F_{\text{atiesador}} / (2 * L)$**

Una vez encontrada la resistencia requerida de soldadura por unidad de longitud, se realizará el cálculo del tamaño o espesor requerido de la soldadura de filete ( $\omega$ ) a través de la siguiente fórmula:  **$\omega = f / \text{resistencia de los electrodos}$**

Y finalmente, se procederá a calcular la longitud requerida de soldadura ( $L$ ) a manera de corroboración de la longitud propuesta inicialmente:  **$L = F_{\text{atiesador}} / (2 * f)$**

Finalmente, y como para tener una idea de si lo obtenido hasta el último paso en lo que respecta al diseño de la soldadura de unión entre los atiesadores y el alma del canal es lógico, se procederá a llevar a cabo una verificación del tamaño y longitud de soldadura.

Primero se deberá de hacer una verificación del tamaño mínimo de soldadura; para esto, se deberá de encontrar cuál es el espesor crítico o espesor menor de las partes a conectar, llevando a cabo para tal efecto una comparación entre el espesor de los atiesadores y el espesor del alma del canal. En seguida, se deberá de comparar el espesor crítico encontrado contra los valores

límites del rango dado por las Especificaciones 2005 del AISC para la determinación del tamaño mínimo de soldadura a usar.

En segundo lugar, se deberá de llevar a cabo la verificación del tamaño máximo de soldadura, para lo cual, se utilizará el mismo espesor crítico encontrado en el paso anterior, y se le comparará contra  $\frac{1}{4}$  pulg; si el espesor crítico resultara ser menor a  $\frac{1}{4}$  pulg, entonces el tamaño máximo de soldadura será igual al espesor crítico; si por el contrario, el espesor crítico resultará ser igual o mayor a  $\frac{1}{4}$  pulg, entonces, el tamaño máximo de soldadura será igual al espesor crítico menos  $\frac{1}{16}$  pulg.

En tercer lugar, se hará una verificación de la longitud efectiva mínima de soldadura ( $l_{\min}$ ), para lo cual, se deberá de comparar la longitud mínima de soldadura a usar ( $l_{\min} = 2$  veces la longitud requerida de soldadura para este caso) y 4 veces el tamaño de la soldadura de filete. El valor de  $l_{\min}$  deberá de resultar igual o mayor a 4 veces el tamaño de la soldadura.

Y finalmente, para realizar la verificación de la relación tamaño-longitud, se deberá de comparar el tamaño de la soldadura de filete con  $\frac{1}{4}$  de  $l_{\min}$ . El valor de  $\frac{1}{4}$  de  $l_{\min}$  deberá de resultar igual o mayor al tamaño de la soldadura.

- Diseño de la soldadura de unión entre el canal y el patín de la columna

En primer lugar, se deberá de calcular el esfuerzo promedio en el alma del canal ( $\sigma_{\text{prom.alma-canal}}$ ). Para ello, primero se calculará el esfuerzo  $\sigma_{c3}$  (esfuerzo al paño de la columna) por medio de la siguiente relación:

$$\sigma_{c3} = (x - \text{ancho del canal}) (\sigma_c / x)$$

Una vez hecho lo anterior, se calculará el esfuerzo  $\sigma_{\text{prom.alma-canal}}$  por medio de la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{prom.alma-canal}} = (\sigma_{c2} + \sigma_{c3}) / 2$$

A continuación, se deberá de calcular la fuerza en el alma del canal ( $F_{\text{alma-canal}}$ ) a través de la siguiente ecuación:

$$F_{\text{alma-canal}} = \sigma_{\text{prom.alma-canal}} * A_{\text{alma del canal}}$$

Una vez calculada la fuerza en el alma del canal, se procederá a calcular la fuerza total de compresión en el mismo ( $F_{\text{total en el canal}}$ ) de la siguiente forma:

$$F_{\text{total en el canal}} = F_{\text{alma-canal}} + (\# \text{ de atiesadores} * F_{\text{atiesador}})$$

Seguidamente, se deberá de realizar el cálculo del momento en la soldadura ( $M_{\text{soldadura}}$ ), lo cual se hará de la siguiente manera:

$$M_{\text{soldadura}} = ((\# \text{ de atiesadores} * F_{\text{atiesador}}) (\text{espesor alma canal} + (\text{longitud de atiesador} / 2))) + (F_{\text{alma-canal}} * (\text{espesor alma canal} / 2))$$

A continuación, se procederá a calcular el tamaño y longitud de la soldadura. Para ello, se presentarán diversas opciones para unir el canal al patín de la columna, por medio de la aplicación de cordones de soldadura, ya sea sólo en 2 bordes, en 3 ó en 4 bordes. La elección tendrá que hacerse siguiendo un enfoque económico que permita escoger la opción con el menor tamaño posible para la soldadura.

La primera opción corresponderá a la de tener cordones de soldadura en los bordes superior e inferior de la unión canal-patín (Figura 21). Para esta opción, los cálculos a efectuar son los siguientes (siguiendo el orden de aparición de las expresiones):

$$S_w = b * d$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = F_{\text{total en el canal}} / (2 * b)$$

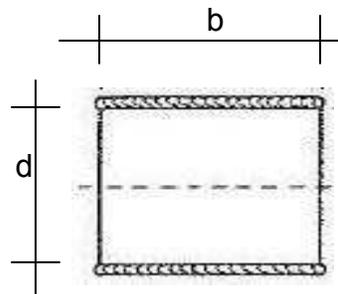


Figura 21. Primera Opción <sup>[13]</sup>

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2}$$

**tamaño de soldadura =  $\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos}$**

La segunda opción (Figura 22) consistirá en tener cordones de soldadura en los dos bordes laterales de la unión canal-patín. Para esta opción, los cálculos a efectuar son los siguientes (siguiendo el orden de aparición de las expresiones):

$$S_w = d^2 / 3$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = F_{\text{total en el canal}} / (2 * d)$$

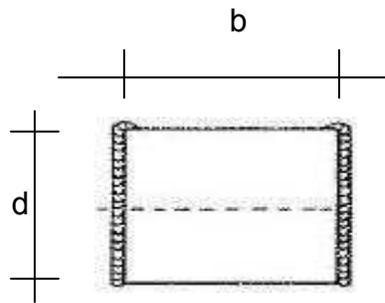


Figura 22. Segunda Opción [13]

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2}$$

**tamaño de soldadura =  $\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos}$**

La tercera opción (Figura 23) corresponderá a la de tener cordones de soldadura en tres bordes (2 bordes laterales y el borde superior) de la unión canal-patín. Para esta opción, los cálculos a efectuar son los siguientes (siguiendo el orden de aparición de las expresiones):

$$S_w = (d^2 * (2b + d)) / (3 * (b + d))$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = F_{\text{total en el canal}} / (b + (2 * d))$$

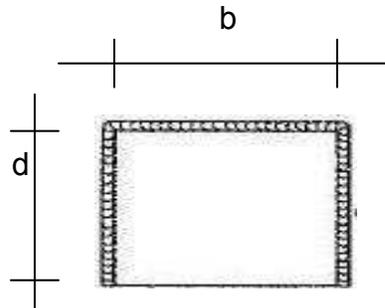


Figura 23. Tercera Opción [13]

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2}$$

**tamaño de soldadura =  $\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos}$**

La cuarta y última opción (Figura 24) consistirá en tener cordones de soldadura en los cuatro bordes de la unión canal-patín. Para esta opción, los cálculos a efectuar son los siguientes (siguiendo el orden de aparición de las expresiones):

$$S_w = (b * d) + (d^2 / 3)$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = F_{\text{total en el canal}} / ((2 * b) + (2 * d))$$

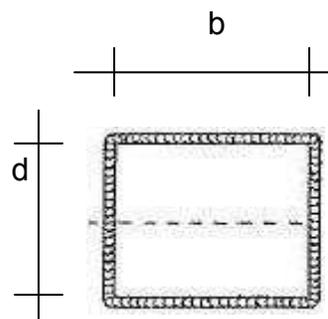


Figura 24. Cuarta Opción [13]

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2}$$

**tamaño de soldadura=  $\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos}$**

Finalmente, y para tener una idea de si es razonable lo obtenido hasta el último paso en lo que respecta al diseño de la soldadura de unión entre el canal y el patín de la columna, se procederá a llevar a cabo una verificación del tamaño y longitud de soldadura.

La verificación que se hará en este caso, será de la misma forma como se hizo la verificación del tamaño y longitud de la soldadura de unión entre los atiesadores y el alma del canal. Las únicas diferencias que se encontrarán serán:

- a. El espesor crítico o espesor menor de las partes a conectar se obtendrá de la comparación entre el espesor del alma del canal y el espesor del patín de la columna.
  - b. Para la unión en estudio, el valor de  $l_{\min}$  será igual al valor obtenido de "L" (y el valor de éste dependerá de cuál haya sido la opción elegida para distribuir los cordones de soldadura).
- Diseño de la soldadura de unión entre la columna y la placa base

Lo primero a realizar, será el cálculo de la longitud de la soldadura en cada patín (l), lo cual se hará con la siguiente expresión:

$$l = (2 * b) - t_w$$

Seguidamente, se deberá de llevar a cabo el cálculo del par de fuerzas que conforman el momento flexionante actuante sobre la columna (C=T), lo cual se deberá hacer con la siguiente fórmula:

$$C = T = M / (\text{distancia entre centroides de patines})$$

Como penúltimo paso, se calculará el tamaño de soldadura requerido por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{sf} = (C = T) / (l * R_{sf})$$

**\*R<sub>sf</sub>: Resistencia de la soldadura de filete**

Ya como último paso, se hará la verificación del tamaño y longitud de soldadura a usar. Para ello, la verificación que se hará en este caso, será de la misma forma como se hizo la verificación de la soldadura de unión entre el canal y el patín de la columna. Las únicas diferencias que se encontrarán serán:

- a. El espesor crítico o espesor menor de las partes a conectar se obtendrá de la comparación entre el espesor del patín de la columna y el espesor de la placa base.
- b. Para la unión en estudio, el valor de  $l_{min}$  será igual al valor obtenido de "l" (longitud de soldadura en cada patín).

#### 5.4.1.2 Método del Apéndice D-ACI 318S-08 (Formato Para Columnas)

En términos generales, la aplicación de este método consistirá en ir ingresando todos aquellos datos necesarios para que el programa sobre el cual está basado, vaya ejecutando todas las operaciones que involucra el respectivo procedimiento del mismo. Esto quiere decir, que se ingresarán datos de tipo general, como las magnitudes de las cargas actuantes, las dimensiones de la columna, la resistencia última a la compresión del concreto del pedestal, los tipos de acero a usar para las barras de anclaje y la placa base, y al mismo tiempo, se deberán de ir tomando decisiones con respecto al ingreso de los datos relacionados con el tamaño de las barras de anclaje a usar, el número total de barras a considerar, el cómo estarán distribuidas éstas, las dimensiones que tendrá la placa base, los elementos que conformarán la conexión de bota en caso de que sea necesario diseñarla y los tamaños y longitudes de los cordones de soldaduras de unión entre elementos, todo a criterio de quien use el método.

En resumen, lo que se irá realizando será el ir ingresando los datos requeridos de tipo general, el ir revisando el procedimiento desarrollado por el método, el tomar las decisiones más razonables a la hora de darle al programa los datos relacionados con el sistema de anclaje que se proponga e ir verificando al mismo tiempo, que cada una de las revisiones que vaya haciendo el método, se vaya aprobando y en el caso contrario,

habrá que observar cuál será la recomendación que el método dará para poder aprobar la o las revisiones donde exista algún problema.

Antes de empezar con la descripción del procedimiento que se llevará a cabo, es necesario aclarar que en el presente método, únicamente las casillas color naranja corresponden a los datos que se deberán de ir ingresando a lo largo del método. Lo demás, el Programa Excel lo irá calculando de acuerdo a la información que se le irá proporcionando.

A continuación, se irán enumerando en orden, los datos que se irán ingresando, de acuerdo a la sección en donde aparezcan.

- Sección: Datos

Inicialmente, se irán ingresando todos aquellos datos generales que están relacionados con las cargas actuantes en la columna, dimensiones de la misma, tipo de concreto y tipos de acero a usar. En detalle, los datos iniciales que se ingresarán serán los siguientes:

Carga axial de compresión actuante (P) y momento flexionante actuante (M)

Tipo de columna utilizada y dimensiones de la misma:

peralte “d” de la sección, ancho “b” de la sección, espesor del alma “ $t_w$ ” y espesor de los patines “ $t_f$ ”

Resistencia última a la compresión del concreto del pedestal “ $f_c$ ”

Tipo de acero a usar para la placa base (Tabla III), esfuerzo mínimo de fluencia de éste “F<sub>y</sub>” y resistencia mínima especificada a la tensión “F<sub>u</sub>”

Tabla III

Tipos de Acero Para Placa Base <sup>[7]</sup>

Tipo de Acero
ASTM A36 / A36M
ASTM A242 / A242M
ASTM A283 / A283M
ASTM A514 / A514M
ASTM A529 / A529M
ASTM A572 / A572M
ASTM A588 / A588M
ASTM A709 / A709M
ASTM A852 / A852M
ASTM A1011 / A1011M

Tipo de acero a usar para las barras de anclaje (Tabla IV), esfuerzo mínimo de fluencia de éste “F<sub>y</sub>” y resistencia mínima especificada a la tensión “F<sub>u</sub>”

Tabla IV

Tipos de Acero Para Barras de Anclaje <sup>[7]</sup>

Tipo de Acero	Comentario
ASTM A36 / A36M	
ASTM A193 / A193M	
ASTM A354	
ASTM A449	Acero de alta resistencia para barras
ASTM A572 / A572M	
ASTM A588 / A588M	
ASTM F1554	Acero preferible para barras de anclaje

Tipo de electrodo a usar para la soldadura de filete y resistencia de los electrodos a usar

- Sección: Dimensionamiento de las barras de anclaje y distribución espacial

En esta sección se tendrá que tomar la decisión de cuál será el tamaño o diámetro de las barras de anclaje a usar, así como también el número de barras que se colocarán a cada lado de la columna y en cuántas líneas de gramil irán distribuidas las barras de anclaje en tensión (y por ende, también las que estén en compresión, debido a la distribución simétrica de todas las barras de anclaje).

- Sección: Cálculos previos para la determinación definitiva de las barras de anclaje a usar

Dentro de la información concerniente a la propuesta, se ingresará el dato relacionado con el número de hilos de paso por pulgada (nt), el cual se podrá encontrar en diferentes tablas de consulta de normas en función de los hilos de paso por pulgada (dicho dato usualmente viene especificado en función del tamaño seleccionado para las barras de anclaje). Asimismo, aquí también se ingresará el dato relacionado con la profundidad efectiva de embebido a usar para las barras de anclaje ( $h_{ef}$ ).

Adicionalmente, en la parte correspondiente a la revisión previa de la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en

tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ ), es importante mencionar que el cálculo del área  $A_{nc}$  se hará por aparte, valiendo la pena destacar que su definición y forma de calcular está explicada de manera clara en el capítulo 2 del presente trabajo, así como también en el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, en su apartado referente al cálculo de la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ ) [1]. Hay que aclarar que lo único que se ingresará en esta parte será la expresión por medio de la cual se calculará el área  $A_{nc}$ , el resultado que se obtenga para esta área y el espaciamiento que se usará entre las barras de anclaje (s).

En la parte referente a la revisión previa de la resistencia a la extracción por deslizamiento de un anclaje en tensión ( $\phi n N_{pn}$ ), el único dato que se proporcionará será el de la superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ ), el cual se podrá obtener de tablas de información que traten sobre el tema o también en la referencia bibliográfica nº 6.

Dentro de la parte relacionada con la estimación previa de las dimensiones de la placa base según la distribución espacial del grupo de anclajes, sólo se ingresarán las expresiones por medio de las cuales, se estimen de manera inicial las dimensiones en planta de la placa base (largo y ancho), así como también los resultados que se obtengan para las mismas. Como el título de la sección lo

dice, la estimación inicial se hará en base a la distribución espacial que se preverá tengan las barras de anclaje.

- Sección: Información de las barras de anclaje a utilizar

En esta sección, lo único que se ingresará como dato, será la distancia al borde a usar ( $c_{a1}$ ).

- Sección: Distribución de la fuerza de tensión actuante ( $T_{act}$ ) en cada uno de los anclajes a tensión

En la presente sección, lo primero que se hará será elegir el método por medio del cual se calculará la fuerza de tensión total en cada barra de anclaje, para luego poder determinar cuál será la ubicación de la resultante de todas esas fuerzas con respecto al centroide del grupo de anclajes en tensión. Entre los métodos que se pueden utilizar están: el método de la excentricidad reducida y el método de la resistencia última <sup>[20]</sup>.

Por ser de fácil aplicación, en la hoja de cálculo del Método del Apéndice D-ACI 318S-08, se ha dejado programado el método de la excentricidad reducida <sup>[20]</sup>, sin embargo, su uso no es de tipo obligatorio. Por el contrario, se puede hacer uso de otro método y en la presente sección sólo se tendrían que ingresar los valores correspondientes a las fuerzas de tensión total en cada barra de anclaje y el valor correspondiente a la excentricidad  $e'_n$  (distancia entre el punto de ubicación de la resultante de todas las fuerzas de tensión de las barras de anclaje en tensión y el centroide del grupo

de anclajes en tensión). Ahora bien, en el presente caso se utilizará el método de la excentricidad reducida, para lo cual, los datos que se ingresarán serán los siguientes:

En caso de tener dos o más líneas de gramil de barras de anclaje, se deberá de ingresar el dato correspondiente a la distancia “d” (ésta se encuentra ejemplificada dentro de la sección del método).

También, se proporcionará el valor de la excentricidad real ( $e_{real}$ ), el valor de la excentricidad efectiva ya calculada y la sumatoria de distancias al cuadrado denominada “ $\Sigma d^2$ ” por el método.

En la parte correspondiente al cálculo de la fuerza de tensión en cada barra debido al momento generado por la excentricidad de la fuerza de tensión actuante con respecto al centroide del grupo de anclajes en tensión, se ingresará el valor calculado para cada fuerza (todos los valores se deberán de obtener en base a la expresión ahí especificada).

En la parte referente al cálculo de la fuerza de tensión total en cada barra, se ingresará el valor correspondiente para cada fuerza de cada barra de anclaje (para el cálculo se utilizarán las expresiones especificadas y considerando para cada caso de fuerza de tensión total para cada barra, el sentido de las fuerzas que las conforman).

Y finalmente, en la parte relacionada con el cálculo y ubicación de la resultante de las fuerzas de tensión actuantes sobre cada barra,

únicamente se ingresará el valor calculado correspondiente a la excentricidad  $e'_n$ .

- Sección: Cálculo de la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )

En la parte referente al factor de modificación para los efectos del borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tensión ( $\Psi_{ed,n}$ ), sólo se ingresará el valor correspondiente a  $\Psi_{ed,n}$ . Claro está que el valor que se ingrese, dependerá de lo que diga el programa, es decir, o el valor de  $\Psi_{ed,n}$  resultará ser igual a 1.0 o habrá que calcularlo con la expresión que en esta parte está indicada.

- Sección: Cálculo de la resistencia al desprendimiento lateral del concreto en un anclaje con cabeza en tensión ( $\phi N_{sb}$  y  $\phi N_{sbg}$ )

En esta sección, los datos que se ingresarán serán:

el dato de la superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ ), el valor de  $c_{a2}$ , el valor de la relación  $c_{a2} / c_{a1}$  (éste último ya lo calcula el programa pero habrá que volver a ingresarlo en su respectiva casilla), el valor de  $N_{sb}$  modificado o sin modificar para calcular  $\phi N_{sb}$  y el valor de  $N_{sb}$  no modificado (dato que también será calculado por el programa pero que hay que volver a ingresarlo).

- Sección: Cálculo de la resistencia de diseño de los anclajes ( $\phi N_n$ )

En esta sección, se ingresarán únicamente los siguientes datos:

el valor de  $\phi N_n$  y el valor de  $N_{ua}$  (la forma de selección para ingresar el valor de la resistencia de diseño de los anclajes  $\phi N_n$  y

el de la fuerza  $N_{ua}$  se encuentra explicado de manera clara dentro de esta sección del método).

- Sección: Diseño de la conexión de botas en la base de la columna (sección efectiva de resistencia del anclaje)

En la parte correspondiente a los elementos que conforman la conexión de botas (en caso de que ésta se requiera), los datos que se ingresarán serán: el tipo de canal a usar y sus especificaciones (espesor del alma, longitud del alma, espesor de aletas, ancho de canal y altura del canal) y el tipo de atiesador a utilizar y sus especificaciones (espesor y número de atiesadores).

En la parte referente al cálculo de la ubicación del eje neutro de la sección efectiva de resistencia del anclaje, específicamente hablando del cálculo de áreas, aquí sólo se ingresará la ecuación correspondiente al área de la porción del alma de la columna.

En el apartado relacionado con el cálculo de la ubicación del eje neutro de la sección efectiva, se completará la tabla referente a los cálculos de áreas, distancias a eje de referencia, momentos,  $I_y$  e  $I_g$  de los elementos componentes de la sección efectiva. Para tal efecto, se ingresarán los siguientes datos: distancia del centroide de las barras de anclaje al eje de referencia, ecuación de la distancia del centroide de la porción del alma de la columna al eje de referencia, ecuación del momento de la porción del alma de la columna y los primeros totales de las sumatorias de áreas y

momentos. Una vez hecho lo anterior, se procederá a obtener la ecuación matemática resultante de la relación " $x = \Sigma M / \Sigma A$ ", efectuando inmediatamente la resolución de la misma. Una vez resuelta la ecuación, se ingresará el valor resultante de " $x$ " en su respectiva celda, procediendo de forma inmediata al cálculo de los totales finales de las áreas y momentos (éstos últimos se calcularán e ingresarán en la tabla ya mencionada en líneas anteriores).

En la parte relacionada con el diseño de la soldadura de unión entre los atiesadores y el alma del canal, lo únicos datos que se ingresarán serán: el tamaño de la soldadura de filete ( $t_{sf}$ ), la longitud requerida de soldadura ( $L$ ) y el valor del tamaño mínimo de soldadura a usar, el cual, es dado por el mismo programa.

Y finalmente, en el apartado concerniente al diseño de la soldadura de unión entre el canal y el patín de la columna, los datos que se ingresarán serán: el tamaño de la soldadura de filete ( $t_{sf}$ ), la longitud requerida de soldadura ( $L$ ), el número de bordes de la unión canal-patín que llevarán soldadura y el valor del tamaño mínimo de soldadura a usar, el cual, es dado por el mismo programa.

- Sección: Diseño de la soldadura de unión entre la columna y la placa base

En esta sección, los únicos datos que se ingresarán son, el tamaño de la soldadura de filete y el valor del tamaño mínimo de soldadura a usar, el cual, es dado por el mismo programa.

#### 5.4.2 Caso Estructural: Chimenea Industrial

##### 5.4.2.1 Método Conservador de Brownell & Young <sup>[15]</sup>

- Cálculo de la relación modular “n” y “f<sub>c máx</sub>”

En base al valor dado de f<sub>c</sub>, los valores de “n” y “f<sub>c máx</sub>” se obtendrán de la Tabla V:

Tabla V

Valores Promedio Referentes a Propiedades de Diferentes Tipos de Concreto <sup>[15]</sup>

Water Content U.S. Gallons per 94-lb Sack of Cement	f' <sub>c</sub> 28-day Ultimate Compressive Strength, psi	n $\frac{30 \times 10^6}{E_c}$	f <sub>c</sub> Allowable Compressive Strength, I
7½	2000	15	800
6¾	2500	12	1000
6	3000	10	1200
5	3750	8	1400

- Cálculo del ancho de la placa base (t<sub>propuesto</sub> o t<sub>3</sub>)

El ancho de la placa base se calculará con la siguiente fórmula:

$$t_{\text{propuesto}} (t_3) = (D_e \text{ placa} - D_i \text{ placa}) / 2$$

- Cálculo de la primera estimación del valor de “k”

Primero, se hará una estimación del esfuerzo de compresión en el círculo de barras de anclaje ( $f_{c \text{ aprox. barras}}$ ) mediante el uso de la siguiente expresión:

$$(f_{c \text{ máx}} / (D_{e \text{ placa}} / 2)) = (f_{c \text{ aprox. barras}} / (d / 2))$$

El  $f_{c \text{ aprox. barras}}$  a utilizar será aproximadamente igual al resultado que se obtenga de la relación anteriormente expuesta menos el 10% ó 11% de su valor total.

Seguidamente, el cálculo de la primera estimación del valor de “k” se hará por medio de la siguiente ecuación:

$$k_{\text{aprox}} = 1 / (1 + (f_{s \text{ perm}} / (n * f_{c \text{ aprox. barras}})))$$

A continuación, el cálculo del esfuerzo de compresión en el círculo de barras de anclaje ( $f_{c \text{ círculo barras}}$ ) se hará con la siguiente ecuación:

$$f_{c \text{ círculo barras}} = f_{c \text{ máx}} (2 * k * d / ((2 * k * d) + t_3))$$

Una vez hecho lo anterior, se procederá al cálculo de las constantes “ $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ” basándose en el valor obtenido de “ $k_{\text{aprox}}$ ” mediante el uso de la Tabla VI:

Tabla VI

Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ , Como Funciones de “ $k$ ” [15]

$k$	$C_c$	$C_t$	$z$	$j$
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

Es importante aclarar que cuando el valor obtenido de “ $k_{aprox}$ ” no sea exacto, se tendrá que recurrir al uso de interpolaciones para llegar a obtener los valores de las constantes.

Habiendo encontrado los respectivos valores de las constantes, se procederá a hacer el cálculo de la fuerza de tensión inducida ( $F_t$ ) mediante la siguiente expresión:

$$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d)$$

Seguidamente, se deberá de calcular el espesor del área equivalente al área real de las barras de anclaje por medio de esta ecuación:

$$t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra \ a \ usar}) / (\pi * d)$$

A continuación, se procederá a efectuar el cálculo y revisión del esfuerzo de tensión inducido en el acero ( $f_s$ ) con la siguiente ecuación:

$$f_s = F_t / (t_1 * (d / 2) * C_t)$$

El  $f_s$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{s \text{ permi.}}$

Después, se hará el cálculo de la fuerza de compresión inducida ( $F_c$ ) con la siguiente expresión:

$$F_c = F_t + W_{dw}$$

Seguidamente, se deberá de calcular el espesor del área equivalente al área real del concreto por medio de esta ecuación:

$$t_2 = t_3 - t_1 = t_{\text{propuesto}} - t_1$$

En seguida, se procederá al cálculo y revisión del esfuerzo de compresión inducido en el concreto ( $f_c$ ) por medio de la siguiente ecuación:

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) (d / 2) * C_c)$$

El  $f_c$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{c \text{ máx.}}$

- Cálculo de la segunda estimación del valor de “k”

Utilizando los valores obtenidos de  $f_s$  y  $f_c$  del paso anterior, se empleará la siguiente ecuación para obtener el valor de  $k_{2 \text{ aprox.}}$ :

$$k_{2 \text{ aprox.}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c)))$$

Una vez hecho lo anterior, se procederá al cálculo de las constantes “ $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ” nuevamente, pero ahora basándose en el valor obtenido de “ $k_{2 \text{ aprox.}}$ ” y mediante el uso de la Tabla VI.

Nuevamente, hay que recordar que cuando el valor obtenido de “ $k_{2 \text{ aprox.}}$ ” no sea exacto, se tendrá que recurrir al uso de interpolaciones para llegar a obtener los valores de las constantes.

Habiendo encontrado los valores de las constantes, se procederá a hacer el cálculo de la fuerza de tensión inducida ( $F_t$ ) mediante la siguiente expresión:

$$F_t = (M_{\text{viento}} - (W_{\text{dw}} * z * d)) / (j * d)$$

A continuación, se procederá a efectuar el cálculo y revisión del esfuerzo de tensión inducido en el acero ( $f_s$ ) con la siguiente ecuación:

$$f_s = F_t / (t_1 * (d / 2) * C_t)$$

El  $f_s$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{s \text{ permi.}}$

Después, se hará el cálculo de la fuerza de compresión inducida ( $F_c$ ) con la siguiente expresión:

$$F_c = F_t + W_{\text{dw}}$$

Finalmente y para cerrar esta segunda estimación, se procederá al cálculo y revisión del esfuerzo de compresión inducido en el concreto ( $f_c$ ) por medio de la siguiente expresión:

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) (d / 2) * C_c)$$

El  $f_c$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{c \text{ máx.}}$

- Cálculo de la tercera estimación del valor de “k”

Utilizando los valores obtenidos de  $f_s$  y  $f_c$  del paso anterior, se empleará la siguiente ecuación para obtener el valor de  $k_{3 \text{ aprox.}}$ :

$$k_{3 \text{ aprox.}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c)))$$

Una vez hecho lo anterior, se procederá al cálculo de las constantes “ $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ” nuevamente, pero ahora basándose en el valor obtenido de “ $k_3$  aprox.” y mediante el uso de la Tabla VI.

Siempre hay que tener presente que cuando el valor obtenido de “ $k_3$  aprox.” no sea exacto, se tendrá que recurrir al uso de interpolaciones para llegar a obtener los valores de las constantes.

Habiendo encontrado los valores de las constantes, se procederá a hacer el cálculo de la fuerza de tensión inducida ( $F_t$ ) mediante la siguiente expresión:

$$F_t = (M_{\text{viento}} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d)$$

A continuación, se procederá a efectuar el cálculo y revisión del esfuerzo de tensión inducido en el acero ( $f_s$ ) con la siguiente ecuación:

$$f_s = F_t / (t_1 * (d / 2) * C_t)$$

El  $f_s$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{s \text{ permi.}}$

Después, se hará el cálculo de la fuerza de compresión inducida ( $F_c$ ) con la siguiente expresión:

$$F_c = F_t + W_{dw}$$

Y finalmente, para cerrar esta tercera estimación, se procederá al cálculo y revisión del esfuerzo de compresión inducido en el concreto ( $f_c$ ) por medio de la siguiente expresión:

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) (d / 2) * C_c)$$

El  $f_c$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{c \text{ máx.}}$

- Cálculo de la cuarta estimación del valor de “k”

Utilizando los valores obtenidos de  $f_s$  y  $f_c$  del paso anterior, se empleará la siguiente ecuación para obtener el valor de  $k_{4 \text{ aprox.}}$ :

$$k_{4 \text{ aprox.}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c)))$$

Y el proceso puede continuar de igual forma para llegar a hacer una quinta estimación, una sexta estimación y el número de estimaciones necesarias que se consideren hacer.

Ahora bien, ya una vez observado que todos los valores posibles que se han calculado para “k” hayan sufrido una convergencia en torno a un valor, entonces se darán por terminadas las estimaciones y se habrá llegado a la obtención del valor aproximado final de “k”. Asimismo, una vez encontrado el valor aproximado final de “k”, se concluirá que las magnitudes finales de  $f_s$  y  $f_c$  corresponderán a las obtenidas en la última estimación efectuada.

- Cálculo del esfuerzo máximo de compresión en las barras de anclaje ( $f_{s \text{ comp.}}$ )

Con el valor final obtenido de  $f_c$  y por medio de la siguiente ecuación, se encontrará el valor de  $f_{s \text{ comp.}}$ :

$$f_{s \text{ comp.}} = n * f_c$$

El  $f_{s \text{ comp.}}$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{s \text{ permi.}}$

- Cálculo del esfuerzo máximo de compresión en el concreto ( $f_{c \text{ máx inducido}}$ )

Con el valor final obtenido de  $f_c$  y el valor final de  $k$ , y por medio de la siguiente ecuación, se encontrará el valor de  $f_{c \text{ máx inducido}}$ :

$$f_{c \text{ máx inducido}} = f_c \left( \frac{(2 * k * d) + t_3}{2 * k * d} \right)$$

El  $f_{c \text{ máx inducido}}$  obtenido tendrá que resultar menor o igual a  $f_{c \text{ máx}}$ .

- Cálculo del espesor de la placa base

Para calcular el espesor de la placa base, se procederá al cálculo del mismo por medio de dos vías: considerando que no habrá atiesadores y considerando la presencia de éstos.

Al comparar los resultados obtenidos, la elección del espesor a utilizar se hará en base a que éste cumpla con los requerimientos establecidos para el caso, como ser tamaños máximos permisibles, enfoque económico y un criterio personal acerca de si el espesor obtenido es razonable en lo que a dimensión se refiere.

En primera instancia, el cálculo del espesor de la placa base considerando la no presencia de atiesadores se hará de la siguiente forma:

Primero se calculará el valor de "l" con esta ecuación:

$$l = (D_{e \text{ placa}} - D_{\text{chimenea}}) / 2$$

Y luego, se calculará el espesor de la placa base por medio de la siguiente expresión:

$$t_4 = l * \sqrt{(3 * f_{c \text{ máx inducido}}) / f_{s \text{ permi}}}$$

En segundo lugar, el cálculo del espesor de la placa base considerando la presencia de atiesadores se efectuará de la siguiente manera:

Primero se propondrá el número de atiesadores a considerar ( $N_{\text{atiesa}}$ ).

Después, se deberá de calcular el espaciamiento entre los atiesadores con la siguiente expresión:  $b = (2 * \pi * r) / N_{\text{atiesa}}$

Inmediatamente, se deberá de encontrar el valor de la siguiente relación:  $l / b$

Con la relación anterior ( $l / b$ ), se deberá de buscar en la Tabla VII, en donde se presenta el momento flexionante máximo en la placa base ( $M_x$  o  $M_y$ ) y cuál es el coeficiente correspondiente para la ecuación del momento flexionante máximo:

Tabla VII

Momentos Flexionantes Máximos en una Placa Base con Atiesadores [15]

$l/b$	$M_x \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$	$M_y \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$
0	0	$-0.500f_c l^2$
$\frac{1}{3}$	$0.0078f_c b^2$	$-0.428f_c l^2$
$\frac{1}{2}$	$0.0293f_c b^2$	$-0.319f_c l^2$
$\frac{2}{3}$	$0.0558f_c b^2$	$-0.227f_c l^2$
1	$0.0972f_c b^2$	$-0.119f_c l^2$
$\frac{3}{2}$	$0.123f_c b^2$	$-0.124f_c l^2$
2	$0.131f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
3	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
$\infty$	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$

$b$  = gusset spacing ( $x$  direction) inches.  
 $l$  = bearing-plate outside radius minus skirt outside radius ( $y$  direction) inches.

Hay que tener presente que cuando el valor obtenido de la relación “l / b” no sea exacto, se tendrá que recurrir al uso de interpolaciones para llegar a obtener el valor del coeficiente para la ecuación del momento flexionante máximo.

Una vez encontrada la ecuación para calcular el momento flexionante máximo y habiéndolo calculado de manera inmediata por medio de ésta y usando el valor de  $f_c$  máx inducido, se procederá a calcular el espesor de la placa base con la siguiente expresión:

$$t_4 = \sqrt{(6 * M_{\text{máx}}) / f_s \text{ permi}}$$

Este último procedimiento se puede volver a repetir el número de veces que se considere necesario considerando números mayores de atiesadores, hasta que el resultado que se obtenga cumpla con los requerimientos ya mencionados en párrafos anteriores.

- Determinación de la forma de la placa base

Para la determinación de la forma de la placa base, el dato que se usará será el del espesor obtenido de la misma.

Si el espesor de la placa base resulta ser menor o igual a ½ pulg, entonces se deberá de utilizar un ángulo rolado de acero soldado al faldón de la chimenea industrial como placa base; si dicho espesor resulta ser mayor a ½ pulg, pero menor a ¾ pulg, entonces se utilizará una viga-anillo sencilla como placa base. Y finalmente, si el espesor resulta ser igual o mayor a ¾ pulg, entonces se utilizarán asientos centrados para barras de anclaje a

manera de placa base (Las ilustraciones o figuras correspondientes a las tres posibles formas que puede llegar a tener la placa base, se muestran en detalle en el ejemplo desarrollado por este método en el siguiente capítulo).

En caso de que la forma de la placa base resultase ser esta última, se deberá de calcular el número requerido de asientos centrados, con la ayuda del dato correspondiente al diámetro de la chimenea y la Tabla VIII:

Tabla VIII

Número Máximo de Asientos Centrados que Pueden Utilizarse en el Faldón de una Chimenea Industrial Para Diversos Tamaños de Chimenea <sup>[15]</sup>

Skirt diameter, ft	No. of Chairs
3	4
4	8
5	8
6	12
7	16
8	16
9	20
10	24

#### 5.4.2.2 Método del Apéndice D-ACI 318S-08 (Formato Para Chimeneas)

La aplicación de este método en su formato para chimeneas se hará de la misma forma como se hizo con la aplicación del formato para columnas, es decir, consistirá en ir ingresando todos aquellos datos necesarios para que el programa sobre el cual está basado, vaya ejecutando todas las operaciones que involucra el respectivo procedimiento del mismo. Esto

significa que se irán ingresando datos de tipo general, como las magnitudes de las cargas actuantes, las dimensiones de la chimenea, la resistencia última a la compresión del concreto del pedestal, los tipos de acero a usar para las barras de anclaje y la placa base, y al mismo tiempo, se deberán de ir tomando decisiones con respecto al ingreso de los datos relacionados con el tamaño de las barras de anclaje a usar, el número total de barras a considerar, el cómo estarán distribuidas éstas y las dimensiones que tendrá la placa base, todo a criterio de quien use el método.

En resumen, lo que se irá realizando será el ir ingresando los datos generales requeridos, el ir revisando el procedimiento desarrollado por el método, el tomar las decisiones más razonables a la hora de darle al programa los datos relacionados con el sistema de anclaje que se proponga e ir verificando al mismo tiempo, que cada una de las revisiones que vaya haciendo el método, se vaya aprobando y en el caso contrario, habrá que observar cuál será la recomendación que el método dará para poder aprobar la o las revisiones donde exista algún problema.

Antes de empezar con la descripción del procedimiento y al igual que en el caso del formato del presente método para la solución de sistemas de anclaje para columnas de edificios, es necesario aclarar que, únicamente las casillas color naranja corresponden a los datos que se deberán de ir ingresando a lo largo del método. Lo demás, el Programa Excel lo irá calculando de acuerdo a la información que se le irá proporcionando.

A continuación, se irán enumerando en orden, los datos que se irán ingresando, de acuerdo a la sección en donde aparezcan.

- Sección: Datos

Al principio, se irán ingresando todos aquellos datos generales que están relacionados con las cargas actuantes en la chimenea, dimensiones de la misma, tipo de concreto y tipos de acero a usar. En detalle, los datos iniciales que se ingresarán serán los siguientes:

Carga muerta de la chimenea ( $W_{dw}$ ) y momento flexionante actuante ocasionado por la acción del viento ( $M_{viento}$ )

Dimensiones de la chimenea:

diámetro y altura de la chimenea

Resistencia última a la compresión del concreto del pedestal " $f_c$ "

Tipo de acero a usar para la placa base (Tabla III), esfuerzo mínimo de fluencia de éste " $F_y$ " y resistencia mínima especificada a la tensión " $F_u$ "

Tabla III

Tipos de Acero Para Placa Base <sup>[7]</sup>

Tipo de Acero
ASTM A36 / A36M
ASTM A242 / A242M
ASTM A283 / A283M
ASTM A514 / A514M
ASTM A529 / A529M
ASTM A572 / A572M
ASTM A588 / A588M
ASTM A709 / A709M
ASTM A852 / A852M
ASTM A1011 / A1011M

Tipo de acero a usar para las barras de anclaje (Tabla IV), esfuerzo mínimo de fluencia de éste “F<sub>y</sub>” y resistencia mínima especificada a la tensión “F<sub>u</sub>”

Tabla IV

Tipos de Acero Para Barras de Anclaje <sup>[7]</sup>

Tipo de Acero	Comentario
ASTM A36 / A36M	
ASTM A193 / A193M	
ASTM A354	
ASTM A449	Acero de alta resistencia para barras
ASTM A572 / A572M	
ASTM A588 / A588M	
ASTM F1554	Acero preferible para barras de anclaje

- Sección: Dimensionamiento de las barras de anclaje y distribución espacial

En esta sección se tomará la decisión de cuál será el tamaño o diámetro de las barras de anclaje a usar, el número total de barras de anclaje a considerar alrededor de la chimenea, en cuántos círculos irán distribuidas las barras de anclaje, los diámetros de éstos, el diámetro interior y exterior de la placa base.

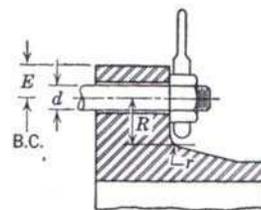
Asimismo, en la parte referente a la revisión del espaciamiento mínimo entre barras de anclaje, se ingresará el valor correspondiente al espaciamiento mínimo especificado para la barra de anclaje a usar, el cual, estará dado por la Tabla IX:

Tabla IX

## Espaciamientos y Distancias Mínimas al Borde de Placa Base Para Barras de Anclaje [15]

Bolt Size $d$	Standard Thread		8-thread Series		Bolt Spacing*		Minimum Radial Distance $R$	Edge Distance $E$
	No. of Threads	Root Area	No. of Threads	Root Area	Minimum $B_s$	Pre-ferred		
$\frac{1}{2}$ "	13	0.126	No. 8 thread series below 1"	0.551	$1\frac{1}{4}$ "	3"	$1\frac{3}{16}$ "	$\frac{5}{8}$ "
$\frac{5}{8}$ "	11	0.202			$1\frac{1}{2}$ "	3	$1\frac{5}{16}$ "	$\frac{3}{4}$ "
$\frac{3}{4}$ "	10	0.302			$1\frac{3}{4}$ "	3	$1\frac{1}{8}$ "	$1\frac{3}{16}$ "
$\frac{7}{8}$ "	9	0.419			$2\frac{1}{16}$ "	3	$1\frac{1}{4}$ "	$1\frac{5}{16}$ "
1"	8	0.551			$2\frac{1}{4}$ "	3	$1\frac{3}{8}$ "	$1\frac{1}{16}$ "
$1\frac{1}{8}$ "	7	0.693	8	0.728	$2\frac{1}{2}$ "	3	$1\frac{1}{2}$ "	$1\frac{1}{8}$ "
$1\frac{1}{4}$ "	7	0.890	8	0.929	$2\frac{1}{16}$ "	3	$1\frac{3}{4}$ "	$1\frac{1}{4}$ "
$1\frac{3}{8}$ "	6	1.054	8	1.155	$3\frac{1}{16}$ "		$1\frac{7}{8}$ "	$1\frac{3}{8}$ "
$1\frac{1}{2}$ "	6	1.294	8	1.405	$3\frac{1}{4}$ "		2"	$1\frac{1}{2}$ "
$1\frac{5}{8}$ "	$5\frac{1}{2}$	1.515	8	1.680	$3\frac{1}{2}$ "		$2\frac{1}{8}$ "	$1\frac{5}{8}$ "
$1\frac{3}{4}$ "	5	1.744	8	1.980	$3\frac{3}{4}$ "		$2\frac{1}{4}$ "	$1\frac{3}{4}$ "
$1\frac{7}{8}$ "	5	2.049	8	2.304	4"		$2\frac{3}{8}$ "	$1\frac{7}{8}$ "
2"	$4\frac{1}{2}$	2.300	8	2.652	$4\frac{1}{4}$ "		$2\frac{1}{2}$ "	2"
$2\frac{1}{4}$ "	$4\frac{1}{2}$	3.020	8	3.423	$4\frac{3}{4}$ "		$2\frac{3}{4}$ "	$2\frac{1}{4}$ "
$2\frac{1}{2}$ "	4	3.715	8	4.292	$5\frac{1}{4}$ "		$3\frac{1}{16}$ "	$2\frac{3}{8}$ "
$2\frac{3}{4}$ "	4	4.618	8	5.259	$5\frac{3}{4}$ "		$3\frac{3}{8}$ "	$2\frac{5}{8}$ "
3"	4	5.621	8	6.324	$6\frac{1}{4}$ "		$3\frac{5}{8}$ "	$2\frac{7}{8}$ "

\*  $B_s$  = center-to-center distance between bolts, inches



Adicionalmente, en la parte relacionada con la revisión de la distancia mínima de las barras de anclaje al borde de la placa base, se ingresará el valor correspondiente a la distancia mínima especificada para la barra de anclaje a usar, dato que se obtendrá de la tabla mostrada arriba.

- Sección: Determinación de la relación modular “n” y “ $f_{c\text{ máx}}$ ”

Usando la Tabla V y teniendo presente el valor que posee  $f'_c$ , en esta parte se ingresará el valor correspondiente a la relación modular “n”.

Tabla V

Valores Promedio Referentes a Propiedades de Diferentes Tipos de Concreto <sup>[15]</sup>

Water Content U.S. Gallons per 94-lb Sack of Cement	$f'_c$ 28-day Ultimate Compressive Strength, psi	$n$ $\frac{30 \times 10^6}{E_c}$	$f_c$ Allowable Compressive Strength, psi
7½	2000	15	800
6¾	2500	12	1000
6	3000	10	1200
5	3750	8	1400

- Sección: Primera estimación del valor de “k”

Primeramente, en la parte referente a la estimación del esfuerzo de compresión en el círculo de barras de anclaje ( $f_{c\text{ aprox. barras}}$ ), se ingresará un valor estimado para dicho esfuerzo, tomando como base el resultado que se obtenga de la relación calculada al inicio de esta parte.

Y en segundo lugar, en caso de requerirse interpolación para encontrar los valores de las constantes  $C_c$ ,  $C_t$ ,  $z$  y  $j$ , se ingresarán los valores límites exactos de “k” que definan el rango dentro del cual se encuentre el valor obtenido de “k”, y los valores correspondientes de cada constante para dichos valores límites, de

tal forma que el programa haga la interpolación. Todo esto se hará con la ayuda de la Tabla VI:

Tabla VI

Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$   
Como Funciones de "k" [15]

$k$	$C_c$	$C_t$	$z$	$j$
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

- Secciones: Segunda, tercera, cuarta, quinta, sexta, séptima, octava y novena estimación del valor de "k"

En cada una de las siguientes estimaciones del valor aproximado de "k", se hará lo mismo que lo efectuado en la sección de la primera estimación. Es decir, que en caso de requerirse interpolación para encontrar los valores de las constantes  $C_c$ ,  $C_t$ ,  $z$  y  $j$ , se ingresarán los valores límites exactos de "k" que definan el rango dentro del cual se encuentre el valor obtenido de "k", y los valores correspondientes de cada constante para dichos valores límites, de tal forma que el programa haga la interpolación. Todo

esto se hará con la ayuda de la tabla mostrada en la página anterior.

- Sección: Cálculos previos para la determinación definitiva de las barras de anclaje a usar

Dentro de la parte referente a la propuesta, se ingresará el dato relacionado con el número de hilos de paso por pulgada ( $n_t$ ), el cual se podrá encontrar en diferentes tablas de consulta de normas en función de los hilos de paso por pulgada (dicho dato usualmente viene especificado en función del tamaño seleccionado para las barras de anclaje). Asimismo, aquí también se ingresará el dato relacionado con la profundidad efectiva de embebido a usar para las barras de anclaje ( $h_{ef}$ ).

Adicionalmente, en la parte correspondiente a la revisión previa de la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ ), es importante mencionar que el cálculo del área  $A_{nc}$  se hará por aparte (su definición y forma de calcular está explicada de manera clara en el capítulo 2 del presente trabajo, así como también en el Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08, en su apartado referente al cálculo de la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )<sup>[1]</sup>). Lo único que se ingresará en esta parte será la expresión por medio de la cual se calculará el área  $A_{nc}$ , así como también el resultado que se obtenga para esta área.

En la parte referente a la revisión previa de la resistencia a la extracción por deslizamiento de un anclaje en tensión ( $\phi n N_{pn}$ ), el único dato que se proporcionará será el de la superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ ), el cual se podrá obtener de tablas de información que traten sobre el tema o también en la referencia bibliográfica nº 6.

- Sección: Información de las barras de anclaje a utilizar

En esta sección, lo único que se ingresará como dato, será la distancia al borde a usar ( $c_{a1}$ ).

- Sección: Distribución de la fuerza de tensión actuante ( $T_{act}$ ) en cada uno de los anclajes a tensión

En la presente sección, lo primero que se hará será elegir el método por medio del cual se calculará la fuerza de tensión total en cada barra de anclaje, para luego poder determinar cuál será la ubicación de la resultante de todas esas fuerzas con respecto al centroide del grupo de anclajes en tensión. Entre los métodos que se pueden utilizar están: el método de la excentricidad reducida y el método de la resistencia última <sup>[20]</sup>.

Por ser de fácil aplicación, en la hoja de cálculo del Método del Apéndice D-ACI 318S-08, se ha dejado programado el método de la excentricidad reducida <sup>[20]</sup>, sin embargo, su uso no es de tipo obligatorio. Por el contrario, se puede hacer uso de otro método y en la presente sección sólo se tendrían que ingresar los valores

correspondientes a las fuerzas de tensión total en cada barra de anclaje y el valor correspondiente a la excentricidad  $e'_n$  (distancia entre el punto de ubicación de la resultante de todas las fuerzas de tensión de las barras de anclaje en tensión y el centroide del grupo de anclajes en tensión). Ahora bien, en el presente caso se utilizará el método de la excentricidad reducida, para lo cual, los datos que se ingresarán serán los siguientes:

Se proporcionará el valor de la excentricidad real ( $e_{real}$ ), el número de barras de anclaje por cada línea de gramil ( $n_{bg}$ ), el valor de la excentricidad efectiva ya calculada y la sumatoria de distancias al cuadrado denominada " $\Sigma d^2$ " por el método.

En la parte correspondiente al cálculo de la fuerza de tensión en cada barra debido al momento generado por la excentricidad de la fuerza de tensión actuante con respecto al centroide del grupo de anclajes en tensión, se ingresará el valor calculado para cada fuerza (todos los valores se deberán de obtener en base a la expresión ahí especificada).

En la parte referente al cálculo de la fuerza de tensión total en cada barra, se ingresará el valor correspondiente para cada fuerza de cada barra de anclaje (para el cálculo se utilizarán las expresiones especificadas y considerando para cada caso de fuerza de tensión total para cada barra, el sentido de las fuerzas que las conforman).

Y finalmente, en la parte relacionada con el cálculo y ubicación de la resultante de las fuerzas de tensión actuantes sobre cada barra, únicamente se ingresará el valor calculado correspondiente a la excentricidad  $e'_n$ .

- Sección: Cálculo de la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )

En la parte referente al factor de modificación para los efectos del borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tensión ( $\Psi_{ed,n}$ ), sólo se ingresará el valor correspondiente a  $\Psi_{ed,n}$ . Claro está que el valor que se ingrese, dependerá de lo que diga el programa, es decir, o el valor de  $\Psi_{ed,n}$  resultará ser igual a 1.0 o habrá que calcularlo con la expresión que en esta parte está indicada.

- Sección: Cálculo de la resistencia al desprendimiento lateral del concreto en un anclaje con cabeza en tensión ( $\phi N_{sb}$  y  $\phi N_{sbg}$ )

En esta sección, los datos que se ingresarán serán:

el dato de la superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ ), el valor de  $c_{a2}$ , el valor de la relación  $c_{a2} / c_{a1}$  (éste último ya lo calcula el programa pero habrá que volver a ingresarlo en su respectiva casilla), el valor de  $N_{sb}$  modificado o sin modificar para calcular  $\phi N_{sb}$  y el valor de  $N_{sb}$  no modificado (dato que también será calculado por el programa pero que habrá que volver a ingresarlo).

- Sección: Cálculo de la resistencia de diseño de los anclajes ( $\phi N_n$ )

En esta sección, se ingresarán únicamente los siguientes datos:

el valor de  $\phi N_n$  y el valor de  $N_{ua}$  (la forma de selección para ingresar el valor de la resistencia de diseño de los anclajes  $\phi N_n$  y el de la fuerza  $N_{ua}$  se encuentra explicado de manera clara dentro de esta sección del método).

- Sección: Dimensionamiento de la placa base

En caso de tener que recurrir a las partes referentes al cálculo del espesor de la placa base considerando la presencia de atiesadores, en éstas se ingresarán los siguientes datos:

el número de atiesadores a considerar ( $N_{atiesa}$ ), el coeficiente a usar en la expresión para calcular el momento flexionante máximo y el valor correspondiente a “b” o “l”. Es importante destacar que será con la relación “l / b” con la cual se deberá de buscar en la Tabla VII, en donde es que se presenta el momento flexionante máximo en la placa base ( $M_x$  o  $M_y$ ) y cuál es el coeficiente correspondiente para la ecuación del momento flexionante máximo. Ahora bien, cuando el valor obtenido de la relación “l / b” no sea exacto, se tendrá que recurrir al uso de interpolaciones para llegar a obtener el valor del coeficiente para la ecuación del momento flexionante máximo.

Tabla VII

Momentos Flexionantes Máximos en una  
Placa Base con Atiesadores [15]

$l/b$	$M_x \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$	$M_y \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$
0	0	$-0.500f_c l^2$
$\frac{1}{3}$	$0.0078f_c b^2$	$-0.428f_c l^2$
$\frac{1}{2}$	$0.0293f_c b^2$	$-0.319f_c l^2$
$\frac{2}{3}$	$0.0558f_c b^2$	$-0.227f_c l^2$
1	$0.0972f_c b^2$	$-0.119f_c l^2$
$\frac{3}{2}$	$0.123f_c b^2$	$-0.124f_c l^2$
2	$0.131f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
3	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
$\infty$	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$

$b$  = gusset spacing ( $x$  direction) inches.  
 $l$  = bearing-plate outside radius minus skirt outside  
radius ( $y$  direction) inches.

Por otro lado, la elección con respecto a si se deberá de ingresar el valor de “b” o el de “l”, eso dependerá de donde se presente el momento flexionante máximo; para el caso, si el momento flexionante máximo resultará ser  $M_x$ , el valor a ingresar será el correspondiente a “b” y si por el contrario, el momento flexionante máximo resultará ser  $M_y$ , el valor a ingresar será el correspondiente a “l”.

En lo que respecta a la parte de la determinación de la forma de la placa base, los únicos datos que se ingresarán serán el espesor de la placa y el número máximo de asientos centrados que podrán usarse para la chimenea según lo indicado por la Tabla VIII (este último dato se ingresará sólo en caso de que la forma de la placa base resultará ser la de asientos centrados para barras de anclaje):

Tabla VIII

Número Máximo de Asientos Centrados que Pueden Utilizarse en el Faldón de una Chimenea Industrial Para Diversos Tamaños de Chimenea <sup>[15]</sup>

Skirt diameter, ft	No. of Chairs
3	4
4	8
5	8
6	12
7	16
8	16
9	20
10	24

- Sección: Diseño final del sistema de anclajes

En esta última sección, y ya para concluir con el diseño del sistema de anclajes de la chimenea industrial, sólo se ingresarán los datos referentes a la forma de placa base obtenida y al número de atiesadores a utilizar.

### 5.5 Estudio Analítico de los Resultados Obtenidos

Después de haber aplicado cada uno de los métodos descritos anteriormente a los casos estructurales seleccionados y haber obtenido los resultados respectivos de cada método para cada caso, el siguiente paso a ejecutar consistirá en la realización de un estudio o análisis comparativo que se llevará a cabo entre los resultados obtenidos por cada método.

En primer lugar, la comparación entre resultados se hará de la siguiente forma: para el caso de la columna de un edificio, se compararán los resultados obtenidos por medio del Método Conservador de Lincoln y los obtenidos por medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08. De igual forma, para el caso de la chimenea industrial, los resultados que se compararán serán los obtenidos tanto por medio del Método Conservador de Brownell & Young como por medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08.

Y en segundo lugar, la forma en la que se presentarán los resultados será por medio de dos tablas, una para cada caso estructural solucionado, forma que se ha escogido por el hecho de que es la mejor manera de poder visualizar los datos a comparar. Cada tabla estará formada por dos partes: las condiciones de comparación y los resultados de cada método. En la parte referente a las condiciones, se describirán en forma resumida todos aquellos factores que definen al caso estructural en estudio (cargas actuantes, dimensiones,  $f'_c$  a usar, tipos de acero a usar, etc.), los cuales, al mismo tiempo, definen desde el

principio el campo de comparación bajo igualdad de condiciones. Por otro lado, la parte relacionada con los resultados de cada método, como su nombre lo indica, corresponderá a la exposición de los resultados que se obtengan de la aplicación de cada método.

Es de destacar que en dichas tablas, sólo se compararán aquellos resultados que presenten rasgos característicos de comparación entre ellos. Para el caso de la columna de un edificio, los resultados que se compararán serán los siguientes:

barras de anclaje (tamaño o diámetro de barras, número total de barras y área total de barras de anclaje usadas), dimensiones de la placa base (ancho, largo y espesor de la placa base), conexión de botas en la base de la columna (tipo de canal, tipo de atiesador y número de atiesadores) y tamaños de soldaduras (soldadura de la unión atiesadores-canal, soldadura de la unión canal-patín de columna y soldadura de la unión columna-placa base).

Por su parte, en el caso de la chimenea industrial, los resultados que se compararán serán los que se muestran a continuación:

barras de anclaje (tamaño o diámetro de barras, número total de barras, área total de barras de anclaje usadas y diámetro del círculo de barras de anclaje), dimensiones de la placa base (diámetros interior y exterior de la placa base, espesor de la placa y forma de la misma) y número de atiesadores.

Una vez presentadas las tablas comparativas de resultados, se procederá a efectuar el análisis o discusión respectiva de la comparación entre métodos basada en los resultados expuestos. El análisis a realizar consistirá básicamente en observar y explicar las diferencias y similitudes que se encuentren entre los resultados de los métodos que se estén comparando (qué diferencias habrá, que similitudes se encontrarán, el por qué de éstas), tomando esto como base para el planteamiento de conclusiones y comentarios parciales, para finalmente, concluir el debate de resultados con una conclusión y un comentario finales.

Una vez realizado todo el análisis comparativo de los resultados obtenidos, se procederá a la emisión de las respectivas conclusiones finales del presente trabajo, teniendo como base, lo descrito y discutido en el capítulo correspondiente al análisis e interpretación de resultados. Una vez planteadas las conclusiones, el siguiente paso será el enunciar las recomendaciones que se consideren importantes de mencionar para los futuros investigadores que deseen continuar con el desarrollo del tema tratado por la presente tesis.

A continuación, en el siguiente capítulo, se podrá apreciar el desarrollo completo del diseño de los sistemas de anclaje para los casos estructurales seleccionados, por medio de los métodos ya descritos en los párrafos anteriores del presente capítulo.

## **CAPÍTULO 6**

### **CASOS TÍPICOS DE ESTRUCTURAS RESUELTOS POR MEDIO DE UN MÉTODO CONSERVADOR Y EL MÉTODO DEL APÉNDICE D-ACI 318S-08**

## **CAPÍTULO 6**

### **CASOS TÍPICOS DE ESTRUCTURAS RESUELTOS POR MEDIO DE UN MÉTODO CONSERVADOR Y EL MÉTODO DEL APÉNDICE D-ACI 318S-08**

En el capítulo anterior se describió de una forma muy detallada, toda la metodología que se implementará en los próximos capítulos para el desarrollo del cuerpo principal y final de la presente tesis de investigación.

En el presente capítulo, se resolverán los sistemas de anclaje de los dos casos estructurales seleccionados, la columna de un gran edificio y una chimenea industrial. El diseño del sistema de anclaje del primer caso, se hará por medio de dos métodos: el Método Conservador de Lincoln y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 en su formato específico para columnas. En el segundo caso, de igual forma, se aplicarán otros dos métodos: el Método Conservador de Brownell & Young y el del Apéndice D-ACI 318S-08 en su formato específico para chimeneas.

Una vez resueltos los dos casos estructurales por medio de sus respectivos métodos de aplicación, se procederá a realizar en el siguiente capítulo, el respectivo análisis e interpretación de los resultados que se obtengan, para finalmente, en los dos últimos capítulos del presente trabajo, efectuar el respectivo enunciado de las conclusiones finales del mismo y las respectivas recomendaciones que se harán para próximas investigaciones sobre el tema.

## 6.1 Solución del Sistema de Anclaje de una Columna Perteneciente a un Edificio por Medio del Método Conservador de Lincoln <sup>[13]</sup>

### 6.1.1 Datos

- a. Carga axial de compresión actuante sobre la columna ( $P_c$ ):

**442,857 lb (201,299 kg)**

- b. Momento flexionante actuante sobre la columna ( $M$ ):

**328,571 lb-pie (3,942,852 lb-pulg= 45,522 kg-m)**

- c. Tipo de columna utilizada: **W14 x 120**

- d. Dimensiones de la columna:

Peralte "d" de la sección= **14.48 pulg**

Ancho "b" de la sección= **14.67 pulg**

Espesor del alma ( $t_w$ )= **0.59 pulg**

Espesor de los patines ( $t_f$ )= **0.94 pulg**

- e.  $f'_c$  ( $f'_c = \sigma'_c$ )= **3,000 lb/pulg<sup>2</sup> (211 kg/cm<sup>2</sup>)**

- f. Tipo de acero a usar: **A-36**

- g. Detalles del acero a usar:

Esfuerzo mínimo de fluencia ( $F_y = \sigma_y$ )= **36,000 lb/pulg<sup>2</sup>**

Resistencia mínima especificada a la tensión ( $F_u$ )= **58,000 lb/pulg<sup>2</sup>**

- h. Módulo de Elasticidad del Acero ( $E_s$ )= **29,000 ksi (29,000,000 lb/pulg<sup>2</sup>)**

- i. Tipo de soldadura a usar: **soldadura de filete**

- j. Tipo de electrodo a usar: **E-70**

- k. Resistencia de los electrodos seleccionados= **11,200 lb/pulg<sup>2</sup>**

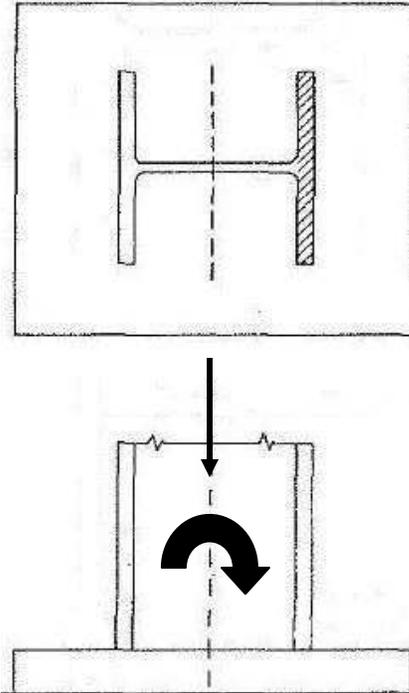


Figura 25. Columna de un Edificio Sometida a la Acción de una Carga Axial de Compresión y un Momento <sup>[13]</sup>

## 6.1.2 Cálculo de Datos Complementarios

### 6.1.2.1 Cálculo del Módulo de Elasticidad del Concreto ( $E_c$ )

$$E_c = 57,000 \sqrt{f'_c} = 57,000 (\sqrt{3,000}) = 3,122,019 \text{ lb/pulg}^2$$

### 6.1.2.2 Cálculo de la Relación entre Módulos de Elasticidad ( $n$ )

$$n = E_s / E_c = 29,000,000 / 3,122,019 = 9.29$$

### 6.1.2.3 Cálculo del Esfuerzo Máximo de Flexión ( $\sigma$ )

$$\sigma = 0.75 * \sigma_y = 0.75 * 36,000 = 27,000 \text{ lb/pulg}^2$$

### 6.1.2.4 Cálculo del Esfuerzo Permissible de Compresión o Aplastamiento del Concreto (p)

$$p = \sigma_c = 0.25 * f'_c = 0.25 * 3,000 = 750 \text{ lb/pulg}^2$$

Tabla II

#### Esfuerzos Permisibles de Compresión de la Cimentación <sup>[13]</sup>

On sandstone and limestone	$p = 400 \text{ psi}$
On brick in cement mortar	$p = 250 \text{ psi}$
On full area of concrete support	$p = 0.25 f'_c$
On $\frac{1}{3}$ area of concrete support	$p = 0.375 f'_c$

where  $f'_c$  is the specified compression strength of the concrete at 28 days  
(In this text,  $f'_c$  is used as equivalent to AISC's  $f'_c$ .)

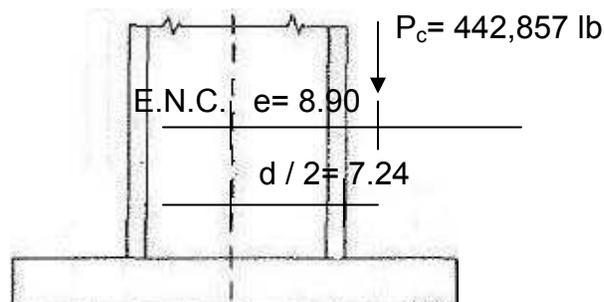
### 6.1.2.5 Cálculo de la Excentricidad de la Carga

$$e = M / P_c = 3,942,852 / 442,857 = 8.90 \text{ pulg}$$

$$d / 2 = 14.48 / 2 = 7.24 \text{ pulg}$$

$$e > d / 2$$

Por lo tanto, la resultante se sitúa: **fuera del patín de la columna, por lo que se requiere diseñar una conexión de botas en la base de la misma.**

Figura 26. Ubicación de la Carga Excéntrica <sup>[21]</sup>

### 6.1.3 Barras de Anclaje en Tensión

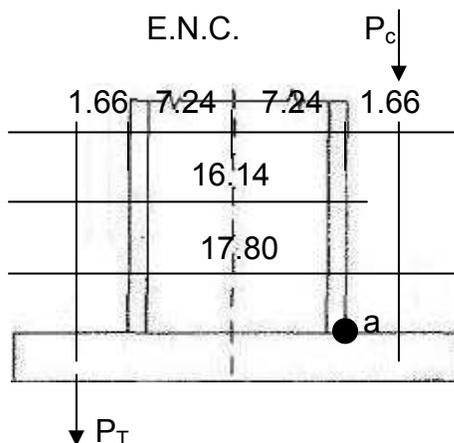


Figura 27. Generación de Fuerzas a Partir de la Acción de la Carga Excéntrica [21]

Tamaño de barras de anclaje a usar: **1 1/8 pulg**

Área de la barra de anclaje a usar: **0.994 pulg<sup>2</sup>**

Número de barras de anclaje a considerar: **4 barras a cada lado de la columna**

#### 6.1.3.1 Cálculo de la Distancia del Eje Neutro de la Columna al Centroides de las Barras de Anclaje en Tensión (f)

$f = e = 8.90$  pulg

**$f = 8.90$  pulg**

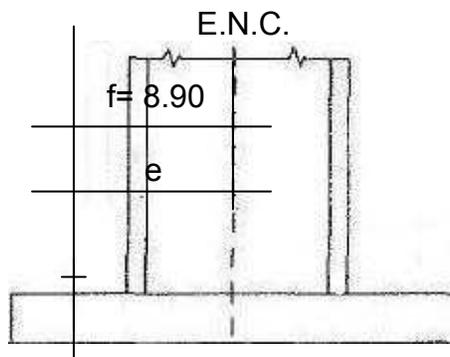


Figura 28. Detalle de "f" [21]

## 6.1.4 Dimensionamiento de la Placa Base de la Columna

### 6.1.4.1 Cálculo del Área Mínima de Placa Base ( $A_{\min}$ )

$$A_{\min} = P_c / p = 442,857 / 750$$

$$A_{\min} = 591 \text{ pulg}^2$$

### 6.1.4.2 Cálculo de Dimensiones Mínimas de la Placa Base (B y D)

$$B = D = \sqrt{A_{\min}} = \sqrt{591} = 24.31 \text{ pulg}$$

Considerando las dimensiones de la sección de la columna:

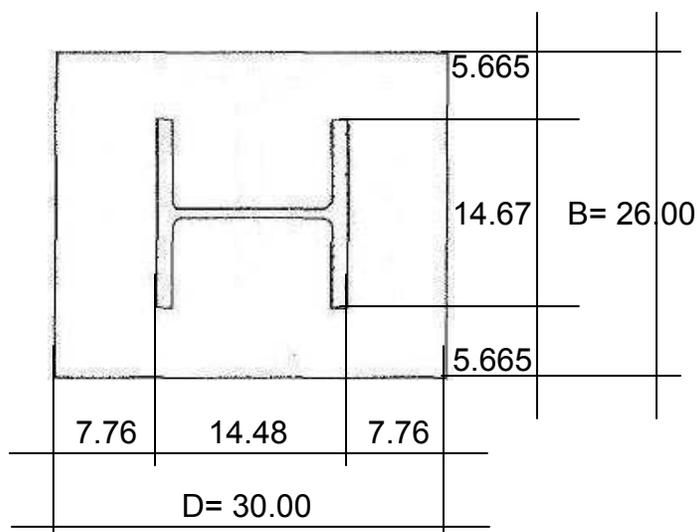


Figura 29. Dimensiones de la Placa Base [21]

**Dimensiones de la placa base a considerar: 26.00 x 30.00 x 3.00 pulg**

### 6.1.4.3 Verificación de las Dimensiones de la Placa Base y de las Barras de Anclaje

$$\text{Área de barras en tensión} = A_s = \# \text{ barras} * A_{\text{barra}} = 4 * 0.994 = 3.98 \text{ pulg}^2$$

#### 6.1.4.3.1 Cálculo de la Longitud Efectiva de Resistencia (Y)

$$K_1 = 3 * (e - (D / 2)) = 3 * (8.90 - (30 / 2)) = -18.30$$

$$K_2 = ((6 * n * A_s) (f + e)) / B = ((6 * 9.29 * 3.98) (8.90 + 8.90)) / 26 = \mathbf{151.88}$$

$$K_3 = -K_2 * ((D / 2) + f) = - (151.88) ((30 / 2) + 8.90) = \mathbf{-3,629.93}$$

$$\text{Por lo que: } Y^3 + K_1 Y^2 + K_2 Y + K_3 = 0$$

$$\mathbf{Y^3 - 18.30Y^2 + 151.88Y - 3,629.93 = 0}$$

Resolviendo la ecuación anterior, obtenemos: **Y = 19.86 pulg**

#### 6.1.4.3.2 Cálculo de $P_T$

$$P_T = -P_c * (((D / 2) - (Y / 3) - e) / ((D / 2) - (Y / 3) + f))$$

$$P_T = (-442,857) * (((30 / 2) - (19.86 / 3) - 8.90) / ((30 / 2) - (19.86 / 3) + 8.90))$$

$$\mathbf{P_T = 13,327 \text{ lb} \leq P_c = 442,857 \text{ lb} \quad \text{O.K.}}$$

#### 6.1.4.3.3 Cálculo de $\sigma_c$

$$\sigma_c = 2 * ((P_c + P_T) / (Y * B)) = 2 * ((442,857 + 13,327) / (19.86 * 26))$$

$$\mathbf{\sigma_c = 1,767 \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.85 f'_c = 0.85 * 3,000 = 2,550 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{O.K}}$$

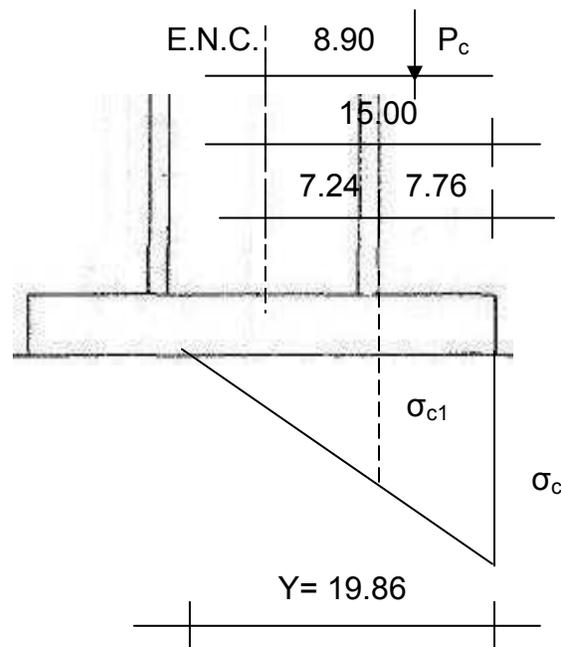


Figura 30. Cálculo del Esfuerzo  $\sigma_1$  y del Momento al Paño de la Columna [13]

### 6.1.5 Diseño de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje (Diseño de Conexión de Bota)

Se propone utilizar como sección efectiva de resistencia del anclaje:

a. Barras en tensión

Número de barras en tensión= **4 barras**

Diámetro de barras= **1 1/8 pulg**

Área de las barras a usar= **0.994 pulg<sup>2</sup>**

b. Porción de alma

c. Patín de columna

d. Canal

Tipo de canal: **C 12 x 50 pulg**

e. Atiesadores del canal

Número de atiesadores= **5 atiesadores**

Tipo de atiesadores: **7/8 x 3 3/10 pulg**

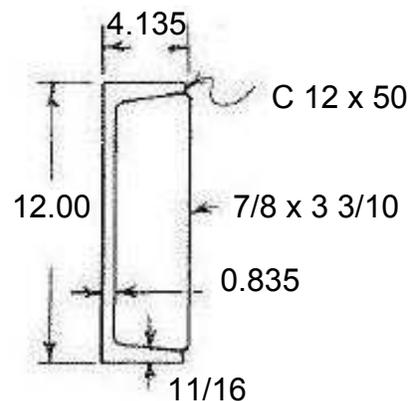


Figura 31. Tipo de Atiesador a Usar <sup>[13]</sup>

### 6.1.5.1 Cálculo de la Ubicación del Eje Neutro de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje

#### 6.1.5.1.1 Cálculo de Áreas

$$\text{Barras en tensión} = \# \text{ de barras} * A_{\text{barra}} = 4 * 0.994 = \mathbf{3.98 \text{ pulg}^2}$$

$$\text{Porción del alma} = t_w * \text{longitud} = 0.59 * (x - 5.075) = \mathbf{0.59x - 2.99425}$$

$$\text{Patín de columna} = t_f * \text{longitud} = 0.94 * 14.67 = \mathbf{13.79 \text{ pulg}^2}$$

$$\text{Alma del canal} = \text{espesor} * \text{longitud} = 0.835 * 17 = \mathbf{14.20 \text{ pulg}^2}$$

$$\text{Atiesadores del canal} = \# \text{ de atiesadores} * \text{espesor} * \text{longitud}$$

$$\text{Atiesadores del canal} = 5 * 7/8 * 3 \ 3/10 = \mathbf{14.44 \text{ pulg}^2}$$

#### 6.1.5.1.2 Cálculo de $I_y$

$$\text{Barras en tensión} =$$

$$\# \text{ de barras} * ((1/4 * \pi * r^4) + (A_{\text{barra}} * d_{\text{barra-eje de referencia}}^2))$$

$$\text{Barras en tensión} = 4 * ((1/4 * \pi * (9/16)^4) + (0.994 * (20.275)^2)) = \mathbf{1,635 \text{ pulg}^4}$$

$$\text{Porción del alma} = (1/12 * t_w * h^3) + (A_{\text{porción}} * d_{\text{porción alma-eje de referencia}}^2)$$

$$\text{Patín de columna} = (1/12 * b_f * t_f^3) + (A_{\text{patín}} * d_{\text{patín-eje de referencia}}^2)$$

$$\text{Patín de columna} = (1/12 * 14.67 * (0.94)^3) + (13.79 * (4.605)^2)$$

$$\text{Patín de columna} = \mathbf{293.45 \text{ pulg}^4}$$

$$\text{Alma del canal} = (1/12 * \text{largo} * \text{espesor}^3) + (A_{\text{alma}} * d_{\text{alma-eje de referencia}}^2)$$

$$\text{Alma del canal} = (1/12 * 17 * (0.835)^3) + (14.20 * (3.7175)^2) = \mathbf{197.07 \text{ pulg}^4}$$

$$\begin{aligned} \text{Atiesadores del canal} &= \# \text{ de atiesadores} * ((1/12 * \text{espesor} * \text{largo}^3) + \\ & (A_{\text{atiesador}} * d_{\text{atiesa.-eje de referencia}}^2)) = 5 * ((1/12 * 7/8 * (3 \ 3/10)^3) + (2.888 * \\ & (1.65)^2)) = \mathbf{52.41 \text{ pulg}^4} \end{aligned}$$

### 6.1.5.1.3 Cálculo de $I_g$

$$\text{Atiesadores del canal} = \# \text{ de atiesadores} * (1/12 * \text{espesor} * \text{largo}^3)$$

$$\text{Atiesadores del canal} = 5 * (1/12 * 7/8 * (3 \ 3/10)^3) = \mathbf{13.10 \text{ pulg}^4}$$

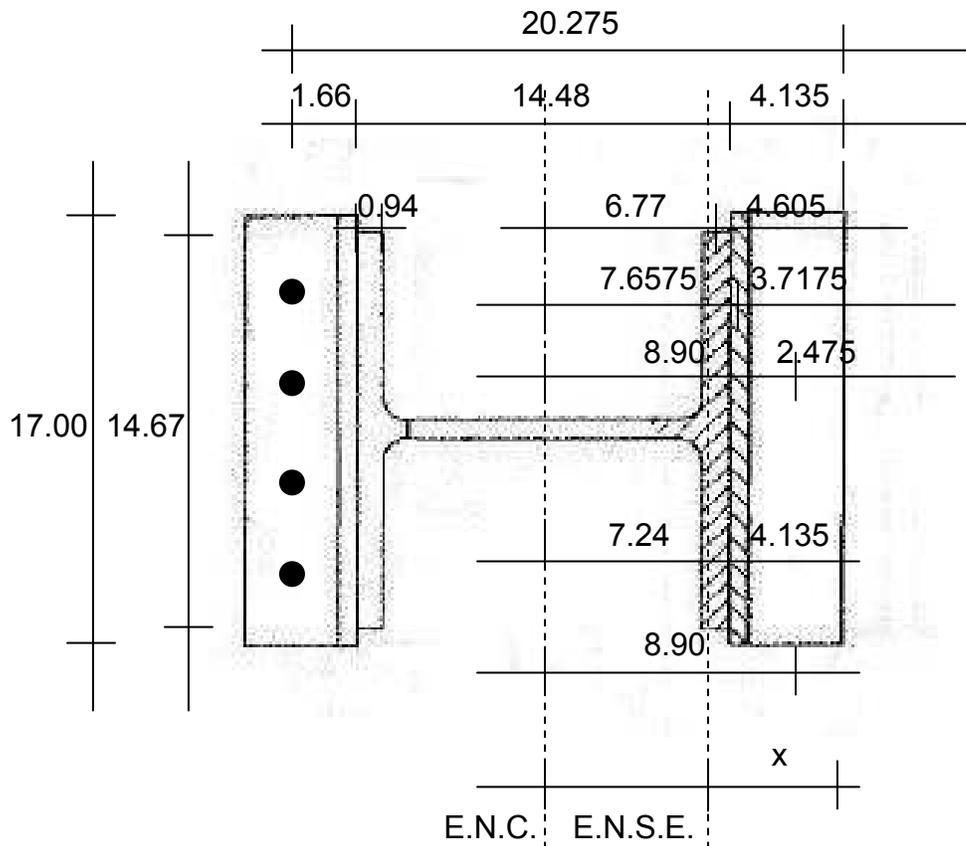


Figura 32. Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje <sup>[13]</sup>

a. Elemento	Distancia a eje de referencia	Área	Momento
<b>Barras anclaje</b>	<b>20.275</b>	<b>3.98</b>	<b>80.69</b>
$I_y$	$I_g$		
<b>1,635</b>	<b>----</b>		
b. Elemento	Distancia a eje de referencia	Área	
<b>Porción alma</b>	<b><math>(4.135+0.94+x)/2= 2.5375 + 0.5x</math></b>	<b><math>0.59x - 2.99425</math></b>	
Momento	$I_y$	$I_g$	
<b><math>0.295x^2 - 7.5979</math></b>	<b>----</b>	<b>----</b>	
c. Elemento	Distancia a eje de referencia	Área	Momento
<b>Patín columna</b>	<b>4.605</b>	<b>13.79</b>	<b>63.50</b>
$I_y$	$I_g$		
<b>293.45</b>	<b>----</b>		
d. Elemento	Distancia a eje de referencia	Área	Momento
<b>Alma del canal</b>	<b>3.7175</b>	<b>14.20</b>	<b>52.79</b>
$I_y$	$I_g$		
<b>197.07</b>	<b>----</b>		
e. Elemento	Distancia a eje de referencia	Área	Momento
<b>Atiesadores</b>	<b>1.65</b>	<b>14.44</b>	<b>23.83</b>
$I_y$	$I_g$		
<b>52.41</b>	<b>13.10</b>		

Primer total: Sumatoria de áreas=  **$0.59x + 43.41575$**

Sumatoria de momentos=  **$0.295x^2 + 213.2121$**

$$x = \Sigma M / \Sigma A = (0.295x^2 + 213.2121) / (0.59x + 43.41575)$$

Por lo tanto, resulta la siguiente ecuación:

$$0.295x^2 + 43.41575x - 213.2121 = 0 \quad x = 4.76 \text{ pulg}$$

Totales finales:

$$\text{Sumatoria de áreas} = 41.79 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Sumatoria de momentos} = 198.09 \text{ pulg}^3$$

$$\text{Sumatoria de } I_y = 2,066.14 \text{ pulg}^4$$

$$\text{Sumatoria de } I_g = 13.10 \text{ pulg}^4$$

$$\text{Sumatoria de momentos de inercia } (I_y + I_g) = 2,079.24 \text{ pulg}^4$$

#### 6.1.5.1.4 Cálculo del Momento de Inercia Alrededor del Eje Neutro de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje ( $I_n$ )

$$I_n = I_y + I_g - (M^2 / A) = 2,079.24 - ((198.09)^2 / 41.79) = 1,140.27 \text{ pulg}^4$$

#### 6.1.5.1.5 Revisión del Esfuerzo de Compresión en el Extremo de los Atiesadores del Canal ( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = ((M * c) / I_n) + (P_c / A)$$

$$\sigma_c = ((P_c * d_{PC-E.N.S.E.} * x) / I_n) + (P_c / A)$$

$$\sigma_c = ((442,857 * 2.285 * 4.76) / 1,140.27) + (442,857 / 41.79)$$

$$\sigma_c = 14,821 \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6 F_y = 0.6 * 36,000 = 21,600 \text{ lb/pulg}^2 \text{ O.K.}$$

#### 6.1.5.1.6 Revisión del Esfuerzo de Tensión en las Barras de Anclaje a Tensión ( $\sigma_T$ )

$$\sigma_T = ((M * c) / I_n) - (P_c / A)$$

$$\sigma_T = ((P_c * d_{PC-E.N.S.E.} * d_{E.N.S.E.-barras a tensión}) / I_n) - (P_c / A)$$

$$\sigma_T = ((442,857 * 2.285 * 15.515) / 1,140.27) - (442,857 / 41.79)$$

$$\sigma_T = 3,172 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_T = \sigma_T * A_s = 3,172 * 3.98 = 12,625 \text{ lb} \leq P_c = 442,857 \text{ lb} \quad \text{O.K.}$$

$$P_T = 45,548 \text{ lb} \quad \text{O.K.}$$

## 6.1.6 Diseño de la Soldadura de Unión Entre los Atiesadores y el Alma del Canal

### 6.1.6.1 Cálculo del Esfuerzo Promedio en los Atiesadores ( $\sigma_{\text{prom.atiesa}}$ )

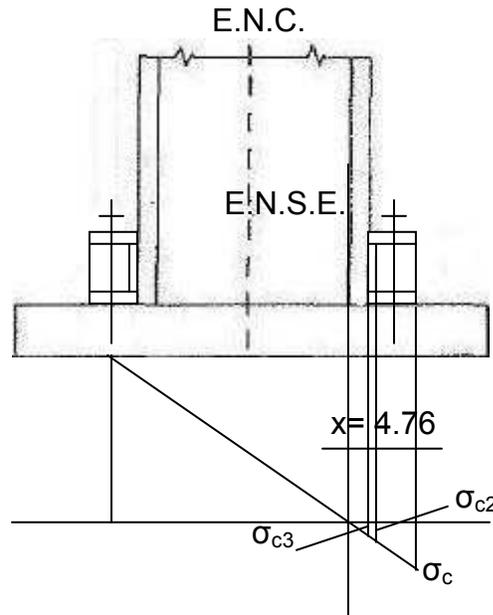


Figura 33. Cálculo de  $\sigma_{\text{prom.atiesa}}$  [13]

$$\sigma_c = 14,821 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\sigma_{c2} = (x - 3 \frac{3}{10}) (\sigma_c / x) = (4.76 - 3 \frac{3}{10}) (14,821 / 4.76) = 4,546 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\sigma_{\text{prom.atiesa}} = (\sigma_c + \sigma_{c2}) / 2 = (14,821 + 4,546) / 2 = 9,684 \text{ lb/pulg}^2$$

### 6.1.6.2 Cálculo de la Fuerza en Cada Atiesador ( $F_{\text{atiesador}}$ )

$$F_{\text{atiesador}} = \sigma_{\text{prom.atiesa}} * A_{\text{atiesador}} = 9,684 * \frac{7}{8} * 3 \frac{3}{10} = 27,963 \text{ lb}$$

### 6.1.6.3 Cálculo del Tamaño y Longitud de la Soldadura

Longitud de cordón de soldadura en ambos lados de cada atiesador (L):

**10 pulg**

### 6.1.6.3.1 Cálculo de la Resistencia Requerida de Soldadura por Unidad de Longitud (f)

$$f = F_{\text{atiesador}} / (2 * L) = 27,963 / (2 * 10) = 1,398 \text{ lb/pulg}$$

### 6.1.6.3.2 Cálculo del Tamaño o Espesor Requerido de la Soldadura de Filete

$$\omega = f / \text{resistencia de los electrodos E-70} = 1,398 / 11,200 = 0.13 \text{ pulg}$$

### 6.1.6.3.3 Cálculo de la Longitud Requerida de Soldadura (L)

$$f = F_{\text{atiesador}} / (2 * L) \longrightarrow L = F_{\text{atiesador}} / (2 * f) = 27,963 / (2 * 1,398) = 10 \text{ pulg}$$

### 6.1.6.4 Verificación del Tamaño y Longitud de Soldadura a Usar

#### 6.1.6.4.1 Verificación de Tamaño Mínimo de Soldadura

espesor de atiesadores= 7/8 pulg

espesor de alma de canal= 0.835 pulg

espesor menor de las partes a conectar (crítico)= 0.835 pulg > 3/4 pulg

Por lo tanto, el tamaño mínimo de soldadura= **5/16 pulg**

#### 6.1.6.4.2 Verificación de Tamaño Máximo de Soldadura

espesor crítico= 0.835 pulg > 1/4 pulg

Por lo tanto, el tamaño máximo de soldadura= 0.835 – 1/16= **0.7725 pulg**

#### 6.1.6.4.3 Verificación de Longitud Efectiva Mínima de Soldadura ( $l_{\text{mín}}$ )

$$l_{\text{mín}} > 4t_{\text{sf}} \quad 4t_{\text{sf}} = 4 * 5/16 = 1.25 \text{ pulg} \leq l_{\text{mín}} = 2 * 10 = 20 \text{ pulg O.K.}$$

#### 6.1.6.4 Verificación de Relación Tamaño-Longitud ( $t_{sf}$ )

$$t_{sf} < \frac{1}{4} l \quad t_{sf} = 5/16 \text{ pulg} \quad \leq \frac{1}{4} l = \frac{1}{4} (2 * 10) = 5 \text{ pulg O.K.}$$

Por lo tanto, usar a ambos lados de cada atiesador, soldadura de filete a base de electrodos E-70, de 5/16 pulg de tamaño, con una longitud de 10 pulg.

### 6.1.7 Diseño de la Soldadura de Unión Entre el Canal y el Patín de la Columna

#### 6.1.7.1 Cálculo del Esfuerzo Promedio en el Alma del Canal

( $\sigma_{\text{prom.alma-canal}}$ )

$$\sigma_{c3} = (x - 4.135) (\sigma_c / x) = (4.76 - 4.135) (14,821 / 4.76) = 1,946 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\sigma_{\text{prom.alma-canal}} = (\sigma_{c2} + \sigma_{c3}) / 2 = (4,546 + 1,946) / 2 = 3,246 \text{ lb/pulg}^2$$

#### 6.1.7.2 Cálculo de la Fuerza en el Alma del Canal ( $F_{\text{alma-canal}}$ )

$$F_{\text{alma-canal}} = \sigma_{\text{prom.alma-canal}} * A_{\text{alma del canal}} = 3,246 * 14.20 = 46,093 \text{ lb}$$

#### 6.1.7.3 Cálculo de la Fuerza Total de Compresión en el Canal

( $F_{\text{total en el canal}}$ )

$$F_{\text{total en el canal}} = F_{\text{alma-canal}} + (\# \text{ de atiesadores} * F_{\text{atiesador}})$$

$$F_{\text{total en el canal}} = 46,093 + (5 * 27,963) = 185,908 \text{ lb}$$

#### 6.1.7.4 Cálculo del Momento en la Soldadura ( $M_{\text{soldadura}}$ )

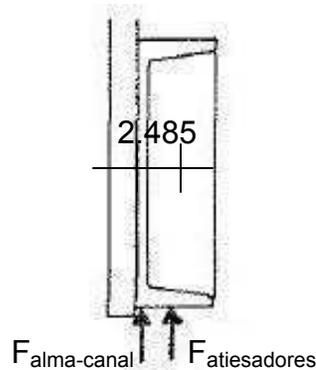


Figura 34. Momento en la Soldadura [13]

$$M_{\text{soldadura}} = ((\# \text{ de atiesadores} * F_{\text{atiesador}}) 2.485) + (F_{\text{alma-canal}} * (0.835 / 2))$$

$$M_{\text{soldadura}} = (5 * 27,963 * 2.485) + (46,093 * (0.835 / 2)) = \mathbf{366,684 \text{ lb-pulg}}$$

#### 6.1.7.5 Cálculo del Tamaño y Longitud de la Soldadura

A continuación, se presentan diversas opciones para unir el canal al patín de la columna, por medio de la aplicación de cordones de soldadura, ya sea sólo en 2 bordes, en 3 ó en 4 bordes. La elección se hace siguiendo un enfoque económico que permita escoger la opción con el menor tamaño posible para la soldadura, siempre y cuando, claro está, la opción elegida brinde la resistencia requerida.

### 6.1.7.5.1 Soldadura en los Bordes Superior e Inferior

$$S_w = b * d = 14.67 * 12 = 176.04 \text{ pulg}^2$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = 366,684 / 176.04 = 2,083 \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = 185,908 / (2 * 14.67) = 6,336 \text{ lb/pulg}$$

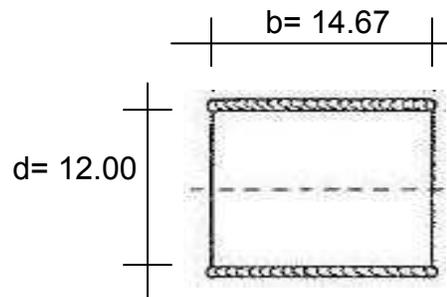


Figura 35. Soldadura en Bordes Superior e Inferior <sup>[13]</sup>

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2} = \sqrt{(2,083 * 2,083) + (6,336 * 6,336)} = 6,670 \text{ lb/pulg}$$

$$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos E-70} = 6,670 / 11,200 = 0.60 \text{ pulg}$$

Por lo tanto, usar soldadura de filete con electrodos E-70, de tamaño=

**1.00 pulg**

### 6.1.7.5.2 Soldadura en los 2 Bordes Laterales

$$S_w = d^2 / 3 = (12 * 12) / 3 = 48 \text{ pulg}^2$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = 366,684 / 48 = 7,639 \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = 185,908 / (2 * 12) = 7,746 \text{ lb/pulg}$$

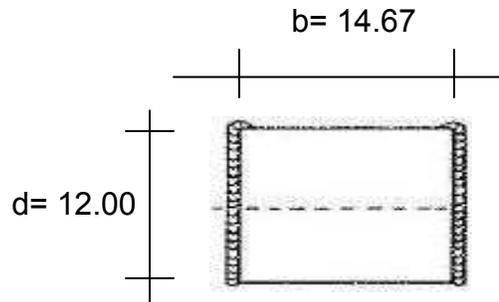


Figura 36. Soldadura en Bordos Laterales <sup>[13]</sup>

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2} = \sqrt{(7,639 * 7,639) + (7,746 * 7,746)} = 10,879 \text{ lb/pulg}$$

$$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos E-70} = 10,879 / 11,200 = 0.97 \text{ pulg}$$

Por lo tanto, usar soldadura de filete con electrodos E-70, de tamaño=

**1.00 pulg**

### 6.1.7.5.3 Soldadura en 3 Bordos (2 Bordos Laterales y el Borde Superior)

$$S_w = (d^2 * (2b + d)) / (3 * (b + d))$$

$$S_w = ((12 * 12) * ((2 * 14.67) + 12)) / (3 * (14.67 + 12)) = 74.40 \text{ pulg}^2$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = 366,684 / 74.40 = 4,929 \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = 185,908 / ((2 * 12) + 14.67) = 4,808 \text{ lb/pulg}$$

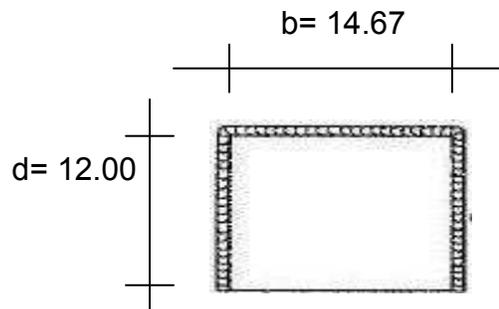


Figura 37. Soldadura en Bordos Laterales y Superior <sup>[13]</sup>

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2} = \sqrt{(4,929 * 4,929) + (4,808 * 4,808)} = 6,886 \text{ lb/pulg}$$

$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos E-70} = 6,886 / 11,200 = \mathbf{0.62 \text{ pulg}}$

Por lo tanto, usar soldadura de filete con electrodos E-70, de tamaño= **1.00 pulg**

#### 6.1.7.5.4 Soldadura en los 4 Bordes

$S_w = (b * d) + (d^2 / 3) = (14.67 * 12) + ((12 * 12) / 3) = \mathbf{224.04 \text{ pulg}^2}$

$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = 366,684 / 224.04 = \mathbf{1,637 \text{ lb/pulg}}$

$f_s = V / L = F_{\text{total en el canal}} / L = 185,908 / ((2 * 12) + (2 * 14.67)) = \mathbf{3,485 \text{ lb/pulg}}$

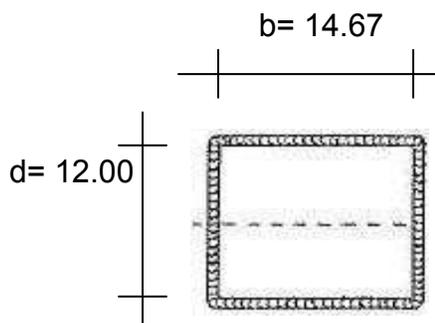


Figura 38. Soldadura en los 4 Bordes <sup>[13]</sup>

$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2} = \sqrt{(1,637 * 1,637) + (3,485 * 3,485)} = \mathbf{3,850 \text{ lb/pulg}}$

$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos E-70} = 3,850 / 11,200 = \mathbf{0.34 \text{ pulg}}$

Por lo tanto, usar soldadura de filete con electrodos E-70, de tamaño= **1/2 pulg**

Por lo tanto, usar soldadura de filete a base de electrodos E-70, de 1/2 pulg de tamaño, siguiendo lo señalado por el modelo del inciso 6.1.7.5.4

### 6.1.7.6 Verificación del Tamaño y Longitud de Soldadura a Usar

#### 6.1.7.6.1 Verificación de Tamaño Mínimo de Soldadura

espesor de alma de canal= 0.835 pulg

espesor de patín de columna= 0.94 pulg

Por lo tanto, el espesor menor de las partes a conectar (crítico)=

0.835 pulg >  $\frac{3}{4}$  pulg

Por lo tanto, el tamaño mínimo de soldadura= **5/16 pulg**

#### 6.1.7.6.2 Verificación de Tamaño Máximo de Soldadura

espesor crítico= 0.835 pulg >  $\frac{1}{4}$  pulg

Por lo tanto, el tamaño máximo de soldadura=  $0.835 - 1/16 =$  **0.7725 pulg**

#### 6.1.7.6.3 Verificación de Longitud Efectiva Mínima de Soldadura ( $l_{\min}$ )

$l_{\min} > 4t_{sf}$        $4t_{sf} = 4 * 1/2 = 2.00$  pulg       $\leq l_{\min} = (2 * 14.67) + (2 * 12) =$

**53.34 pulg O.K.**

#### 6.1.7.6.4 Verificación de Relación Tamaño-Longitud ( $t_{sf}$ )

$t_{sf} < \frac{1}{4} l$        $t_{sf} = \frac{1}{2}$  pulg       $\leq \frac{1}{4} l = \frac{1}{4} * 53.34 = 13.335$  pulg **O.K.**

**Por lo tanto, usar soldadura de filete a base de electrodos E-70, de  $\frac{1}{2}$  pulg de tamaño, siguiendo lo señalado por el modelo del inciso**

**6.1.7.5.4**

## 6.1.8 Diseño de la Soldadura de Unión Entre la Columna y la Placa Base

### 6.1.8.1 Cálculo de las Fuerzas Actuantes en la Unión Columna-Placa Base (C=T)

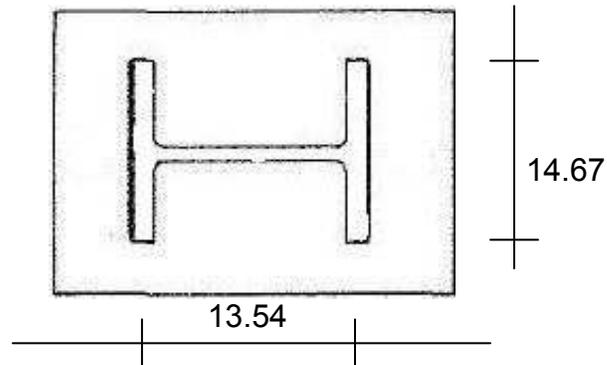


Figura 39. Distancia Entre Centroides de Patines y Ancho de Patín <sup>[21]</sup>

$$d = 14.48 \text{ pulg}$$

$$d - t_f = 14.48 - 0.94 = 13.54 \text{ pulg}$$

### 6.1.8.2 Cálculo de la Longitud de la Soldadura en Cada Patín (l)

$$l = (2 * b) - t_w = (2 * 14.67) - 0.59 = 28.75 \text{ pulg/patín}$$

### 6.1.8.3 Cálculo del par de fuerzas que conforman el momento flexionante actuante sobre la columna (C= T)

$$C = T = M / (\text{distancia entre centroides de patines})$$

$$C = T = 3,942,852 / 13.54 = 291,200 \text{ lb}$$

#### 6.1.8.4 Cálculo del Tamaño de la Soldadura

##### 6.1.8.4.1 Cálculo del Tamaño de Soldadura Requerido ( $t_{sf}$ )

$$t_{sf} = (C = T) / (l * R_{sf}) = 291,200 / (28.75 * 11,200) = \mathbf{0.90 \text{ pulg}}$$

#### 6.1.8.5 Verificación del Tamaño y Longitud de Soldadura a Usar

##### 6.1.8.5.1 Verificación de Tamaño Mínimo de Soldadura

espesor de patín de columna= 0.94 pulg

espesor de placa base= 3.00 pulg

Por lo tanto, el espesor menor de las partes a conectar (crítico)=

$$0.94 \text{ pulg} > \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Por lo tanto, el tamaño mínimo de soldadura= **5/16 pulg**

##### 6.1.8.5.2 Verificación de Tamaño Máximo de Soldadura

espesor crítico= 0.94 pulg  $> \frac{1}{4}$  pulg

Por lo tanto, el tamaño máximo de soldadura=  $0.94 - 1/16 = \mathbf{0.8775 \text{ pulg}}$

##### 6.1.8.5.3 Verificación de Longitud Efectiva Mínima de Soldadura ( $l_{min}$ )

$$l_{min} > 4t_{sf} \quad \mathbf{4t_{sf} = 4 * 0.90 = 3.60 \text{ pulg}} \quad \leq l_{min} = \mathbf{28.75 \text{ pulg O.K.}}$$

##### 6.1.8.5.4 Verificación de Relación Tamaño-Longitud ( $t_{sf}$ )

$$t_{sf} < \frac{1}{4} l \quad \mathbf{t_{sf} = 0.90} \quad \leq \frac{1}{4} l = \frac{1}{4} * 28.75 = \mathbf{7.1875 \text{ pulg O.K.}}$$

**Por lo tanto, usar soldadura de filete a base de electrodos E-70, de 0.90 pulg de tamaño, con una longitud igual a 28.75 pulg en cada patín de la columna.**

## 6.2 Solución del Sistema de Anclaje de una Columna Perteneciente a un Edificio por Medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08

### 6.2.1 Datos

a. Cargas actuantes sobre la columna:

Carga axial de compresión actuante (P): 620000 lb  
 Momento flexionante actuante (M): 5520000 lb-pulg

b. Tipo de columna utilizada:

W14 x 120

c. Dimensiones de la columna:

Peralte (d) de la sección= 14.48 pulg  
 Ancho (b) de la sección= 14.67 pulg  
 Espesor del alma (tw)= 0.59 pulg  
 Espesor de patines (tf)= 0.94 pulg

d. Tipo de concreto de la cimentación:

concreto de densidad normal

e. Resistencia última a la compresión del concreto (f'c)=

3000 lb/pulg<sup>2</sup>

f. Tipo de acero a usar para la placa base:

A-36

Esfuerzo mínimo de fluencia (Fy)= 36000 lb/pulg<sup>2</sup>

Resistencia mínima especificada a la tensión (Fu)= 58000 lb/pulg<sup>2</sup>

g. Tipo de acero a usar para las barras de anclaje:

F1554 Gr 36

Esfuerzo mínimo de fluencia (Fy)= 36000 lb/pulg<sup>2</sup>

Resistencia mínima especificada a la tensión (Fu)= 58000 lb/pulg<sup>2</sup>

Esfuerzo permisible del acero (0.6Fy): 21600 lb/pulg<sup>2</sup>

h. Tipo de soldadura a implementar:

soldadura de filete

Tipo de electrodo a usar:

E-70

Resistencia de los electrodos a usar: 70000 lb/pulg<sup>2</sup>

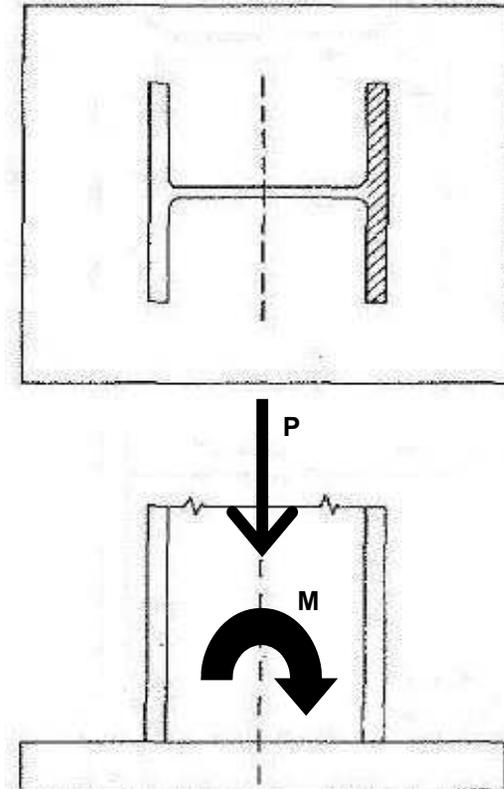


Figura 25. Columna de un Edificio Sometida a la Acción de una Carga Axial de Compresión y un Momento [ 13 ]

**\* Nota: todas las casillas marcadas con color naranja, corresponden a los datos que se deberán de ir ingresando a lo largo del método**

### 6.2.2 Cálculo de la Excentricidad de la Carga "P"

$$e = \frac{M}{P} = \frac{5520000}{620000} = 8.90 \text{ pulg}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{14.48}{2} = 7.24 \text{ pulg}$$

Por lo tanto, la resultante se sitúa: **fuera** del patín de la columna

Por lo tanto, en base a lo anterior: **si** se requiere diseñar una conexión de botas en la base de la columna

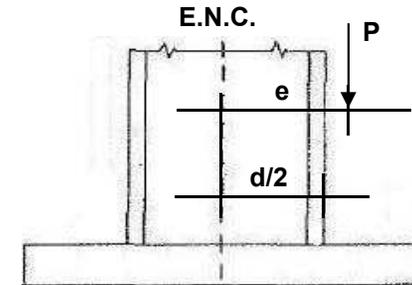


Figura 40. Representación de la Carga Excéntrica P

### 6.2.3 Dimensionamiento de las Barras de Anclaje y Distribución Espacial

#### 6.2.3.1 Cálculo de la Fuerza de Tensión (Tact)

$$\Sigma M_a = 0$$

$$P(e - (d/2)) - Tact(d + (e - (d/2))) = 0$$

$$Tact = 63878 \text{ lb}$$

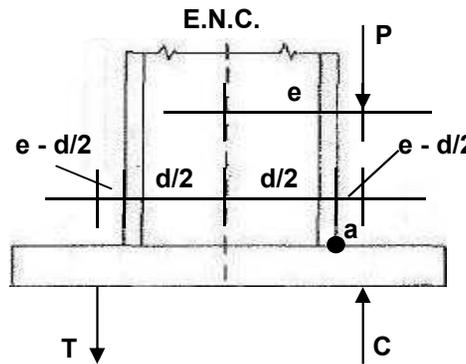


Figura 41. Fuerzas Resistentes Originadas por la Acción de la Carga Excéntrica P

#### 6.2.3.2 Cálculo del Dimensionamiento de las Barras de Anclaje

$$\text{Fuerza de tensión (Tact)} = 63878 \text{ lb}$$

$$\phi = 0.75$$

$$\text{Resistencia nominal a la tensión (Fnt)} = 0.75 (Fu) = 43500 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{Área requerida para barras de anclaje} = \frac{Tact}{\phi (Fnt)} = \frac{Tact}{\phi(0.75)(Fu)}$$

$$= \frac{63878}{0.75 \times 0.75 \times 58000}$$

Área requerida para barras de anclaje= **1.96** pulg<sup>2</sup>

Diámetro de barra a usar: **1 1/8** pulg

Área de barra a usar= **0.994** pulg<sup>2</sup>

$$\text{Número de barras de anclaje} = \frac{\text{Área requerida para barras de anclaje}}{\text{Área de barra}} = \frac{1.96}{0.994}$$

Número de barras de anclaje= **2**

Por lo tanto, usar como mínimo: **3 barras de 1 1/8 pulg a cada lado de la columna**

<b>Resumiendo:</b>	Tamaño de barra a usar:	<b>1 1/8</b> pulg	Número de barras a cada lado de la columna:	<b>6</b> barras
	Área de barra a usar:	<b>0.994</b> pulg <sup>2</sup>	Número total de barras a usar:	<b>12</b> barras
			Barras en tensión distribuidas en:	<b>2</b> líneas de gramil
			Barras en tensión/línea de gramil:	<b>3</b> $\frac{\text{barras}}{\text{gramil}}$

### 6.2.3.3 Cálculo de la Resistencia a la Tensión de las Barras de Anclaje (T)

Área de barras de anclaje= (número de barras) (Área de barra)

$$\text{Área de barras de anclaje} = 3 \times 0.994 = \text{2.95 pulg}^2$$

T= (Área de barras de anclaje)  $\phi$  (0.75) (Fu)

$$T = \text{96308 lb} \quad \text{vrs.} \quad T_{act} = \text{63878 lb}$$

Conclusión: **Revisión aprobada**

## 6.2.4 Cálculos Previos Para la Determinación Definitiva de las Barras de Anclaje a Usar

### 6.2.4.1 Propuesta

Acero de barra a usar:	ASTM	F1554 Gr 36
Diámetro de barras a usar:	1 1/8	pulg (debe ser $\leq 2.00$ pulg)
Tipo de barra:	barra preinstalada con cabeza	
Área de barra:	0.994	pulg <sup>2</sup>
nt=	7.00	(número de hilos de paso por pulg)
Ase,n=	$(\pi/4) (da - (0.9743/nt)) (da - (0.9743/nt)) =$	
n=	6	(número de barras en tensión del grupo de anclajes)
fya=	36000	lb/pulg <sup>2</sup> (resistencia a la fluencia en el acero del tipo de barra a usar)
futa $\leq$	que el menor de: 1.9 (fya) ó 122064 lb/pulg <sup>2</sup>	

1.9 (fya) = 68400 lb/pulg<sup>2</sup> vrs. 122064 lb/pulg<sup>2</sup>

futa = 68400 lb/pulg<sup>2</sup>

hef = profundidad efectiva de embebido de las barras

hef = 13.00 pulg (debe ser  $\leq 25$  pulg)

Espaciamiento mínimo entre anclajes = 6 (da) = 6.75 pulg

Distancia mínima al borde = 6 (da) = 6.75 pulg

1.5 (hef) = 19.50 pulg

3 (hef) = 39.00 pulg

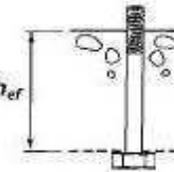


Figura 42. Tipo de Barra a Usar [ 1 ]

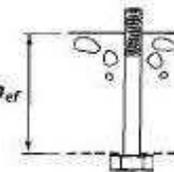


Figura 43. Detalle de hef [ 1 ]

### 6.2.4.2 Revisión Previa de la Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{sa}$ )

$\phi N_{sa} = 0.75 (A_{se},n) (n) (f_{ya}) = 123650$  lb vrs.  $T_{act} = 63878$  lb

Conclusión: Revisión aprobada

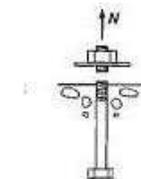


Figura 44. Falla del Acero [ 1 ]

**6.2.4.3 Revisión Previa de la Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )**

**\* Recomendación:** procurar que las distancias mínimas al borde del pedestal de concreto sean iguales a 1.5 (hef), y tratar en lo posible que el espaciamiento entre anclajes sea el mínimo.

Anco= 9 (hef) (hef)  
 Anco= 1521 pulg<sup>2</sup>

**Anc= (2 (1.5hef) + 2 (s)) (2 (1.5hef) + s)**

s= 7.00 pulg

Anc= 2438 pulg<sup>2</sup>

Nb= kc ( $\lambda$ ) ( $\sqrt{f_c}$ ) (hef<sup>1.5</sup>)

kc= 24 (para anclajes preinstalados)

$\lambda$ = 1.0 (para concreto de densidad normal)

Nb= 61615 lb

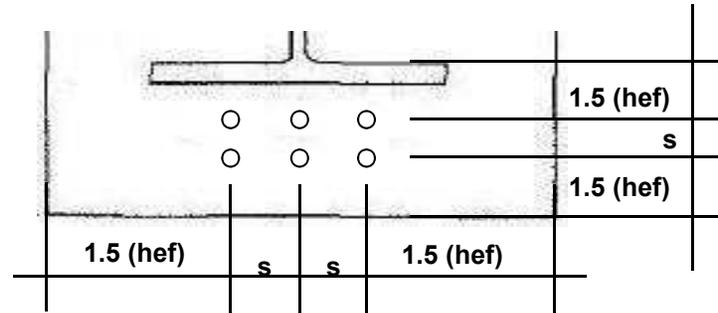


Figura 45. Cálculo de Anc

**\* Nota:** si "s" es menor a 3 (hef), usar "s" para calcular Anc; si "s" es mayor a 3 (hef), usar 3 (hef) para calcular Anc.

**\* Se asumirá inicialmente que todos los factores de modificación "Ψ" serán iguales a 1.0**

$\phi N_{cb}$ = 0.70 (Anc/Anco) ( $\Psi_{ed,n}$ ) ( $\Psi_{c,n}$ ) ( $\Psi_{cp,n}$ ) (Nb)

$\phi N_{cb}$ = 69134 lb vrs. Tact sobre un anclaje= Tact/n= 10646 lb

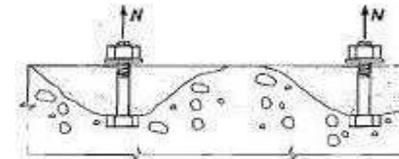


Figura 46. Falla por Arrancamiento [ 1 ]

**Conclusión:** Revisión aprobada

$\phi N_{cbg}$ = 0.70 (Anc/Anco) ( $\Psi_{ec,n}$ ) ( $\Psi_{ed,n}$ ) ( $\Psi_{c,n}$ ) ( $\Psi_{cp,n}$ ) (Nb)

$\phi N_{cbg}$ = 69134 lb vrs. Tact= 63878 lb

**Conclusión:** Revisión aprobada

**6.2.4.4 Revisión Previa de la Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión ( $\phi n N_{pn}$ )**

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ )= **1.472** pulg<sup>2</sup>

$\phi n N_{pn}$ = 0.70 (n) (8) ( $A_{brg}$ ) ( $f'_c$ )

$\phi n N_{pn}$ = **148378** lb

vrs. Tact= **63878** lb

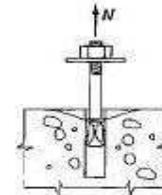


Figura 47. Falla por Deslizamiento [ 1 ]

Conclusión: **Revisión aprobada**

**6.2.4.5 Estimación Previa de las Dimensiones de la Placa Base Según la Distribución Espacial del Grupo de Anclajes**

Largo=  **$d + 2 (e - d/2) + 2 (s) + 4$**

Largo= **35.81** pulg

Ancho=  **$2 (s) + 4$**

Ancho= **18.00** pulg

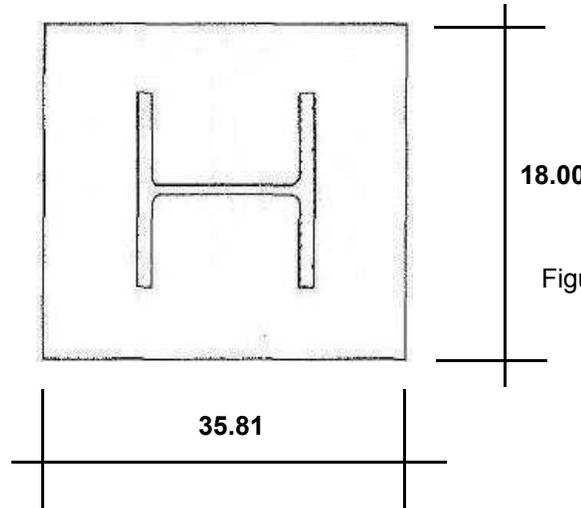


Figura 48. Estimación de Dimensiones de la Placa Base

### 6.2.5 Información de las Barras de Anclaje a Utilizar

- a. Acero de barra a usar: ASTM F1554 Gr 36
- b. Tipo de barra: barra preinstalada con cabeza
- c. Resistencia a la fluencia en el acero del tipo de barra a usar ( $f_y$ )= 36000 lb/pulg<sup>2</sup>
- d.  $f_u$ = 68400 lb/pulg<sup>2</sup>
- e. Diámetro de la barra a utilizar ( $d_a$ )= 1 1/8 pulg
- f. Área de la barra a usar ( $A_{barra}$ )= 0.994 pulg<sup>2</sup>
- g. Área transversal efectiva del anclaje en tensión ( $A_{se,n}$ )= 0.763 pulg<sup>2</sup>
- h. Número de anclajes en el grupo que estén en tensión ( $n$ )= 6 barras
- i. Profundidad efectiva de embebido a usar para las barras ( $h_{ef}$ )= 13.00 pulg
- j. Espaciamiento a usar entre las barras de anclaje ( $s$ )= 7.00 pulg
- k. Distancia al borde a usar ( $c_{a1}$ )= 19.50 pulg

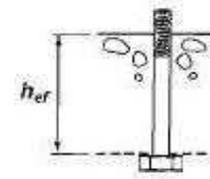


Figura 42. Tipo de Barra a Usar [ 1 ]

### 6.2.6 Verificación del Tipo de Concreto a Usar

$f'_c$  = 3000 lb/pulg<sup>2</sup> ≤ 9935 lb/pulg<sup>2</sup> (límite para anclajes preinstalados)

**Conclusión:** Revisión aprobada

### 6.2.7 Verificación de Exigencias de Prevención de Arrancamiento del Concreto

Verificación de diámetros de las barras de anclaje:

2.00 pulg ≥  $d_a$  a usar = 1 1/8 pulg

**Conclusión:** Revisión aprobada

Verificación de "hef" de las barras de anclaje:

25.00 pulg ≥  $h_{ef}$  a usar = 13.00 pulg

**Conclusión:** Revisión aprobada

Si se cumple con lo anterior, las exigencias de prevención de arrancamiento del concreto se considerarán satisfechas si se cumple con los procedimientos de diseño relacionados con la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión.

## 6.2.8 Verificación de Requerimientos de Espaciamento Mínimo Entre Anclajes y Distancias Mínimas al Borde Para Evitar Fallas por Fisuramiento (Hendimiento)

Espaciamento mínimo entre anclajes (con posibilidad de ser sometidos a torsión):

$$6 (da) = 6.75 \text{ pulg} \leq "s" \text{ a usar} = 7.00 \text{ pulg}$$

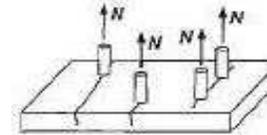


Figura 49. Falla por Fisuramiento [ 1 ]

Conclusión:

Revisión aprobada

Distancia mínima al borde:

$$6 (da) = 6.75 \text{ pulg} \leq \text{distancia al borde (ca1)} = 19.50 \text{ pulg}$$

Conclusión:

Revisión aprobada

## 6.2.9 Distribución de la Fuerza de Tensión Actante (Tact) en Cada Uno de los Anclajes a Tensión

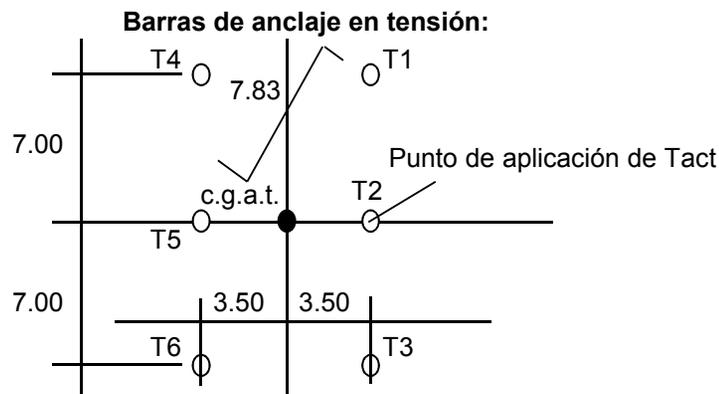
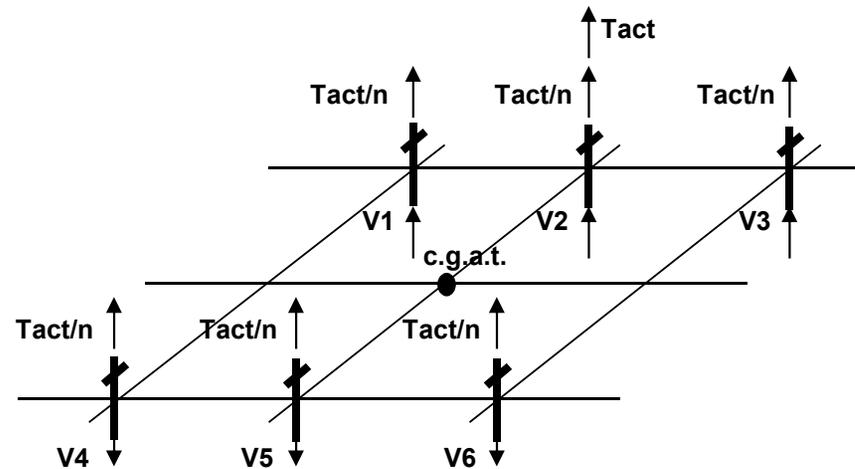


Figura 50. Distribución de Tact Sobre Cada Anclaje



$$d = \sqrt{\left(\frac{s}{2}\right)^2 + (s)^2} = 7.83 \text{ pulg (distancia entre T1, T3, T4 y T6 y el c.g.a.t.)}$$

$$n = 6 \text{ (número de barras en tensión)}$$

$$s = 7.00 \text{ pulg (espaciamento entre barras)}$$

$$e \text{ real} = \frac{s}{2} = 3.50 \text{ pulg (distancia entre el c.g.a.t. y el punto de aplicación de "Tact")}$$

$$nbg = 3.00 \text{ (número de barras en cada línea de gramil)}$$

$$e \text{ efectiva} = e \text{ real} - ((1 + nb) / 2) = 1.50 \text{ pulg}$$

$$M = Tact (e \text{ efectiva}) = 95817 \text{ lb-pulg}$$

$$\Sigma d^2 = \Sigma h^2 + \Sigma v^2 = (n ((3.50)^2)) + (4 ((s)^2)) = 270 \text{ pulg}^2$$

### 6.2.9.1 Cálculo de la Fuerza de Tensión en Cada Barra Debido al Momento Generado por la Excentricidad de la Fuerza de Tensión Actuante con Respecto al Centroides del Grupo de Anclajes en Tensión

$$V1 = (M (d)) / \Sigma d^2 = 2783 \text{ lb}$$

$$V2 = (M (s/2)) / \Sigma d^2 = 1244 \text{ lb}$$

Debido a la distribución simétrica de las barras de anclaje, obtenemos las siguientes relaciones:

$$V3 = V4 = V6 = V1 = 2783 \text{ lb} \quad V5 = V2 = 1244 \text{ lb}$$

### 6.2.9.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión en Cada Barra Debido a la Fuerza de Tensión Actuante Sobre el Grupo de Anclajes en Tensión

$$Tact / n = \frac{63878}{6} = 10646 \text{ lb}$$

### 6.2.9.3 Cálculo de la Fuerza de Tensión Total en Cada Barra

$$T1 = (Tact / n) \pm V1 = 10646 + 2783 = 13429 \text{ lb}$$

$$T2 = (Tact / n) \pm V2 = 10646 + 1244 = 11891 \text{ lb}$$

$$T3 = (Tact / n) \pm V3 = 10646 + 2783 = 13429 \text{ lb}$$

$$T4 = (Tact / n) \pm V4 = 10646 - 2783 = 7864 \text{ lb}$$

$$T5 = (Tact / n) \pm V5 = 10646 - 1244 = 9402 \text{ lb}$$

$$T6 = (Tact / n) \pm V6 = 10646 - 2783 = 7864 \text{ lb}$$

**6.2.9.4 Cálculo y Ubicación de la Resultante de las Fuerzas de Tensión Actuantes Sobre Cada Barra**

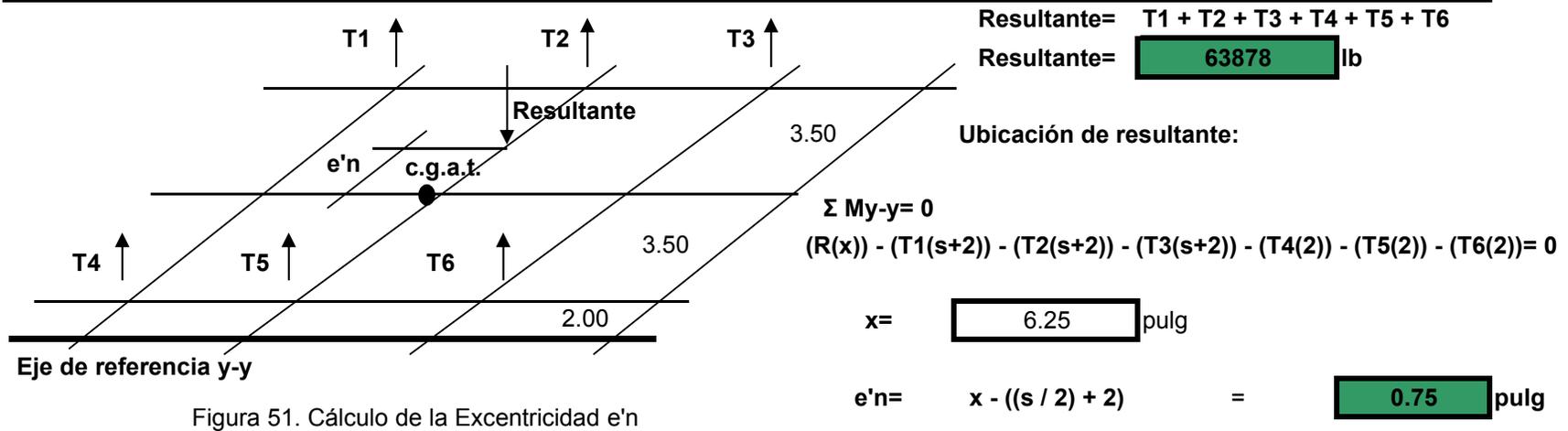


Figura 51. Cálculo de la Excentricidad e'n

**6.2.10 Factores de Reducción de Resistencia Para Anclajes en Concreto ( $\phi$ )**

- a. Para un anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero dúctil: Carga de tensión:  $\phi = 0.75$
- b. Para un anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero frágil: Carga de tensión:  $\phi = 0.65$
- c. Para un anclaje controlado por la resistencia al arrancamiento, desprendimiento lateral, extracción por deslizamiento o desprendimiento por cabeceo del anclaje: Condición B  
 Carga de tensión:  $\phi = 0.70$   
 (Pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho preinstalados)

**\* Nota:** 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.

### 6.2.11 Cálculo de la Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{sa}$ )

$N_{sa} = A_{se,n} (n) (f_{ya}) = 164867 \text{ lb}$   
 $N_{sa} = n (A_{se,n}) (f_{uta}) = 313247 \text{ lb}$   
 $\phi N_{sa} = \phi (A_{se,n}) (n) (f_{ya}) = 123650 \text{ lb}$

$N_{sa}$   
 164867

$\leq$   
 vrs.

$N_{sa}$   
 313247

Revisión aprobada

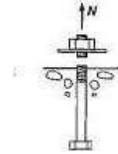


Figura 44. Falla del Acero [ 1 ]

### 6.2.12 Cálculo de la Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{cb}$ y $\phi N_{cbg}$ )

Espaciamiento entre las barras de anclaje (s)= 7.00 pulg  
 Distancia al borde ( $c_{a1}$ )= 19.50 pulg  
 Profundidad efectiva de embebido a usar para las barras ( $h_{ef}$ )= 13.00 pulg  
 1.5 ( $h_{ef}$ )= 19.50 pulg  
 3 ( $h_{ef}$ )= 39.00 pulg  
 $A_{nc} = 1521 \text{ pulg}^2$   
 $A_{nc} = 2438 \text{ pulg}^2$   
 $N_b = 61615 \text{ lb}$

$A_{nc}$   
 2438

$\leq$   
 vrs.

$n (A_{nc})$   
 9126

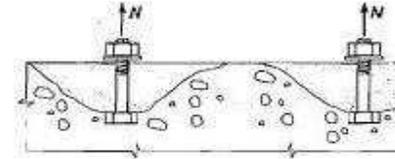
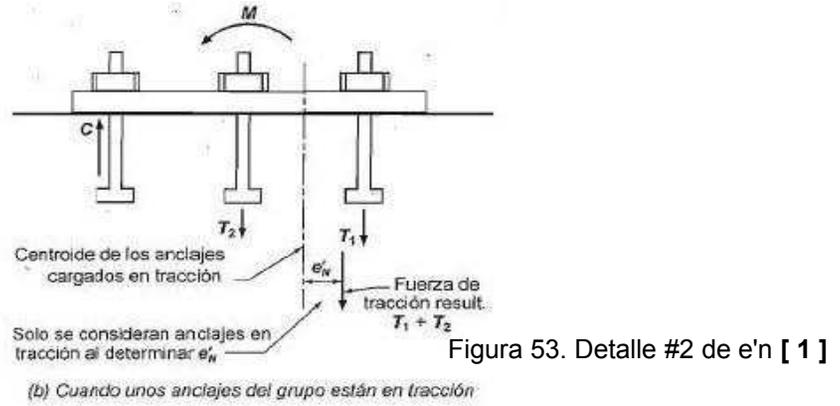
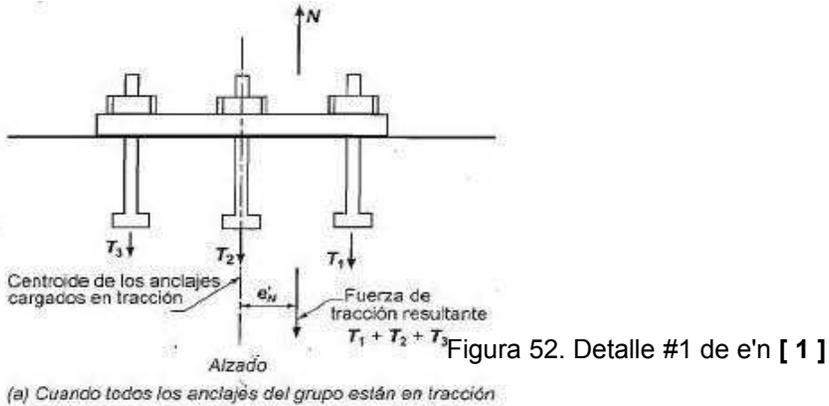


Figura 46. Falla por Arrancamiento [ 1 ]

Revisión aprobada

**6.2.12.1 Factor de Modificación Para Grupos de Anclajes Sometidos a Cargas Excéntricas de Tensión ( $\Psi_{ec,n}$ )**

$e'n = 0.75$  pulg  
 $\Psi_{ec,n} = \frac{1}{1 + ((2(e'n)) / (3(hef)))} = 0.96 \geq 1.0$   
 $\Psi_{ec,n} = 1.0$  → Por lo tanto,  $\Psi_{ec,n}$  será igual a: **1.00**



**6.2.12.2 Factor de Modificación Para los Efectos del Borde Para Anclajes Solos o Grupos de Anclajes en Tensión ( $\Psi_{ed,n}$ )**

$ca, \text{mín} = 19.50$  pulg      vrs.       $1.5(hef) = 19.50$  pulg  
 $\Psi_{ed,n} = 1.0$  → si  $ca, \text{mín} \geq 1.5(hef)$   
 $\Psi_{ed,n} = 0.7 + (0.3(ca, \text{mín} / 1.5(hef)))$  → si  $ca, \text{mín} < 1.5(hef)$   
 Por lo tanto,  $\Psi_{ed,n}$  será igual a: **1.00**       $\Psi_{ed,n} = 1.00$

**6.2.12.3 Factor de Modificación Para la Resistencia a Tensión de los Anclajes con Base en Presencia o Ausencia de Fisuras en el Concreto ( $\Psi_{c,n}$ )**

$\Psi_{c,n} = 1.00$  → (para cuando se considere que puede haber fisuración para niveles de cargas de servicio)

**6.2.12.4 Factor de Modificación Para la Resistencia a Tensión de Anclajes Post-Instalados Utilizados en Concreto no Fisurado y sin Refuerzo Suplementario ( $\Psi_{cp,n}$ ) y Resistencia Para un Anclaje y el Grupo de Anclajes ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )**

$\Psi_{cp,n} =$    $\longrightarrow$  (para anclajes preinstalados)

Resistencia para un anclaje:

$N_{cb} = (A_{nc} / A_{nco}) (\Psi_{ed,n}) (\Psi_{c,n}) (\Psi_{cp,n}) (N_b) =$   lb  $\quad \phi N_{cb} =$   lb

Resistencia para un grupo de anclajes:

$N_{cbg} = (A_{nc} / A_{nco}) (\Psi_{ec,n}) (\Psi_{ed,n}) (\Psi_{c,n}) (\Psi_{cp,n}) (N_b) =$   lb

$\phi N_{cbg} =$   lb

**6.2.13 Cálculo de la Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión ( $\phi n N_{pn}$ )**

$\Psi_{c,p} =$    $\longrightarrow$  (para cuando se considere que puede haber fisuración para niveles de cargas de servicio)

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ ) =  pulg<sup>2</sup>

$N_p = 8 (A_{brg}) (f'_c) =$   lb

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

$\phi n N_{pn} =$   lb

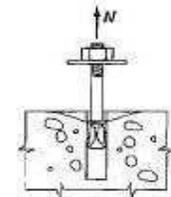


Figura 47. Falla por Deslizamiento [ 1 ]

**6.2.14 Cálculo de la Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto en un Anclaje con Cabeza en Tensión ( $\phi N_{sb}$  y  $\phi N_{sbg}$ )**

Resistencia para un anclaje:

$h_{ef} =$   pulg  $\quad$  vrs.  $2.5c_{a1} =$   pulg

Conclusión:

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A<sub>brg</sub>)=  pulg<sup>2</sup>

$$N_{sb} = 160 (ca1) (\sqrt{A_{brg}}) (\lambda) (\sqrt{f'c}) = \text{0 lb}$$

$$ca2 = \text{ } \text{pulg} \quad \text{vrs.} \quad 3ca1 = \text{58.50} \text{ pulg}$$

**Conclusión:** El valor de N<sub>sb</sub> debe de multiplicarse por el factor  $(1 + ca2 / ca1) / 4$

$$ca2 / ca1 = \text{0.00} \quad 1.0 \leq ca2 / ca1 \leq 3.0 \quad \begin{array}{l} \text{Es } ca2 / ca1 \geq 1.0? \\ \text{Es } ca2 / ca1 \leq 3.0? \end{array}$$

**Modificar las distancias a los bordes**  
**Se cumple la relación**

$$ca2 / ca1 = \text{ } \text{pulg}$$

$$((1 + (ca2 / ca1)) / 4) N_{sb} = \text{0 lb}$$

$$\phi N_{sb} = 0.70 \times N_{sb} = 0.70 \times \text{ } = \text{0 lb}$$

Resistencia para un grupo de anclajes:

$$\text{Espaciamiento entre las barras de anclaje} = \text{7.00} \text{ pulg} \quad \text{vrs.} \quad 6ca1 = \text{117.00} \text{ pulg}$$

**Conclusión:** Se debe de calcular la resistencia N<sub>sb</sub>

$$N_{sb} = 160 (ca1) (\sqrt{A_{brg}}) (\lambda) (\sqrt{f'c}) = \text{ } \text{lb}$$

$$N_{sb} = (1 + (s / 6ca1)) N_{sb} = \text{0 lb}$$

$$\phi N_{sb} = \text{0 lb}$$

### 6.2.15 Cálculo de la Resistencia de Diseño de los Anclajes ( $\phi N_n$ )

$\phi N_n =$  menor de ( $\phi N_{sa}$ ,  $\phi n N_{pn}$ ,  $\phi N_{cb}$ ,  $\phi N_{cbg}$ ,  $\phi N_{sb}$ ,  $\phi N_{sb}$ )

$$\phi N_n = \text{menor de: } 123650 \text{ ; } 148378 \text{ ; } 69134 \text{ ; } 69134 \text{ ; } 0 \text{ ; } 0$$

$$\phi N_n = \text{69134 lb} \geq N_{ua} = \text{63878 lb}$$

**Conclusión:** Las barras de anclaje seleccionadas son suficientes para resistir la fuerza mayorada de tensión

\* **Nota:** cuando gobierna la resistencia " $\phi N_{cb}$ " o " $\phi N_{sb}$ ", " $\phi N_n$ " se compara contra  $N_{ua} = T_{act} \text{ máx}$  sobre un anclaje. Para todos los demás casos,  $N_{ua} = T_{act}$ .

## 6.2.16 Dimensionamiento de la Placa Base

### 6.2.16.1 Cálculo de Ru

$$R_u = P + T_{act} = 683878 \text{ lb}$$

### 6.2.16.2 Cálculo de la Resistencia de Aplastamiento del Concreto ( $\phi_c F_p$ )

$$\phi_c = 0.60 \quad \phi_c F_p = \phi_c (1.7) (f'_c) = 3060 \text{ lb/pulg}^2$$

### 6.2.16.3 Cálculo del Área Requerida de Placa Base

$$A_{req \text{ placa base}} = \frac{R_u}{\phi_c F_p \text{ promedio}} = \frac{R_u}{1/2 (\phi_c F_p)} = 447 \text{ pulg}^2$$

### 6.2.16.4 Determinación de las Dimensiones de la Placa Base (Largo y Ancho)

$$\sqrt{A_{req \text{ placa base}}} = \sqrt{447} = 21.14 \text{ pulg}$$

Se usará como largo de la placa base:  $L = 23.14 \text{ pulg}$

Cálculo de la distancia entre el patín de la columna y el borde de la placa base:

$$D = (L / 2) - (d / 2) = 4.33 \text{ pulg}$$

Cálculo de la longitud del triángulo de presión:

$$L_{tp} = 3 (D) = 12.99 \text{ pulg}$$

Cálculo de la longitud requerida de placa base:

$$L_{req \text{ placa base}} = \frac{R_u}{(\phi_c F_p \text{ promedio}) (L_{tp})} = 34.40 \text{ pulg}$$

Por lo tanto, la longitud requerida de placa base es:  $36.40 \text{ pulg}$

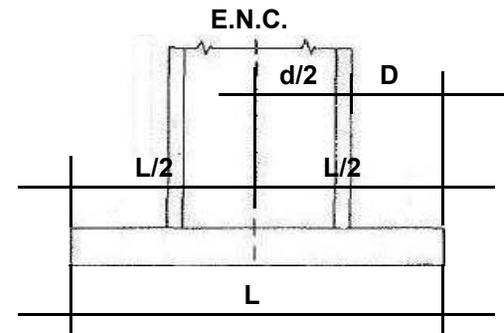


Figura 54. Cálculo de la Longitud Requerida Para la Placa Base [ 21 ]

**6.2.16.5 Comparación Entre la Longitud Requerida de Placa Base y la Longitud de Placa Base Deducida en Base a la Distribución de las Barras de Anclaje**

Longitud requerida de placa base= **36.40** pulg      vrs      Longitud de placa base deducida en base a la distribución espacial de las barras de anclaje= **35.81** pulg

**Conclusión:** Procurar que haya una proximidad del 95% entre ambos valores

**6.2.16.6 Verificación de la Presión Máxima Para el Area de Placa Base Encontrada y Dimensiones Finales de la Misma**

Asumiendo un ancho de placa base igual a: **18.00** pulg

Verificación de la presión máxima para el área de placa base encontrada:

$$\text{Presión máxima} = 2 (\phi_c F_p \text{ promedio}) = \frac{2 (R_u)}{A_{\text{placa base}}} = \text{2209 lb/pulg}^2$$

$$\text{Presión máxima} = \text{2209 lb/pulg}^2 \leq \phi_c F_p = \text{3060 lb/pulg}^2$$

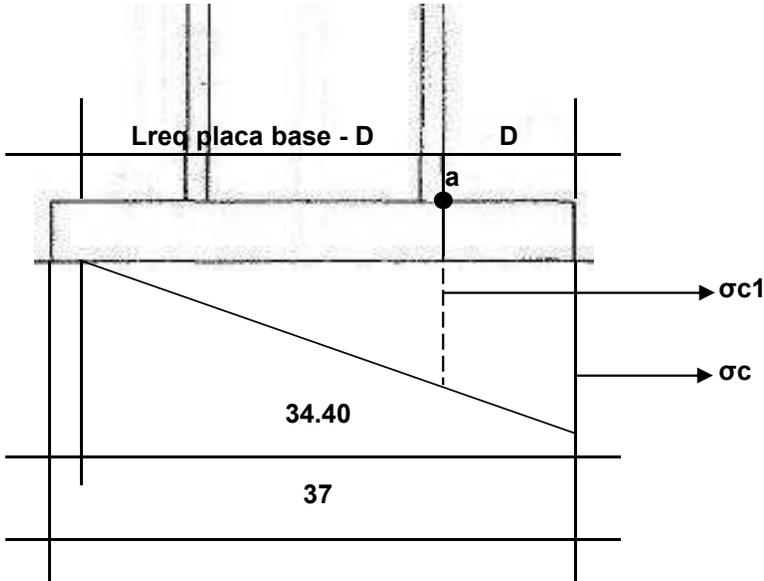
**Conclusión:** Revisión aprobada

Por lo tanto, las dimensiones de la placa base son:

Ancho=	18.00	pulg
Largo=	37.00	pulg

**6.2.16.7 Cálculo del Espesor de la Placa Base (t)**

**6.2.16.7.1 Cálculo del Esfuerzo al Paño de la Columna ( $\sigma_c$ ) y el Momento al Paño de la Columna ( $M_u$ )**



$\sigma_c = 2209$  lb/pulg<sup>2</sup>

$\sigma_{c1} = \frac{\sigma_c (L_{req} \text{ placa base} - D)}{L_{req} \text{ placa base}}$

$\sigma_{c1} = 1931$  lb/pulg<sup>2</sup>

Cálculo del momento al paño de la columna ( $M_u$ ):

$\Sigma M_a = M_u = \sigma_{c1} (D) (D/2) (1.00) + 1/2 (\sigma_c - \sigma_{c1}) (D) (2/3) (D) (1.00)$

$M_u = 19846$  lb-pulg

Figura 55. Detalle de los Esfuerzos  $\sigma_c$  y  $\sigma_{c1}$  [ 21 ]

**6.2.16.7.2 Cálculo del Espesor Requerido de la Placa Base (t)**

$t = \sqrt{6 (M_u) / (\phi_b (F_y))} = 1.92$  pulg

Por lo tanto,  $t = 1.92$  pulg

Las dimensiones finales de la placa base son:

Ancho=	18.00	pulg	Espesor=	2	pulg
Largo=	37.00	pulg			

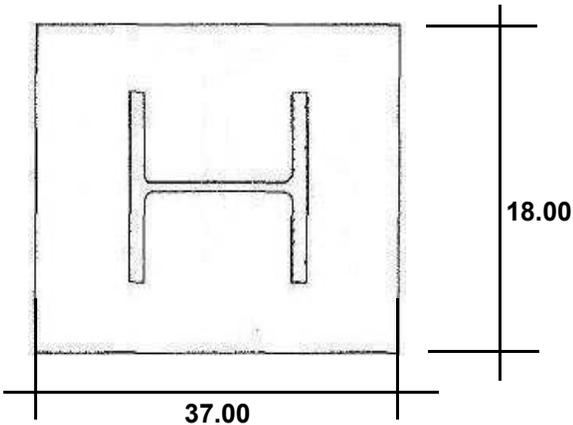


Figura 56. Dimensiones Finales de la Placa Base

## 6.2.17 Diseño de la Conexión de Botas en la Base de la Columna (Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje)

### 6.2.17.1 Elementos que Conforman la Conexión de Botas

<b>a. Barras en tensión:</b>	Diámetro de las barras de anclaje en tensión=	1 1/8	pulg	
	Area de las barras de anclaje en tensión=	0.994	pulg <sup>2</sup>	
	Número de barras de anclaje en tensión=	6	barras de anclaje en tensión	
<b>b. Porción del alma de la columna:</b>	Espesor del alma (tw)=	0.59	pulg	
<b>c. Patín de la columna:</b>	Espesor del patín (tf)=	0.94	pulg	
	Longitud del patín=	14.67	pulg	
<b>d. Canal:</b>	Tipo de canal=	12 x 50	pulg	
	Dimensiones del canal:	Espesor del alma=	0.835	pulg
		Longitud del alma=	17.00	pulg
		Espesor de aletas=	11/16	pulg
		Ancho de canal=	4.135	pulg
		Altura del canal=	12.00	pulg
<b>e. Atiesadores del canal:</b>	Dimensiones del atiesador:	Espesor de atiesador=	7/8	pulg
		Longitud de atiesador=	3 3/10	pulg
	Número de atiesadores=	4	atiesadores	

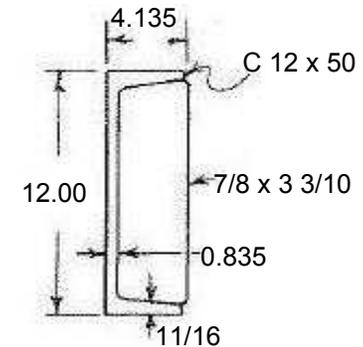


Figura 57. Detalle del Canal y el Atiesador [ 13 ]

## 6.2.17.2 Cálculo de la Ubicación del Eje Neutro de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje

### 6.2.17.2.1 Cálculo de Areas

Barras de anclaje en tensión= número de barras \* Abarra= 5.96 pulg<sup>2</sup>

Porción del alma=  $tw * longitud = tw * (x - (\text{Ancho del canal} + tf)) = 0.59x - 2.99425$

Patín de columna=  $tf * longitud = 13.79$  pulg<sup>2</sup>

Alma del canal=  $espesor * longitud = 14.20$  pulg<sup>2</sup>

Atiesadores del canal= número de atiesadores \*  $espesor * longitud = 11.55$  pulg<sup>2</sup>

### 6.2.17.2.2 Cálculo de $I_y$

Barras de anclaje en tensión= número de barras \*  $((1/4 * \pi * (r*r*r*r)) + (Abarra * (dbarra-eje referencia * dbarra-eje referencia)))$

Barras de anclaje en tensión= 3373 pulg<sup>4</sup>

Porción del alma=  $(1/12 * tw * (h*h*h)) + (Aporción de alma * (dporción de alma-eje referencia * dporción de alma-eje de referencia))$

Porción del alma= 18.50 pulg<sup>4</sup>

Patín de columna=  $(1/12 * bf * (tf*tf*tf)) + (Apatín * (dpatín-eje referencia * dpatín-eje referencia)) = 293.44$  pulg<sup>4</sup>

Alma del canal=  $(1/12 * largo * (espesor*espesor*espesor)) + (Aalma * (dalma-eje referencia * dalma-eje referencia))$

Alma del canal= 197.00 pulg<sup>4</sup>

Atiesadores del canal= número de atiesadores \*  $((1/12 * espesor * (largo*largo*largo)) + (Aatiesador * (datiesa-eje ref. * datiesa-eje ref.)))$

Atiesadores del canal= 41.93 pulg<sup>4</sup>

### 6.2.17.2.3 Cálculo de $I_g$

Atiesadores del canal= número de atiesadores \*  $((1/12 * espesor * (largo*largo*largo)) = 10.48$  pulg<sup>4</sup>

### 6.2.17.2.4 Cálculo de la Ubicación del Eje Neutro de la Sección Efectiva (E.N.S.E.)

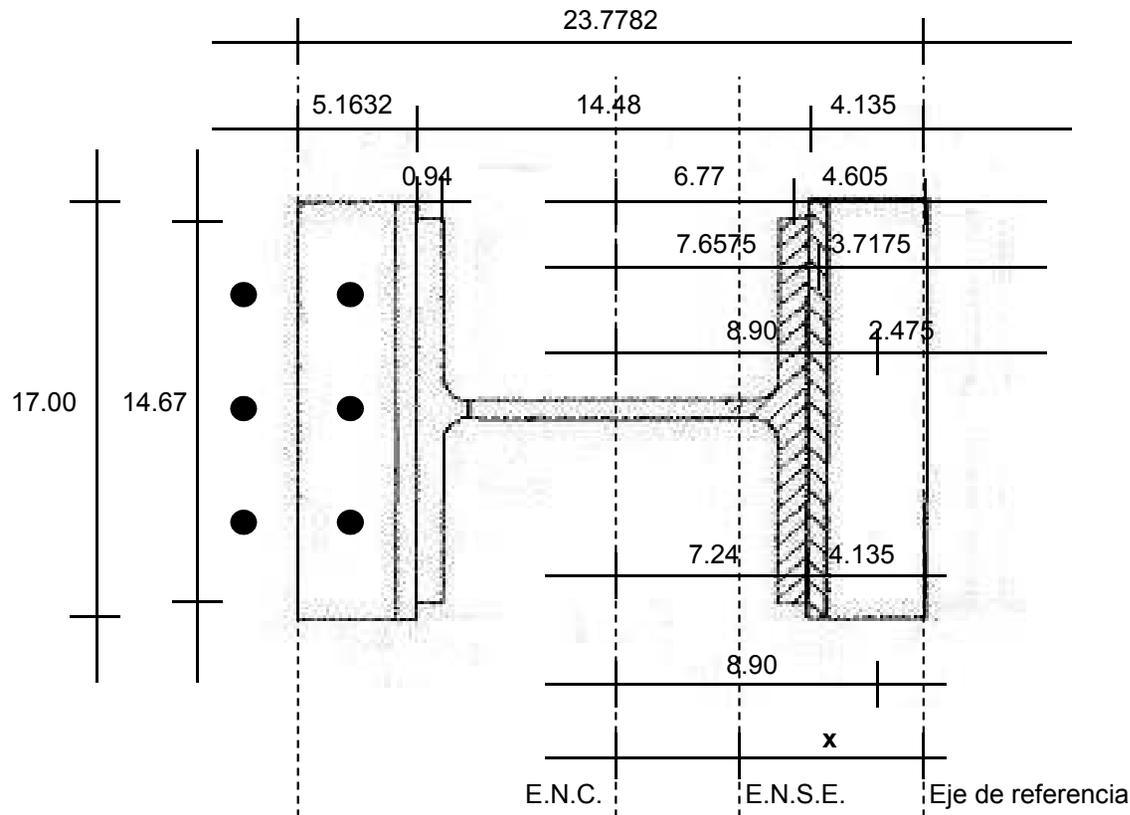


Figura 20. Detalle de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje [ 13 ]

Elemento	Distancia a eje de ref.	Area (A)	Momento (M)	ly	Ig
1. Barras de anclaje	23.7782	5.96	141.82	3373	0.00
2. Porción de alma de la columna	(Ancho de canal + tf + x) / 2 = 0.5x + 2.5375	0.59x - 2.99425	0.295x <sup>2</sup> - 7.5979	18.50	0.00
3. Patín de columna	4.6050	13.79	63.50	293.44	0.00
4. Alma del canal	3.7175	14.20	52.77	197.00	0.00
5. Atiesadores	1.6500	11.55	19.06	41.93	10.48
<b>Primer total=</b>		0.59x + 42.50575	0.295x <sup>2</sup> + 269.5521		
<b>Totales finales=</b>		<b>46.09</b>	<b>280.46</b>	<b>3923.47</b>	<b>10.48</b>
				<b>3933.95</b>	

$$x = \frac{\Sigma M}{\Sigma A} = \frac{0.295x^2 + 269.5521}{0.59x + 42.50575}$$

Por lo tanto se obtiene la siguiente ecuación:

$$0.295x^2 + 42.50575x - 269.5521 = 0$$

Resolviendo la ecuación anterior, se obtiene que:  $x = 6.08$  pulg

### 6.2.17.3 Verificación del Funcionamiento de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje Propuesta

#### 6.2.17.3.1 Cálculo del Momento de Inercia Alrededor del Eje Neutro de la Sección Efectiva de Resistencia del Anclaje ( $I_n$ )

$$I_n = I_y + I_g - ((M * M) / A) = 2227.48 \text{ pulg}^4$$

#### 6.2.17.3.2 Revisión del Esfuerzo de Compresión en el Extremo de los Atiesadores del Canal ( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = ((M * c) / I_n) + (P / A) = ((P * dp\text{-e.n.s.e.} * x) / I_n) + (P / A) \quad \text{Valor de la carga "P" sin factorizar: } 442857 \text{ lb}$$

$$\sigma_c = 13970 \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = 21600 \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.2.17.3.3 Revisión del Esfuerzo de Tensión en las Barras de Anclaje a Tensión ( $\sigma_t$ )

$$\sigma_t = ((M * c) / I_n) - (P / A) = ((P * dp\text{-e.n.s.e.} * de.n.s.e.\text{-barras tensión}) / I_n) - (P / A)$$

$$\sigma_t = 5599 \text{ lb/pulg}^2 \longrightarrow P_t = \sigma_t * A_s = 33393 \text{ lb}$$

$$P_t = 33393 \text{ lb} \leq P = 442857 \text{ lb}$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.2.17.4 Diseño de la Soldadura de Unión Entre los Atiesadores y el Alma del Canal

##### 6.2.17.4.1 Cálculo del Esfuerzo Promedio en los Atiesadores ( $\sigma_{\text{prom.atiesa}}$ )

$$\sigma_c = 13970 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\sigma_{c2} = (x - \text{Longitud de atiesador}) (\sigma_c / x)$$

$$\sigma_{c2} = 6387 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\sigma_{c3} = (x - \text{Ancho de canal}) (\sigma_c / x)$$

$$\sigma_{c3} = 4469 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\sigma_{\text{prom.atiesa}} = (\sigma_c + \sigma_{c2}) / 2$$

$$\sigma_{\text{prom.atiesa}} = 10178 \text{ lb/pulg}^2$$

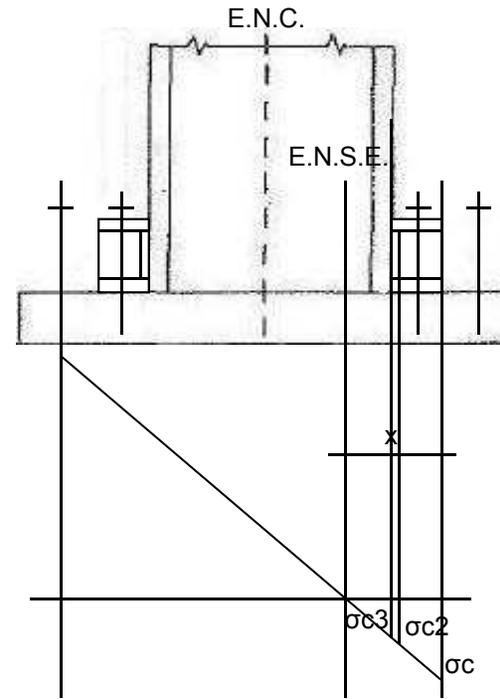


Figura 58. Detalle de los Esfuerzos  $\sigma_c$ ,  $\sigma_{c2}$  y  $\sigma_{c3}$

##### 6.2.17.4.2 Cálculo de la Fuerza en Cada Atiesador (Fatiesador)

$$F_{\text{atiesador}} = \sigma_{\text{prom.atiesa}} * A_{\text{atiesador}} = \sigma_{\text{prom.atiesa}} * (\text{Espesor de atiesador} * \text{Longitud de atiesador})$$

$$F_{\text{atiesador}} = 29390 \text{ lb}$$

##### 6.2.17.4.3 Cálculo del Tamaño y Longitud de la Soldadura

$$\text{Longitud de cordón de soldadura en ambos lados de cada atiesador (L): } 10.00 \text{ pulg}$$

**6.2.17.4.3.1 Cálculo de la Resistencia Requerida de Soldadura por Unidad de Longitud (f)**

f= Fatiesador / (2 \* L)=  lb/pulg

**6.2.17.4.3.2 Cálculo del Tamaño o Espesor Requerido de la Soldadura de Filete (ω)**

ω= f / resistencia de los electrodos=  pulg

**6.2.17.4.3.3 Cálculo de la Longitud Requerida de Soldadura (L)**

L= Fatiesador / (2 \* f)=  pulg

Tamaño de la soldadura de filete (tsf)=  pulg      Longitud requerida (L)=  pulg

**6.2.17.4.4 Verificación del Tamaño y Longitud de Soldadura a Usar**

Verificación de tamaño mínimo de soldadura:

Espesor de atiesadores=  
Espesor menor de las partes (ec)=  pulg  
 pulg



Espesor de alma de canal=  
Es  $ec \leq 1/4$  pulg?  
Es  $1/4 < ec \leq 1/2$ ?  
Es  $1/2 < ec \leq 3/4$ ?  
Es  $ec > 3/4$ ?

<input type="text" value="0.835"/> pulg	
tsf mín=	Checar otros rangos
tsf mín=	Checar otros rangos
tsf mín=	Checar otros rangos
tsf mín=	5/16

Por lo tanto, el tamaño mínimo de soldadura es:  pulg      vrs      tsf=  pulg

Conclusión:

Verificación de tamaño máximo de soldadura:

ec=  pulg

Es  $< \text{ó} \geq 1/4$  pulg?

Por lo tanto, el tamaño máximo de soldadura es:

pulg

tsf máx=  pulg

vrs.

tsf=  pulg

Conclusión:

Verificación de longitud efectiva mínima de soldadura:

$l_{\min} \geq 4 (tsf)$   $\longrightarrow$   $4 (tsf) =$   pulg vrs.  $l =$   pulg

Conclusión:

Verificación de relación tamaño-longitud:

$1/4 (l) \geq tsf$   $\longrightarrow$   $tsf =$   pulg vrs.  $1/4 (l) =$   pulg

Conclusión:

Por lo tanto, usar soldadura de filete a base de electrodos  de tamaño igual a:  pulg, con una longitud igual a:  pulg, a ambos lados de cada atiesador.

**6.2.17.5 Diseño de la Soldadura de Unión Entre el Canal y el Patín de la Columna**

**6.2.17.5.1 Cálculo del Esfuerzo Promedio en el Alma del Canal ( $\sigma_{prom.alma-canal}$ )**

$\sigma_{prom.alma-canal} = (\sigma_2 + \sigma_3) / 2 =$   lb/pulg<sup>2</sup>

**6.2.17.5.2 Cálculo de la Fuerza en el Alma del Canal ( $F_{alma-canal}$ )**

$F_{alma-canal} = \sigma_{prom.alma-canal} * A_{alma-canal} =$   lb

**6.2.17.5.3 Cálculo de la Fuerza Total de Compresión en el Canal ( $F_{total canal}$ )**

$F_{total canal} = F_{alma-canal} + (\# \text{ atiesadores} * F_{atiesador}) =$   lb

**6.2.17.5.4 Cálculo del Momento en la Soldadura ( $M_{soldadura}$ )**

$M_{soldadura} = (\# \text{ atiesadores} * F_{atiesador} * d_{atiesa-patín columna}) + (F_{alma-canal} * d_{alma-canal-patín columna})$

$M_{soldadura} =$   lb-pulg



Falma-canal ↑↑ Fatiesadores  
Figura 59. Componentes de Msoldadura [ 13 ]

### 6.2.17.5.5 Cálculo del Tamaño y Longitud de la Soldadura

A continuación, se presentan diversas opciones para unir el canal al patín de la columna, por medio de la aplicación de cordones de soldadura, ya sea sólo en 2 bordes, en 3 ó 4 bordes. La elección se hace siguiendo un enfoque económico que permita escoger la opción con el menor tamaño posible para la soldadura, siempre y cuando, claro está, la opción elegida brinde la resistencia requerida.

#### 6.2.17.5.5.1 Soldadura en los Bordos Superior e Inferior

$$S_w = b * d = \boxed{176.04} \text{ pulg}^2 \quad L = 2 * b = \boxed{29.34} \text{ pulg}$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = \boxed{1842} \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total canal}} / L = \boxed{6633} \text{ lb/pulg}$$

$$f_r = \sqrt{(f_b * f_b) + (f_s * f_s)} = \boxed{6884} \text{ lb/pulg}$$

$$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos} = \boxed{0.10} \text{ pulg}$$

Por lo tanto: tamaño de soldadura de filete =  $\boxed{0.10}$  pulg

d = 12.00

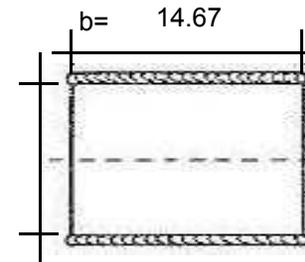


Figura 60. Detalle de la Soldadura en Bordos Superior e Inferior [ 13 ]

#### 6.2.17.5.5.2 Soldadura en los 2 Bordes Laterales

$$S_w = (d * d) / 3 = \boxed{48.00} \text{ pulg}^2 \quad L = 2 * d = \boxed{24.00} \text{ pulg}$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = \boxed{6756} \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total canal}} / L = \boxed{8109} \text{ lb/pulg}$$

$$f_r = \sqrt{(f_b * f_b) + (f_s * f_s)} = \boxed{10555} \text{ lb/pulg}$$

$$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos} = \boxed{0.15} \text{ pulg}$$

Por lo tanto: tamaño de soldadura de filete =  $\boxed{0.15}$  pulg

d = 12.00

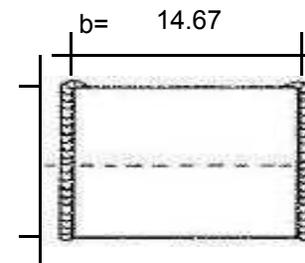


Figura 61. Detalle de la Soldadura en los 2 Bordes Laterales [ 13 ]

### 6.2.17.5.3 Soldadura en 3 Bordes (2 Bordes Laterales y el Borde Superior)

$$S_w = ((d * d) * (2b + d)) / (3 * (b + d)) = \boxed{74.40} \text{ pulg}^2$$

$$L = (2 * d) + b = \boxed{38.67} \text{ pulg}$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = \boxed{4359} \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total canal}} / L = \boxed{5033} \text{ lb/pulg}$$

$$f_r = \sqrt{(f_b * f_b) + (f_s * f_s)} = \boxed{6658} \text{ lb/pulg}$$

$$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos} = \boxed{0.10} \text{ pulg}$$

Por lo tanto: tamaño de soldadura de filete =  $\boxed{0.10}$  pulg

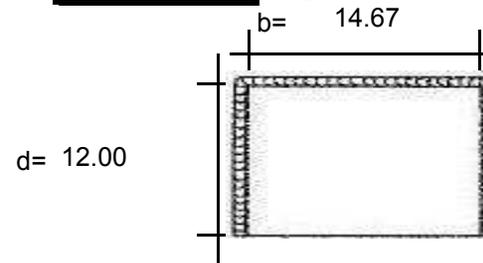


Figura 62. Detalle de la Soldadura en 3 Bordes [ 13 ]

### 6.2.17.5.4 Soldadura en los 4 Bordes

$$S_w = (b * d) + ((d * d) / 3) = \boxed{224.04} \text{ pulg}^2$$

$$L = (2 * d) + (2 * b) = \boxed{53.34} \text{ pulg}$$

$$f_b = M_{\text{soldadura}} / S_w = \boxed{1448} \text{ lb/pulg}$$

$$f_s = V / L = F_{\text{total canal}} / L = \boxed{3649} \text{ lb/pulg}$$

$$f_r = \sqrt{(f_b * f_b) + (f_s * f_s)} = \boxed{3925} \text{ lb/pulg}$$

$$\omega = f_r / \text{resistencia de los electrodos} = \boxed{0.06} \text{ pulg}$$

Por lo tanto: tamaño de soldadura de filete =  $\boxed{0.06}$  pulg

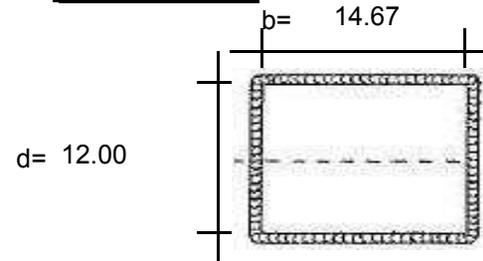


Figura 63. Detalle de la Soldadura en los 4 Bordes [ 13 ]

Conclusión:

Tamaño de la soldadura de filete (tsf) =  $\boxed{5/16}$  pulg

Longitud requerida (L) =  $\boxed{24.00}$  pulg

Soldadura en:  $\boxed{2}$  bordes

**6.2.17.5.6 Verificación del Tamaño y Longitud de Soldadura a Usar**

Verificación de tamaño mínimo de soldadura:

Espesor de alma de canal=	<input type="text" value="0.835"/> pulg	→	Espesor patín de columna=	<input type="text" value="0.940"/> pulg
Espesor menor de las partes (ec)=	<input type="text" value="0.835"/> pulg		Es $ec \leq 1/4$ pulg?	<input type="text" value="tsf mín="/> <input type="text" value="Checar otros rangos"/>
			Es $1/4 < ec \leq 1/2$ ?	<input type="text" value="tsf mín="/> <input type="text" value="Checar otros rangos"/>
			Es $1/2 < ec \leq 3/4$ ?	<input type="text" value="tsf mín="/> <input type="text" value="Checar otros rangos"/>
			Es $ec > 3/4$ ?	<input type="text" value="tsf mín="/> <input type="text" value="5/16"/>

Por lo tanto, el tamaño mínimo de soldadura es:  pulg vrs tsf=  pulg

Conclusión:

Verificación de tamaño máximo de soldadura:

ec=	<input type="text" value="0.84"/> pulg	Es $ec < \text{ó} \geq 1/4$ pulg?	Por lo tanto, el tamaño máximo de soldadura es:
			<input type="text" value="0.77"/> pulg
tsf máx=	<input type="text" value="0.77"/> pulg	vrs.	tsf= <input type="text" value="5/16"/> pulg

Conclusión:

Verificación de longitud efectiva mínima de soldadura:

$l_{\text{mín}} \geq 4$ (tsf)	→	$4$ (tsf)=	<input type="text" value="1.25"/> pulg	vrs.	$l =$	<input type="text" value="24.00"/> pulg
-------------------------------	---	------------	--	------	-------	---

Conclusión:

Verificación de relación tamaño-longitud:

$1/4$ (l) $\geq$ tsf	→	tsf=	<input type="text" value="5/16"/> pulg	vrs.	$1/4$ (l)=	<input type="text" value="6.00"/> pulg
----------------------	---	------	--	------	------------	--

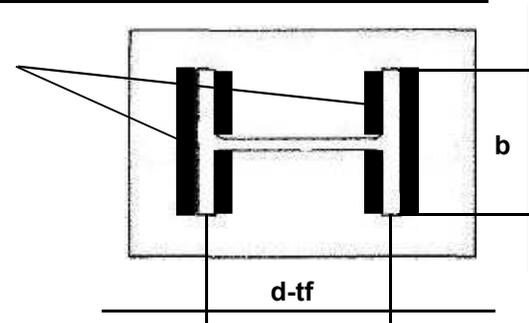
Conclusión:

Por lo tanto, usar soldadura de filete a base de electrodos  de tamaño igual a:  pulg, con una longitud total de:  pulg, distribuida sobre  bordes.

## 6.2.18 Diseño de la Soldadura de Unión Entre la Columna y la Placa Base

$$d - t_f = 13.54 \text{ pulg}$$

soldadura



Cálculo de la longitud de la soldadura en cada patín:

$$l = 2(b) - t_w = 28.75 \text{ pulg}$$

Figura 64. Longitud de Soldadura por Cada Patín [ 21 ]

Cálculo del par de fuerzas que conforman el momento flexionante actuante sobre la columna:

$$C = T = \frac{M}{\text{distancia entre centroides de patines}} = \frac{5520000}{13.54} = 407681 \text{ lb}$$

### 6.2.18.1 Cálculo del Tamaño de la Soldadura

Cálculo de la resistencia de una soldadura de filete de 1.00 pulg de tamaño de 1.00 pulg de largo:

Resistencia de electrodos a usar: 70000 lb/pulg<sup>2</sup>  
 $\phi = 0.75$  (para fuerza cortante actuando sobre la soldadura)

$$R_{sf} = \phi (0.60) (F_{exx}) (l) (0.707t) = 31500 \text{ lb/pulg}$$

Cálculo del tamaño de soldadura requerido:

$$t_{sf} = \frac{C=T}{l (R_{sf})} = \frac{407681}{28.75 \times 31500} = 0.45 \text{ pulg}$$

Por lo tanto,  $t_{sf} = 1/2 \text{ pulg}$

**6.2.18.2 Verificación del Tamaño y Longitud de Soldadura a Usar**

Verificación de tamaño mínimo de soldadura:

Esesor de patín de columna=	<input type="text" value="0.94"/>	pulg	→	Esesor de placa base=	<input type="text" value="2"/>	pulg
Esesor menor de las partes (ec)=	<input type="text" value="0.94"/>	pulg		Es $ec \leq 1/4$ pulg?	<input "="" type="text" value="tsf mín="/>	<input type="text" value="Checar otros rangos"/>
			Es $1/4 < ec \leq 1/2$ ?	<input "="" type="text" value="tsf mín="/>	<input type="text" value="Checar otros rangos"/>	
			Es $1/2 < ec \leq 3/4$ ?	<input "="" type="text" value="tsf mín="/>	<input type="text" value="Checar otros rangos"/>	
			Es $ec > 3/4$ ?	<input "="" type="text" value="tsf mín="/>	<input type="text" value="5/16"/>	

Por lo tanto, el tamaño mínimo de soldadura es:  pulg vrs tsf=  pulg

Conclusión:

Verificación de tamaño máximo de soldadura:

ec=	<input type="text" value="0.94"/>	pulg	Es $< \text{ó} \geq 1/4$ pulg?	Por lo tanto, el tamaño máximo de soldadura es:		
				<input type="text" value="0.88"/>	pulg	
tsf máx=	<input type="text" value="0.88"/>	pulg	vrs.	tsf=	<input type="text" value="1/2"/>	pulg

Conclusión:

Verificación de longitud efectiva mínima de soldadura:

$l_{\text{mín}} \geq 4 (tsf)$  →  $4 (tsf) =$   pulg vrs.  $l =$   pulg

Conclusión:

Verificación de relación tamaño-longitud:

$1/4 (l) \geq tsf$  →  $tsf =$   pulg vrs.  $1/4 (l) =$   pulg

Conclusión:

Por lo tanto, usar soldadura de filete a base de electrodos  de tamaño igual a:  pulg, con una longitud igual a:  pulg, en cada patín de la columna.

## 6.2.19 Diseño Final del Sistema de Anclajes

Acero de barras de anclaje a usar:	ASTM F1554 Gr 36
Tipo de barra de anclaje a usar:	barra preinstalada con cabeza
Tamaño de barra a usar:	1 1/8 pulg
Area de barra a usar:	0.994 pulg <sup>2</sup>
Profundidad efectiva de embebido hef:	13 pulg
Número total de barras a usar:	12 barras
Número de barras a cada lado de la columna:	6 barras
Barras en tensión distribuidas en:	2 líneas de gramil
Barras en tensión por línea de gramil:	3 barras / gramil
Ancho de placa base:	18.00 pulg
Largo de placa base:	37.00 pulg
Espesor de placa base:	2 pulg
Necesidad de una conexión de botas en la base de la columna?:	si
Tipo de canal a usar para la conexión:	12 x 50 pulg
Tamaño de soldadura en la unión canal-patín de columna:	5/16 pulg
Atiesador a utilizar dentro del canal:	7/8 X 3 3/10 pulg
Número de atiesadores a instalar:	4 atiesadores
Tamaño de soldadura en la unión atiesadores-alma del canal:	5/16 pulg
Tamaño de soldadura en la unión columna-placa base:	1/2 pulg

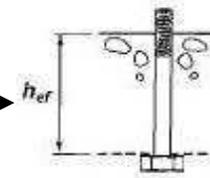


Figura 42. Tipo de Barra a Usar [ 1 ]

### 6.3 Solución del Sistema de Anclaje de una Chimenea Industrial por Medio del Método Conservador de Brownell & Young <sup>[15]</sup>

#### 6.3.1 Datos

- l. Carga muerta de la chimenea ( $W_{dw}$ ): **428,571 lb ( 194,805 kg)**
- m. Momento ocasionado por la acción del viento ( $M_{viento}$ ):  
**5,714,286 lb-pie (68,571,432 lb-pulg= 791,688 kg-m)**
- n. Dimensiones de la chimenea:  
  - Diámetro de la chimenea ( $D$ )= **10 pies (120 pulg)**
  - Altura de la chimenea= **150 pies (1,800 pulg)**
- o. Dimensiones de la placa base:  
  - Diámetro interior ( $D_{i\ placa}$ )= **9 pies, 8 pulg (116 pulg)**
  - Diámetro exterior ( $D_{e\ placa}$ )= **11 pies, 8 pulg (140 pulg)**
- p. Círculo de barras de anclaje:  
  - Diámetro del círculo de barras ( $d$ )= **11 pies (132 pulg)**
  - Tamaño de las barras de anclaje a usar= **2.00 pulg**
  - Area de las barras de anclaje a usar= **3.142 pulg<sup>2</sup>**
  - Número de barras de anclaje a usar= **24 barras de anclaje**
- q. La chimenea se encontrará apoyada sobre una cimentación de concreto, la cual posee una resistencia última a la compresión ( $f'_c$ ) igual a:  
**3,000 lb/pulg<sup>2</sup> (211 kg/cm<sup>2</sup>)**
- r. Esfuerzo permisible del acero a utilizar para el diseño del anclaje ( $f_s\ permi$ ):  
**20,000 lb/pulg<sup>2</sup> (1,409 kg/cm<sup>2</sup>)**

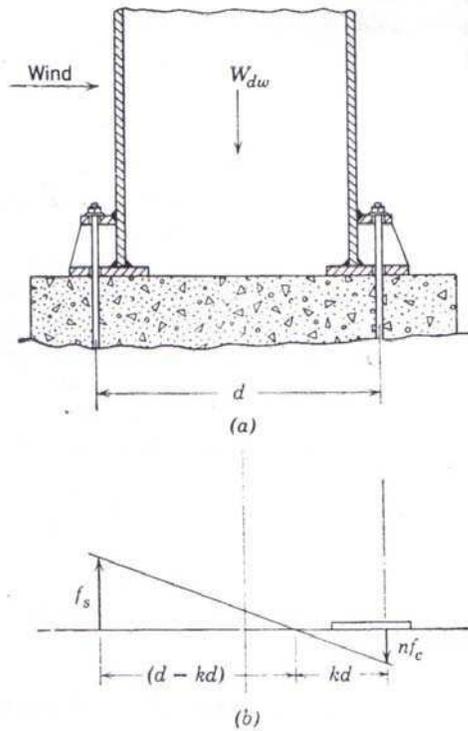


Figura 65. Comportamiento de las Barras de Anclaje Ante la Acción de las Cargas Actuantes [15]

### 6.3.2 Cálculo de la Relación Modular “n” y “f<sub>c máx</sub>”

$$n = E_s / E_c = 10 \quad (\text{según la Tabla V})$$

$$f_{c \text{ máx}} = 1,200 \text{ lb/pulg}^2 \quad (\text{según la Tabla V})$$

Tabla V

Valores Promedio Referentes a Propiedades de  
Diferentes Tipos de Concreto <sup>[15]</sup>

Water Content U.S. Gallons per 94-lb Sack of Cement	$f'_c$ 28-day Ultimate Compressive Strength, psi	$n$ $\frac{30 \times 10^6}{E_c}$	$f_c$ Allowable Compressive Strength, psi
7½	2000	15	800
6¾	2500	12	1000
6	3000	10	1200
5	3750	8	1400

### 6.3.3 Cálculo del Ancho de la Placa Base ( $t_{\text{propuesto}}$ ó $t_3$ )

$$t_{\text{propuesto}} (t_3) = (D_{e \text{ placa}} - D_{i \text{ placa}}) / 2$$

$$t_{\text{propuesto}} (t_3) = (140 - 116) / 2 = 12 \text{ pulg}$$

### 6.3.4 Primera Estimación del Valor de “k”

#### 6.3.4.1 Estimación del Esfuerzo de Compresión en el Círculo de Barras ( $f_{c \text{ aprox. barras}}$ )

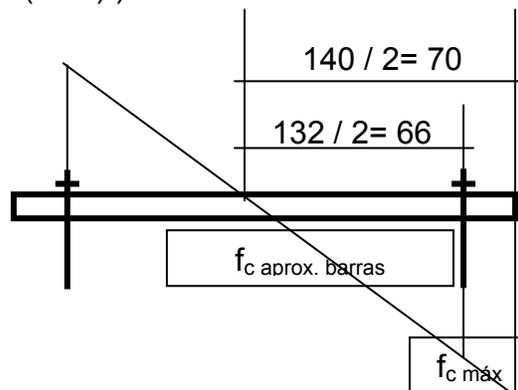
$$(f_{c \text{ máx}} / (D_{e \text{ placa}} / 2)) = (f_{c \text{ aprox. barras}} / (d / 2))$$

$$(1,200 / 70) = (f_{c \text{ aprox. barras}} / 66)$$

$$f_{c \text{ aprox. barras}} = (1,200 * 66) / 70$$

$$f_{c \text{ aprox. barras}} = 1,131.43 \text{ lb/pulg}^2$$

Se asumirá que  $f_{c \text{ aprox. barras}}$  es igual a: **1,000 lb/pulg<sup>2</sup>**



### 6.3.4.2 Cálculo de la Primera Estimación del Valor de “k”

$$k_{\text{aprox}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c)))$$

$$k_{\text{aprox}} = 1 / (1 + (f_s \text{ permi} / (n * f_c \text{ aprox. barras})))$$

$$k_{\text{aprox}} = 1 / (1 + (20,000 / (10 * 1,000))) = \mathbf{0.333}$$

### 6.3.4.3 Cálculo del Esfuerzo de Compresión en el Círculo de Barras

**( $f_c$  círculo barras)**

$$f_c \text{ máx} = f_c \text{ círculo barras} \left( \frac{(2 * k * d) + t_3}{2 * k * d} \right)$$

$$f_c \text{ círculo barras} = f_c \text{ máx} \left( \frac{2 * k * d}{(2 * k * d) + t_3} \right)$$

$$f_c \text{ círculo barras} = 1,200 \left( \frac{2 * 0.333 * 132}{(2 * 0.333 * 132) + 12} \right)$$

$$\mathbf{f_c \text{ círculo barras} = 1,056 \text{ lb/pulg}^2}$$

### 6.3.4.4 Cálculo de los Esfuerzos Inducidos

#### 6.3.4.4.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de “ $k_{aprox}$ ”

Tabla VI

Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ , Como Funciones de “ $k$ ” [15]

$k$	$C_c$	$C_t$	$z$	$j$
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{k} \quad \mathbf{C}_c \quad \frac{1.640 - 1.510}{0.350 - 0.300} = \frac{x - 1.510}{0.333 - 0.300} \\
 0.300 \rightarrow 1.510 \\
 0.333 \rightarrow x \\
 0.350 \rightarrow 1.640 \quad x = C_c = ((0.13 * 0.033) / 0.05) + 1.510 = \mathbf{1.596} \\
 \mathbf{k} \quad \mathbf{C}_t \quad \frac{2.442 - 2.333}{0.350 - 0.300} = \frac{x_1 - 2.333}{0.333 - 0.300} \\
 0.300 \rightarrow 2.442 \\
 0.333 \rightarrow x_1 \\
 0.350 \rightarrow 2.333 \quad x_1 = C_t = ((0.109 * 0.017) / 0.05) + 2.333 = \mathbf{2.370} \\
 \\
 \mathbf{k} \quad \mathbf{z} \quad \frac{0.438 - 0.427}{0.350 - 0.300} = \frac{x_2 - 0.427}{0.350 - 0.333} \\
 0.300 \rightarrow 0.438 \\
 0.333 \rightarrow x_2 \\
 0.350 \rightarrow 0.427 \quad x_2 = z = ((0.011 * 0.017) / 0.05) + 0.427 = \mathbf{0.431} \\
 \\
 \mathbf{k} \quad \mathbf{j} \quad \frac{0.783 - 0.781}{0.350 - 0.300} = \frac{x_3 - 0.781}{0.333 - 0.300} \\
 0.300 \rightarrow 0.781 \\
 0.333 \rightarrow x_3 \\
 0.350 \rightarrow 0.783 \quad x_3 = j = ((0.002 * 0.033) / 0.05) + 0.781 = \mathbf{0.782}
 \end{array}$$

### 6.3.4.4.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida ( $F_t$ )

$$F_t = (M_{\text{viento}} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d)$$

$$F_t = (68,571,432 - (428,571 * 0.431 * 132)) / (0.782 * 132) = 428,090 \text{ lb}$$

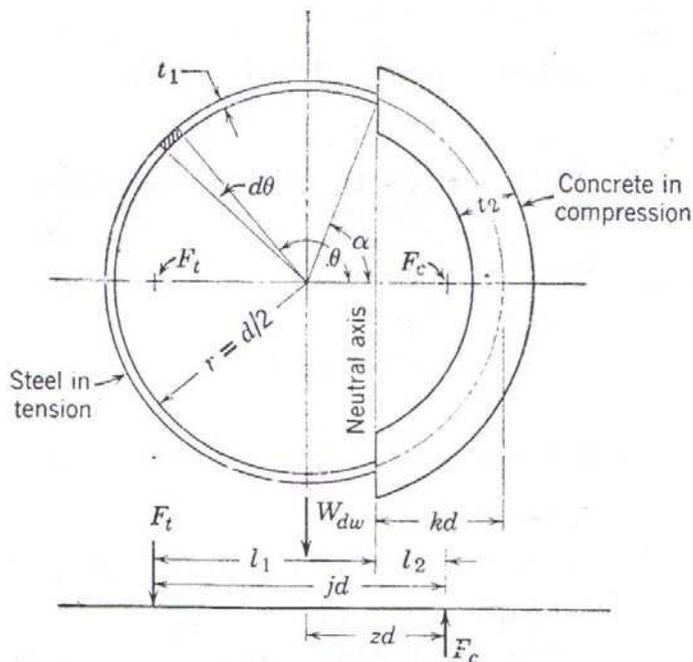


Figura 66. Distribución de Fuerzas Inducidas y Areas de Acero y Concreto <sup>[15]</sup>

### 6.3.4.4.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero ( $f_s$ )

$$A = \pi d t_1$$

$$t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{\text{barra a usar}}) / (\pi * d) = (24 * 3.142) / (\pi * 132)$$

$$t_1 = 0.18 \text{ pulg}$$

$$F_t = f_s t_1 r C_t$$

$$f_s = F_t / (t_1 * r * C_t) = F_t / (t_1 * (d / 2) * C_t)$$

$$f_s = 428,090 / (0.18 * (132 / 2) * 2.370)$$

$$f_s = 15,204 \text{ lb/pulg}^2 \leq f_{s \text{ permi}} = 20,000 \text{ lb/pulg}^2 \text{ O.K.}$$

#### 6.3.4.4.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida ( $F_c$ )

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0$$

$$F_c = F_t + W_{dw} = 428,090 + 428,571 = \mathbf{856,661 \text{ lb}}$$

#### 6.3.4.4.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto ( $f_c$ )

$$t_2 = t_3 - t_1 = t_{\text{propuesto}} - t_1 = 12 - 0.18 = \mathbf{11.82 \text{ pulg}}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) r f_c C_c$$

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) r * C_c) = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) (d / 2) * C_c)$$

$$f_c = 856,661 / ((11.82 + (10 * 0.18)) * (132 / 2) * 1.596)$$

$$\mathbf{f_c = 597 \text{ lb/pulg}^2} \quad \leq \mathbf{f_{c \text{ máx}} = 1,200 \text{ lb/pulg}^2} \quad \mathbf{O.K.}$$

### 6.3.5 Segunda Estimación del Valor de “k”

$$k_{2 \text{ aprox.}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 1 / (1 + (15,204 / (10 * 597))) = \mathbf{0.282}$$

#### 6.3.5.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de “k<sub>2 aprox.</sub>”

##### 6.3.5.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de “k<sub>2 aprox.</sub>”

Tabla VI

Valores Para las Constantes C<sub>t</sub>, C<sub>c</sub>, z y j, Como Funciones de “k” [15]

k	C <sub>c</sub>	C <sub>t</sub>	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \mathbf{C}_c \\ 0.250 \rightarrow 1.370 \\ 0.282 \rightarrow x \\ 0.300 \rightarrow 1.510 \end{array} \quad \frac{1.510 - 1.370}{0.300 - 0.250} = \frac{x - 1.370}{0.282 - 0.250}$$

$$x = C_c = ((0.14 * 0.032) / 0.05) + 1.370 = \mathbf{1.459}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \mathbf{C}_t \\ 0.250 \rightarrow 2.551 \\ 0.282 \rightarrow x_1 \\ 0.300 \rightarrow 2.442 \end{array} \quad \frac{2.551 - 2.442}{0.300 - 0.250} = \frac{x_1 - 2.442}{0.300 - 0.282}$$

$$x_1 = C_t = ((0.109 * 0.018) / 0.05) + 2.442 = \mathbf{2.481}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \mathbf{z} \\ 0.250 \rightarrow 0.448 \\ 0.282 \rightarrow x_2 \\ 0.300 \rightarrow 0.438 \end{array} \quad \frac{0.448 - 0.438}{0.300 - 0.250} = \frac{x_2 - 0.438}{0.300 - 0.282}$$

$$x_2 = z = ((0.01 * 0.018) / 0.05) + 0.438 = \mathbf{0.442}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \rightarrow \quad \mathbf{j} \quad \frac{0.781 - 0.779}{0.300 - 0.250} = \frac{x_3 - 0.779}{0.282 - 0.250} \\ 0.250 \rightarrow 0.779 \\ 0.282 \rightarrow x_3 \\ 0.300 \rightarrow 0.781 \end{array} \quad x_3 = j = ((0.002 * 0.032) / 0.05) + 0.779 = \mathbf{0.780}$$

#### 6.3.5.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida ( $F_t$ )

$$F_t = (M_{\text{viento}} - (W_{\text{dw}} * z * d)) / (j * d)$$

$$F_t = (68,571,432 - (428,571 * 0.442 * 132)) / (0.780 * 132) = \mathbf{423,144 \text{ lb}}$$

#### 6.3.5.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero ( $f_s$ )

$$F_t = f_s t_1 r C_t$$

$$f_s = F_t / (t_1 * r * C_t) = F_t / (t_1 * (d / 2) * C_t)$$

$$f_s = 423,144 / (0.18 * (132 / 2) * 2.481)$$

$$f_s = \mathbf{14,356 \text{ lb/pulg}^2} \leq f_{s \text{ permi}} = \mathbf{20,000 \text{ lb/pulg}^2} \text{ O.K.}$$

#### 6.3.5.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida ( $F_c$ )

$$F_t + W_{\text{dw}} - F_c = 0$$

$$F_c = F_t + W_{\text{dw}} = 423,144 + 428,571 = \mathbf{851,715 \text{ lb}}$$

#### 6.3.5.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto ( $f_c$ )

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) r f_c C_c$$

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) r * C_c) = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) (d / 2) * C_c)$$

$$f_c = 851,715 / ((11.82 + (10 * 0.18)) * (132 / 2) * 1.459)$$

$$f_c = \mathbf{649 \text{ lb/pulg}^2} \leq f_{c \text{ máx}} = \mathbf{1,200 \text{ lb/pulg}^2} \text{ O.K.}$$

### 6.3.6 Tercera Estimación del Valor de “k”

$$k_{3 \text{ aprox.}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 1 / (1 + (14,356 / (10 * 649))) = \mathbf{0.311}$$

#### 6.3.6.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de “k<sub>3 aprox.</sub>”

##### 6.3.6.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de “k<sub>3 aprox.</sub>”

Tabla VI

Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ , Como Funciones de “k” [15]

$k$	$C_c$	$C_t$	$z$	$j$
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \mathbf{C}_c \\ 0.300 \rightarrow 1.510 \\ 0.311 \rightarrow x \\ 0.350 \rightarrow 1.640 \end{array} \quad \frac{1.640 - 1.510}{0.350 - 0.300} = \frac{x - 1.510}{0.311 - 0.300}$$

$$x = C_c = ((0.13 * 0.011) / 0.05) + 1.510 = \mathbf{1.539}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \mathbf{C}_t \\ 0.300 \rightarrow 2.442 \\ 0.311 \rightarrow x_1 \\ 0.350 \rightarrow 2.333 \end{array} \quad \frac{2.442 - 2.333}{0.350 - 0.300} = \frac{x_1 - 2.333}{0.350 - 0.311}$$

$$x_1 = C_t = ((0.109 * 0.039) / 0.05) + 2.333 = \mathbf{2.418}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \quad \mathbf{z} \\ 0.300 \rightarrow 0.438 \\ 0.311 \rightarrow x_2 \\ 0.350 \rightarrow 0.427 \end{array} \quad \frac{0.438 - 0.427}{0.350 - 0.300} = \frac{x_2 - 0.427}{0.350 - 0.311}$$

$$x_2 = z = ((0.011 * 0.039) / 0.05) + 0.427 = \mathbf{0.436}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{k} \rightarrow \mathbf{j} \quad \frac{0.783 - 0.781}{0.350 - 0.300} = \frac{x_3 - 0.781}{0.311 - 0.300} \\ 0.300 \rightarrow 0.781 \\ 0.311 \rightarrow x_3 \\ 0.350 \rightarrow 0.783 \quad x_3 = j = ((0.002 * 0.011) / 0.05) + 0.781 = \mathbf{0.781} \end{array}$$

#### 6.3.6.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida ( $F_t$ )

$$F_t = (M_{\text{viento}} - (W_{\text{dw}} * z * d)) / (j * d)$$

$$F_t = (68,571,432 - (428,571 * 0.436 * 132)) / (0.781 * 132) = \mathbf{425,894 \text{ lb}}$$

#### 6.3.6.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero ( $f_s$ )

$$F_t = f_s t_1 r C_t$$

$$f_s = F_t / (t_1 * r * C_t) = F_t / (t_1 * (d / 2) * C_t)$$

$$f_s = 425,894 / (0.18 * (132 / 2) * 2.418)$$

$$\mathbf{f_s = 14,826 \text{ lb/pulg}^2} \leq \mathbf{f_{s \text{ permi}} = 20,000 \text{ lb/pulg}^2} \quad \mathbf{O.K.}$$

#### 6.3.6.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida ( $F_c$ )

$$F_t + W_{\text{dw}} - F_c = 0$$

$$F_c = F_t + W_{\text{dw}} = 425,894 + 428,571 = \mathbf{854,465 \text{ lb}}$$

#### 6.3.6.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto ( $f_c$ )

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) r f_c C_c$$

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) r * C_c) = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) (d / 2) * C_c)$$

$$f_c = 854,465 / ((11.82 + (10 * 0.18)) * (132 / 2) * 1.539)$$

$$\mathbf{f_c = 618 \text{ lb/pulg}^2} \leq \mathbf{f_{c \text{ máx}} = 1,200 \text{ lb/pulg}^2} \quad \mathbf{O.K.}$$

### 6.3.7 Cuarta Estimación del Valor de “k”

$$k_{4 \text{ aprox.}} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 1 / (1 + (14,826 / (10 * 618))) = \mathbf{0.294}$$

En base a la convergencia observada de todos los posibles valores calculados para “k”, se puede concluir con un buen grado de certeza, que:

$$k \approx \mathbf{0.30} \quad \text{y que por lo tanto: } f_s = \mathbf{14,826 \text{ lb/pulg}^2}$$

$$f_c = \mathbf{618 \text{ lb/pulg}^2}$$

### 6.3.8 Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en las Barras de Anclaje ( $f_{s \text{ comp.}}$ )

$$f_{s \text{ comp.}} = n * f_c = 10 * 618$$

$$f_{s \text{ comp.}} = \mathbf{6,180 \text{ lb/pulg}^2} \leq f_{s \text{ permi}} = \mathbf{20,000 \text{ lb/pulg}^2} \quad \text{O.K.}$$

### 6.3.9 Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en el Concreto ( $f_c \text{ máx inducido}$ )

$$f_c \text{ máx inducido} = f_c \text{ círculo pernos } (((2 * k * d) + t_3) / 2 * k * d)$$

$$f_c \text{ máx inducido} = f_c (((2 * k * d) + t_3) / 2 * k * d)$$

$$f_c \text{ máx inducido} = 618 * (((2 * 0.30 * 132) + 12) / (2 * 0.30 * 132))$$

$$f_c \text{ máx inducido} = \mathbf{712 \text{ lb/pulg}^2} \leq f_c \text{ máx} = \mathbf{1,200 \text{ lb/pulg}^2} \quad \text{O.K.}$$

### 6.3.10 Cálculo del Espesor de la Placa Base

#### 6.3.10.1 Cálculo del Espesor de la Placa Base Considerando la no Presencia de Atiesadores

$$l = (D_{e \text{ placa}} - D_{\text{chimenea}}) / 2 = (140 - 120) / 2 = \mathbf{10 \text{ pulg}}$$

$$t_4 = l * \sqrt{(3 * f_c) / f_{s \text{ permi}}} = l * \sqrt{(3 * f_{c \text{ máx inducido}}) / f_{s \text{ permi}}}$$

$$t_4 = 10 * \sqrt{(3 * 712) / 20,000} = \mathbf{3.27 \text{ pulg}}$$

**Conclusión:** el espesor de la placa base es muy grande, y por lo tanto, se recalculará considerando el uso de atiesadores.

#### 6.3.10.2 Cálculo del Espesor de la Placa Base Considerando la Presencia de Atiesadores

Se considera que los atiesadores a colocar, se fijarán de tal forma que queden espaciados de manera uniforme y ubicados entre las barras de anclaje.

Número de atiesadores a considerar ( $N_{\text{atiesa}}$ ): **24**

Espaciamiento entre atiesadores ( $b$ ) =  $(2 * \pi * r) / N_{\text{atiesa}}$

$$b = (d * \pi) / N_{\text{atiesa}} = (132 * \pi) / 24 = \mathbf{17.28 \text{ pulg}}$$

$$l / b = 10 / 17.28 = \mathbf{0.58}$$

$l / b$	<b>Coficiente (My)</b>	$\frac{0.319 - 0.227}{2/3 - 1/2} = \frac{x - 0.227}{2/3 - 0.58}$
$1/2 \rightarrow$	0.319	
$0.58 \rightarrow$	x	
$2/3 \rightarrow$	0.227	$x = ((0.092 * 0.087) / 1/6) + 0.227 = \mathbf{0.275}$

Tabla VII

Momentos Flexionantes Máximos en una Placa Base con Atiesadores [15]

$l/b$	$M_x \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$	$M_y \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$
0	0	$-0.500f_c l^2$
$\frac{1}{3}$	$0.0078f_c b^2$	$-0.428f_c l^2$
$\frac{1}{2}$	$0.0293f_c b^2$	$-0.319f_c l^2$
$\frac{2}{3}$	$0.0558f_c b^2$	$-0.227f_c l^2$
1	$0.0972f_c b^2$	$-0.119f_c l^2$
$\frac{3}{2}$	$0.123f_c b^2$	$-0.124f_c l^2$
2	$0.131f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
3	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
$\infty$	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$

$b$  = gusset spacing ( $x$  direction) inches.  
 $l$  = bearing-plate outside radius minus skirt outside radius ( $y$  direction) inches.

Por lo tanto:  $M_{\text{máx}} = -0.275 * f_c * l^2 = (-0.275) * 712 * (10)^2 = -19,580 \text{ lb-pulg}$

$$t_4 = \sqrt{(6 * M_{\text{máx}}) / f_{s \text{ permi}}} = \sqrt{(6 * 19,580) / 20,000} = 2.42 \text{ pulg}$$

**Conclusión: el espesor de la placa base sigue siendo muy grande, por lo que se recalculará considerando el uso de más atiesadores.**

### 6.3.10.3 Cálculo del Espesor de la Placa Base Considerando la Presencia de Atiesadores

Se considera que los atiesadores a colocar, se fijarán de tal forma que queden espaciados de manera uniforme y ubicados entre las barras de anclaje.

Número de atiesadores a considerar ( $N_{\text{atiesa}}$ ): **48**

$$\text{Espaciamiento entre atiesadores } (b) = (2 * \pi * r) / N_{\text{atiesa}}$$

$$b = (d * \pi) / N_{\text{atiesa}} = (132 * \pi) / 48 = \mathbf{8.64 \text{ pulg}}$$

$$l / b = 10 / 8.64 = \mathbf{1.16}$$

$l / b$	<b>Coefficiente (My)</b>	$\frac{0.124 - 0.119}{3/2 - 1} = \frac{x - 0.119}{1.16 - 1}$
1 →	0.119	
1.16 →	x	
3/2 →	0.124	$x = ((0.005 * 0.16) / \frac{1}{2}) + 0.119 = \mathbf{0.121}$

Tabla VII

Momentos Flexionantes Máximos en una  
Placa Base con Atiesadores [15]

$l/b$	$M_x \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$	$M_y \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$
0	0	$-0.500f_c l^2$
$\frac{1}{3}$	$0.0078f_c b^2$	$-0.428f_c l^2$
$\frac{1}{2}$	$0.0293f_c b^2$	$-0.319f_c l^2$
$\frac{2}{3}$	$0.0558f_c b^2$	$-0.227f_c l^2$
1	$0.0972f_c b^2$	$-0.119f_c l^2$
$\frac{3}{2}$	$0.123f_c b^2$	$-0.124f_c l^2$
2	$0.131f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
3	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
$\infty$	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$

$b$  = gusset spacing. ( $x$  direction) inches.

$l$  = bearing-plate outside radius minus skirt outside radius ( $y$  direction) inches.

Por lo tanto:  $M_{\text{máx}} = -0.121 * f_c * l^2 = (-0.121) * 712 (10)^2 = \mathbf{-8,615 \text{ lb-pulg}}$

$$t_4 = \sqrt{(6 * M_{\text{máx}}) / f_{s \text{ permi}}} = \sqrt{(6 * 8,615) / 20,000} = \mathbf{1.61 \text{ pulg}}$$

**Conclusión:** la placa base tendrá un espesor de 2.00 pulg y el número de atiesadores a utilizar es de 48.

### 6.3.11 Diseño Complementario de la Placa Base

#### 6.3.11.1 Determinación de la Forma de la Placa Base

Si la chimenea industrial no es muy alta y el espesor determinado de la placa base es menor o igual a  $\frac{1}{2}$  pulg, entonces se utilizará un ángulo rolado de acero a manera de placa base, el cual irá soldado al faldón de la chimenea industrial, como se muestra en la siguiente figura:

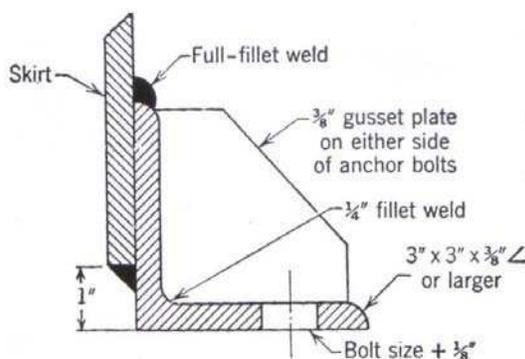


Figura 67. Placa Base en Forma de Angulo Rolado de Acero [15]

Cabe señalar que si el ancho de la placa base es menor o igual a 5 pulg y el espesor determinado de la misma es menor o igual a  $\frac{1}{2}$  pulg, entonces la solución consistente en el uso de un ángulo rolado de acero como placa base, se deberá de implementar también para este caso.

Si el espesor determinado de la placa base es mayor a  $\frac{1}{2}$  pulg pero menor a  $\frac{3}{4}$  pulg, entonces se utilizará una viga-anillo sencilla a manera de placa base, tal y como se muestra en la siguiente figura:

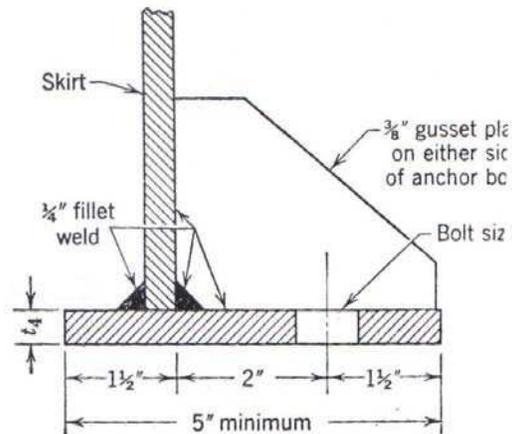


Figura 68. Placa Base en Forma de Viga-Anillo [15]

Si el espesor determinado de la placa base es igual o mayor a  $\frac{3}{4}$  pulg, entonces se utilizarán asientos centrados para barras de anclaje a manera de placa base, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Espesor de la placa base= **2.00 pulg**

Espesor de placa base >  $\frac{3}{4}$  pulg

**Conclusión: se usarán como placa base los asientos centrados para barras de anclaje.**

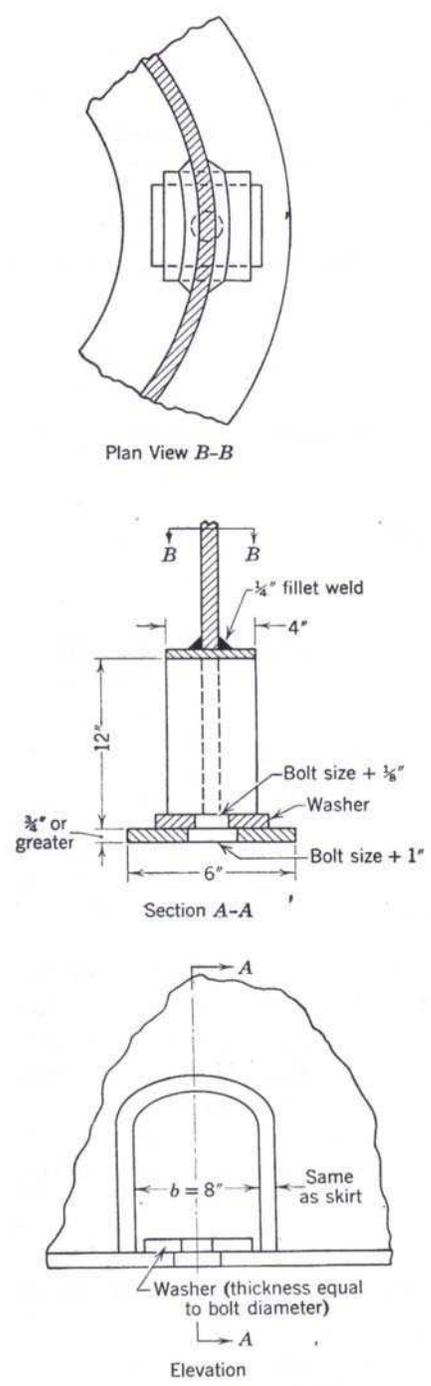


Figura 69. Placa Base en Forma de Asientos Centrados Para Barras de Anclaje [15]

### 6.3.11.2 Asientos Centrados Para Barras de Anclaje

#### 6.3.11.2.1 Cálculo del Número Requerido de Asientos Centrados

Tabla VIII

Número Máximo de Asientos Centrados que Pueden Utilizarse en el Faldón de una Chimenea Industrial Para Diversos Tamaños de Chimenea <sup>[15]</sup>

Skirt diameter, ft	No. of Chairs
3	4
4	8
5	8
6	12
7	16
8	16
9	20
10	24

Diámetro de la chimenea (D)= **10 pies**

**En base al diámetro dado de la chimenea y a la información brindada por la Tabla VIII, se concluye que el número máximo de asientos centrados que pueden usarse para la chimenea en estudio, es de: 24.**

## 6.4 Solución del Sistema de Anclaje de una Chimenea Industrial por Medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08

### 6.4.1. Datos

	(Cargas sin factorizar)	(Cargas factorizadas)	
a. Cargas actuantes sobre la chimenea:			
Carga muerta de la chimenea ( $W_{dw}$ ):	428571	600000	lb
Momento ocasionado por la acción del viento ( $M_{viento}$ ):	68571432	96000000	lb-pulg
b. Dimensiones de la chimenea:			
Diámetro de chimenea (D)=	120.00	10.00	pulg / pies
Altura de la chimenea (H)=	1800.00	150.00	pulg / pies
c. Tipo de concreto de la cimentación:	concreto de densidad normal		
d. Las chimenea se encontrará apoyada sobre una cimentación de concreto, la cual posee una resistencia última a la compresión ( $f'_c$ ) igual a:	3000 lb/pulg <sup>2</sup>		
e. Tipo de acero a usar para la placa base:	A-36		
Esfuerzo mínimo de fluencia ( $F_y$ )=	36000		lb/pulg <sup>2</sup>
Resistencia mínima especificada a la tensión ( $F_u$ )=	58000		lb/pulg <sup>2</sup>
Esfuerzo permisible del acero ( $0.6F_y$ ):	21600		lb/pulg <sup>2</sup>
f. Tipo de acero a usar para las barras de anclaje:	F1554 Gr 36		
Esfuerzo mínimo de fluencia ( $F_y$ )=	36000		lb/pulg <sup>2</sup>
Resistencia mínima especificada a la tensión ( $F_u$ )=	58000		lb/pulg <sup>2</sup>
Esfuerzo permisible del acero ( $0.6F_y$ ):	21600		lb/pulg <sup>2</sup>

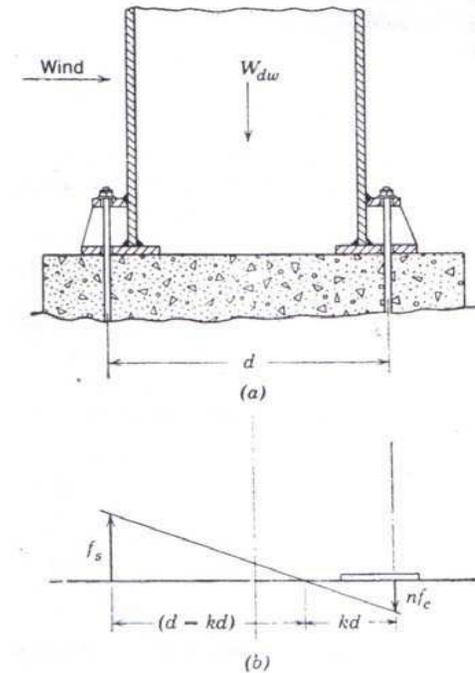


Figura 65. Comportamiento de las Barras de Anclaje Ante la Acción de las Cargas Actuantes [ 15 ]

**\* Nota:** todas las casillas marcadas con color naranja, corresponden a los datos que se deberán de ir ingresando a lo largo del método

### 6.4.2. Cálculo de Dimensiones de la Placa Base y Círculo de Barras de Anclaje

Diámetro interior de placa base (Dint. placa base)=	D - 4 pulg=	116.00	pulg
Diámetro exterior de placa base (Dext. placa base)=	Dint. placa base + 24 pulg=	140.00	pulg
Diámetro de círculo de barras de anclaje (d)=	D + 12 pulg=	132.00	pulg

### 6.4.3. Cálculo de la Excentricidad de la Carga "Wdw"

$$e = \frac{M_{viento}}{W_{dw}} = \frac{96000000}{600000} = \boxed{160.00} \text{ pulg}$$

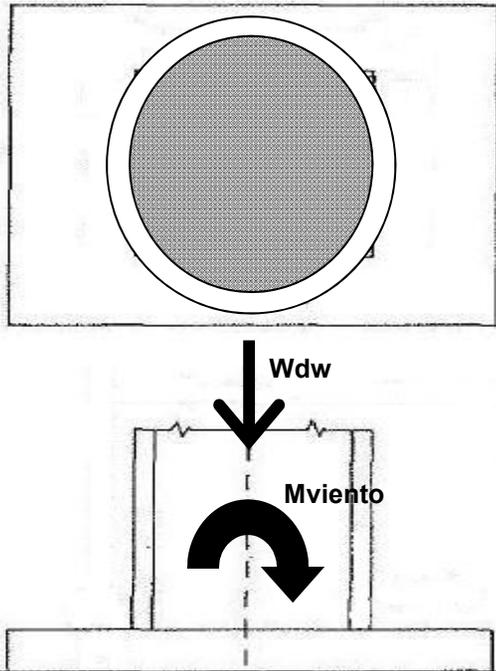


Figura 70. Cargas Actuantes Sobre la Chimenea

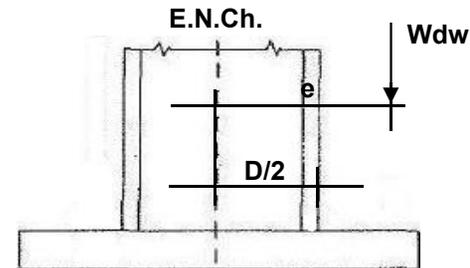


Figura 71. Representación de la Carga Excéntrica Wdw

### 6.4.4. Dimensionamiento de las Barras de Anclaje y Distribución Espacial

#### 6.4.4.1 Cálculo de la Fuerza de Tensión Actante (Tact)

El análisis que se realiza a continuación para el cálculo de la fuerza de tensión actuante "Tact" y el dimensionamiento de las barras de anclaje, se ha hecho en base a una analogía con el procedimiento realizado para el dimensionamiento de las barras de anclaje para la columna de un edificio. Para ello, se ha supuesto que el área ocupada por la chimenea industrial, es una zona dividida en 4 cuadrantes, en la cual, 2 de ellos son usados para el análisis en cuestión, considerándolos como si fuesen el perfil de acero de una columna de un edificio, esto como una forma alternativa para poder determinar el área mínima requerida a considerar para las barras de anclaje a proponer.

Después de haberse encontrado el número requerido de barras de anclaje para el cuadrante en análisis, dicho número de barras corresponderá asimismo al número de barras de anclaje a asignarle a cada uno de los otros 3 cuadrantes.

Finalmente, el número mínimo total de barras de anclaje a considerar o proponer para la chimenea en estudio, se obtendrá de la sumatoria de todos las barras encontradas para todos los 4 cuadrantes.

Cálculo de la fuerza de tensión "Tact":

$$\Sigma M_a = 0$$

$$Wdw (e - (D/2)) - Tact (D + (e - (D/2))) = 0$$

$$Tact = 272727 \text{ lb}$$

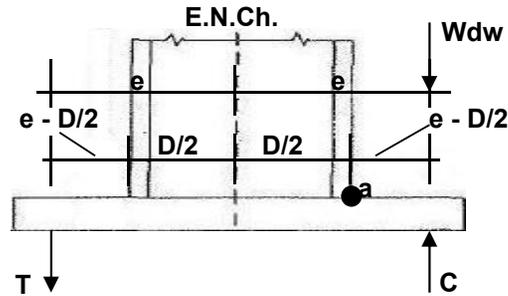


Figura 72. Fuerzas Resistentes Originadas por la Acción de la Carga Excéntrica Wdw

#### 6.4.4.2 Cálculo del Dimensionamiento de las Barras de Anclaje

$$\text{Fuerza de tensión (Tact)} = 272727 \text{ lb}$$

$$\phi = 0.75$$

$$\text{Resistencia nominal a la tensión (Fnt)} = 0.75 (Fu) = 43500 \text{ lb/pulg}^2$$

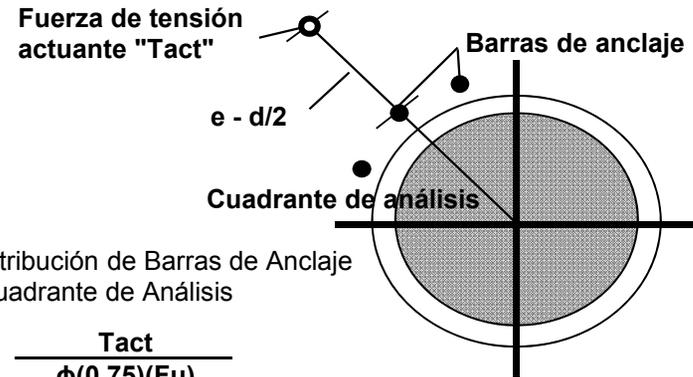


Figura 73. Distribución de Barras de Anclaje y Cuadrante de Análisis

$$\begin{aligned} \text{Área requerida para barras de anclaje} &= \frac{Tact}{\phi (Fnt)} = \frac{Tact}{\phi (0.75)(Fu)} \\ &= \frac{272727}{0.75 \times 0.75 \times 58000} \end{aligned}$$

$$\text{Área requerida para barras de anclaje} = 8.36 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Diámetro de barra a usar} = 2 \text{ pulg}$$

$$\text{Área de barra a usar} = 3.142 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Número de barras de anclaje} = \frac{\text{Área requerida para barras de anclaje}}{\text{Área de barra}} = \frac{8.36}{3.142}$$

$$\text{Número de barras de anclaje} = 4$$

Por lo tanto, usar como mínimo: 20 barras de 2 pulg a lo largo de toda la circunferencia de la chimenea

<b>Resumiendo:</b>	Tamaño de barra a usar:	<b>2</b> pulg	Número total de barras a usar:	<b>20</b> barras
	Area de barra a usar:	<b>3.142</b> pulg <sup>2</sup>	Distribución total de barras en:	<b>2</b> círculos
	Dint. placa base:	<b>116.00</b> pulg	Número de barras por círculo:	<b>10</b> $\frac{\text{barras}}{\text{círculo}}$
	Dext. placa base:	<b>176.00</b> pulg	Diámetro de círculo de barras de anclaje al centroide del grupo (d):	<b>150.00</b> pulg
			Diámetro del primer círculo de barras de anclaje (d1):	<b>132.00</b> pulg
			Diámetro del segundo círculo de barras de anclaje (d2):	<b>168.00</b> pulg

\* **Recomendación:** para tener una distribución simétrica de las barras de anclaje alrededor de la chimenea, se debe procurar que el número total de barras de anclaje a usar o instalar, sea múltiplo de 4.

**6.4.4.3 Cálculo de la Resistencia a la Tensión de las Barras de Anclaje (T)**

Área de barras de anclaje= (número de barras) (Área de barra)

Área de barras de anclaje= 5 × 3.142 = **15.71** pulg<sup>2</sup>

T= (Área de barras de anclaje) φ (0.75) (Fu)

T= **512472** lb vs. Tact= **272727** lb

**Conclusión:** **Revisión aprobada**

**6.4.4.4 Revisión del Espaciamento Mínimo Entre Barras de Anclaje**

Espaciamento aproximado entre barras=  $((\pi) (d)) / N =$  23.56 pulg

Espaciamento aproximado entre barras= 23.56 pulg  $\geq$  Espaciamento mínimo especificado para la barra a usar= 4 1/4 pulg

Bolt Size <i>d</i>	Standard Thread		8-thread Series		Bolt Spacing*		Minimum Radial Distance <i>R</i>	Edge Distance <i>E</i>
	No. of Threads	Root Area	No. of Threads	Root Area	Minimum <i>B<sub>s</sub></i>	Pre-ferred		
1 1/2"	13	0.126	No. 8 thread series below 1"	0.551	1 1/4"	3"	1 3/16"	5/8"
3/8"	11	0.202			1 1/2"	3	1 5/16"	3/4"
3/4"	10	0.302			1 3/4"	3	1 1/8"	1 3/16"
7/8"	9	0.419			2 1/16"	3	1 1/4"	1 5/16"
1"	8	0.551			2 1/4"	3	1 3/8"	1 1/16"
1 1/8"	7	0.693	8	0.728	2 1/2"	3	1 1/2"	1 1/8"
1 1/4"	7	0.890	8	0.929	2 3/16"	3	1 3/4"	1 1/4"
1 3/8"	6	1.054	8	1.155	3 1/16"		1 7/8"	1 3/8"
1 1/2"	6	1.294	8	1.405	3 1/4"		2"	1 1/2"
1 5/8"	5 1/2	1.515	8	1.680	3 1/2"		2 1/8"	1 5/8"
1 3/4"	5	1.744	8	1.980	3 3/4"		2 1/4"	1 3/4"
1 7/8"	5	2.049	8	2.304	4"		2 3/8"	1 7/8"
2"	4 1/2	2.300	8	2.652	4 1/4"		2 1/2"	2"
2 1/4"	4 1/2	3.020	8	3.423	4 3/4"		2 3/4"	2 1/4"
2 1/2"	4	3.715	8	4.292	5 1/4"		3 1/16"	2 3/8"
2 3/4"	4	4.618	8	5.259	5 3/4"		3 3/8"	2 5/8"
3"	4	5.621	8	6.324	6 1/4"		3 5/8"	2 7/8"

\* *B<sub>s</sub>* = center-to-center distance between bolts, inches

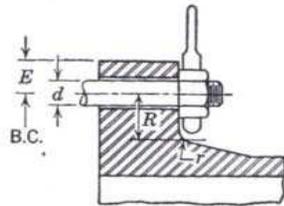
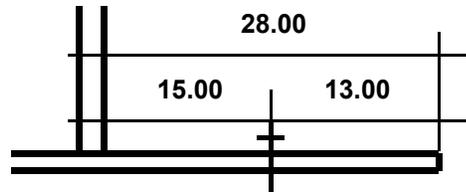


Tabla IX  
Espaciamentos y Distancias Mínimas al Borde de Placa Base Para Barras de Anclaje [ 15 ]

**Conclusión:** Revisión aprobada

**6.4.4.5 Revisión de la Distancia Mínima de las Barras de Anclaje al Borde de la Placa Base**



Distancia de barras al borde de la placa base= **13.00** pulg

Figura 74. Distancia de las Barras de Anclaje al Borde de la Placa Base

≥ Distancia mínima especificada para la barra a usar= **2** pulg

Conclusión: **Revisión aprobada**

**6.4.5 Determinación de la Relación Modular "n" y "fc máx"**

Usando la tabla adjunta y si  $f'_c =$  **3000** lb/pulg<sup>2</sup>, entonces:

$n = E_s / E_c =$  **10**

$f_c \text{ máx} = 0.85 * f'_c =$  **2550** lb/pulg<sup>2</sup>

Tabla V  
Valores Promedio Referentes a  
Propiedades de Diferentes  
Tipos de Concreto [ 15 ]

Water Content U.S. Gallons per 94-lb Sack of Cement	$f'_c$ 28-day Ultimate Compressive Strength, psi	$n$ $\frac{30 \times 10^6}{E_c}$	$f_c$ Allowable Compressive Strength, psi
7½	2000	15	800
6¾	2500	12	1000
6	3000	10	1200
5	3750	8	1400

**6.4.6 Cálculo del Ancho de la Placa Base (t3)**

$t_3 = (D_{ext. \text{ placa base}} - D_{int. \text{ placa base}}) / 2 =$  **30.00** pulg

### 6.4.7 Primera Estimación del Valor de "k"

#### 6.4.7.1 Estimación del Esfuerzo de Compresión en el Círculo de Barras (fc aprox. barras)

$$(fc \text{ máx} / (Dext. \text{ placa base} / 2)) = (fc \text{ aprox. barras} / (d / 2))$$

Basados en la anterior relación obtenemos que fc aprox. barras=

2173 lb/pulg2

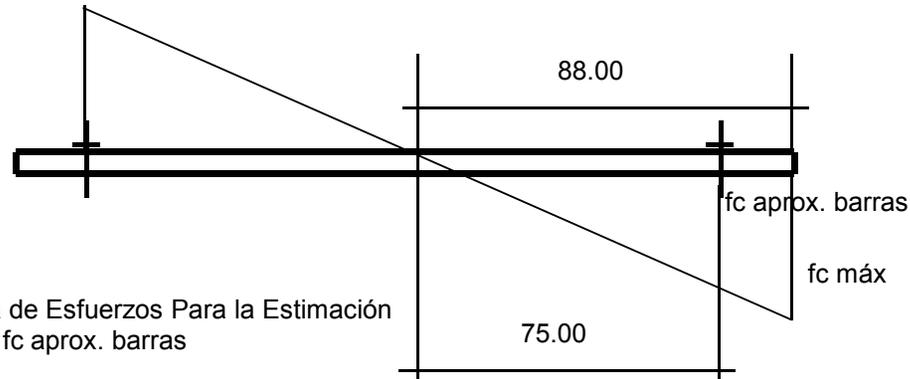


Figura 75. Diagrama de Esfuerzos Para la Estimación de fc aprox. barras

Por lo tanto, se asumirá que fc aprox. barras es aproximadamente igual a=

1000 lb/pulg2

#### 6.4.7.2 Cálculo de la Primera Estimación del Valor de "k"

$$k \text{ aprox} = 1 / (1 + (fs / (n * fc))) = 1 / (1 + (Fy / (n * fc \text{ aprox. barras}))) =$$

0.217

#### 6.4.7.3 Cálculo del Esfuerzo de Compresión en el Círculo de Barras de Anclaje (fc círculo barras)

$$fc \text{ máx} = fc \text{ círculo barras} \left( \frac{(2 * k * d) + t3}{2 * k * d} \right)$$

$$fc \text{ círculo barras} = fc \text{ máx} \left( \frac{2 * k * d}{(2 * k * d) + t3} \right) =$$

1747 lb/pulg2

### 6.4.7.4 Cálculo de los Esfuerzos Inducidos

#### 6.4.7.4.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k aprox"

k aprox	Cc
0.200	1.218
0.217	x
0.250	1.370

$$C_c = \boxed{1.271}$$

k aprox	Ct
0.200	2.661
0.217	x
0.250	2.551

$$C_t = \boxed{2.623}$$

k aprox	z
0.200	0.459
0.217	x
0.250	0.448

$$z = \boxed{0.455}$$

k aprox	j
0.200	0.776
0.217	x
0.250	0.779

$$j = \boxed{0.777}$$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

#### 6.4.7.4.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida ( $F_t$ )

$$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = \boxed{337264} \text{ lb}$$

#### 6.4.7.4.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero ( $f_s$ )

$$A = \pi * d * t_1$$

$$t_1 = A / (\pi * d) = (N * Abarra) / (\pi * d) = \boxed{0.133} \text{ pulg}$$

$$F_t = f_s * t_1 * r * Ct$$

$$f_s = F_t / (t_1 * r * Ct) = F_t / (t_1 * (d / 2) * Ct) = \boxed{12859} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12859} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

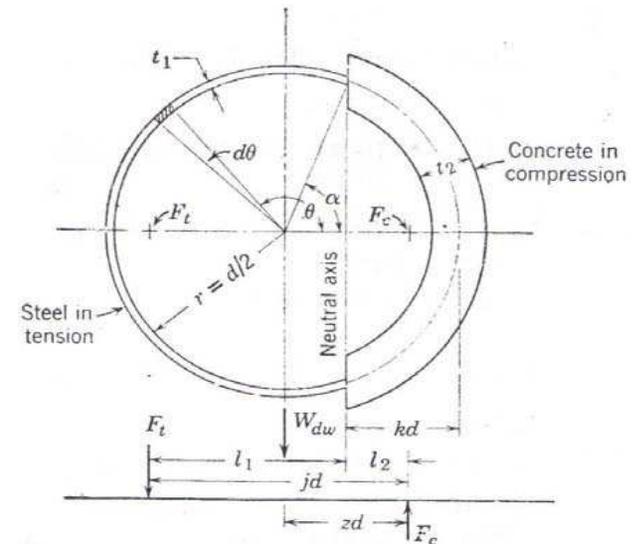


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

Conclusión:

Revisión aprobada

#### 6.4.7.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = 765835 \text{ lb}$$

#### 6.4.7.4.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = 29.867 \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$

$$f_c = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c) = F_c / ((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)$$

$$f_c = 258 \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = 2550 \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión:

Revisión aprobada

**6.4.8 Segunda Estimación del Valor de "k"**

$k_2 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 0.167$

**6.4.8.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k2 aprox"**

**6.4.8.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k2 aprox"**

k2 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.167</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

k2 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.167</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

k2 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.167</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

k2 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.167</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$C_c = 1.106$

$C_t = 2.735$

$z = 0.466$

$j = 0.773$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

**6.4.8.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)**

$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = 333367 \text{ lb}$

**6.4.8.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)**

$A = \pi * d * t_1$   
 $t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = 0.133 \text{ pulg}$

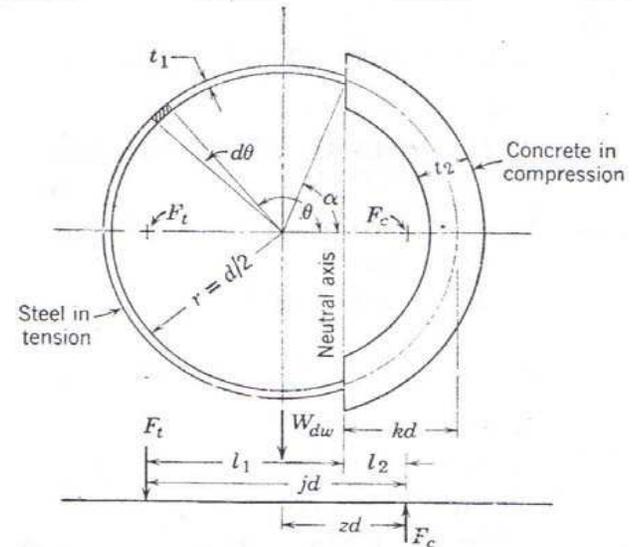


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$
$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12191} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12191} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.4.8.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{761938} \text{ lb}$$

#### 6.4.8.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$
$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{294} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.9 Tercera Estimación del Valor de "k"**

$k_3 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 0.195$

**6.4.9.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k3 aprox"**

**6.4.9.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k3 aprox"**

k3 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.195</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

k3 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.195</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

k3 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.195</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

k3 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.195</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$C_c = 1.200$

$C_t = 2.673$

$z = 0.460$

$j = 0.775$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

**6.4.9.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)**

$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = 335236 \text{ lb}$

**6.4.9.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)**

$A = \pi * d * t_1$   
 $t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = 0.133 \text{ pulg}$

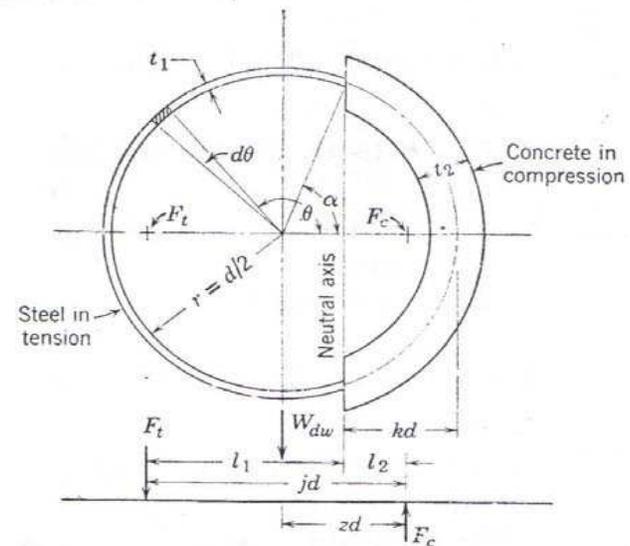


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$
$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12541} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12541} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.4.9.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (F<sub>c</sub>)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{763807} \text{ lb}$$

#### 6.4.9.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (f<sub>c</sub>)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$
$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{272} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

### 6.4.10 Cuarta Estimación del Valor de "k"

$$k_4 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = \boxed{0.178}$$

### 6.4.10.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k4 aprox"

#### 6.4.10.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k4 aprox"

k4 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.178</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

$$C_c = \boxed{1.145}$$

k4 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.178</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

$$C_t = \boxed{2.709}$$

k4 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.178</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

$$z = \boxed{0.463}$$

k4 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.178</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$$j = \boxed{0.774}$$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

#### 6.4.10.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)

$$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = \boxed{334142} \text{ lb}$$

#### 6.4.10.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)

$$A = \pi * d * t_1$$

$$t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = \boxed{0.133} \text{ pulg}$$

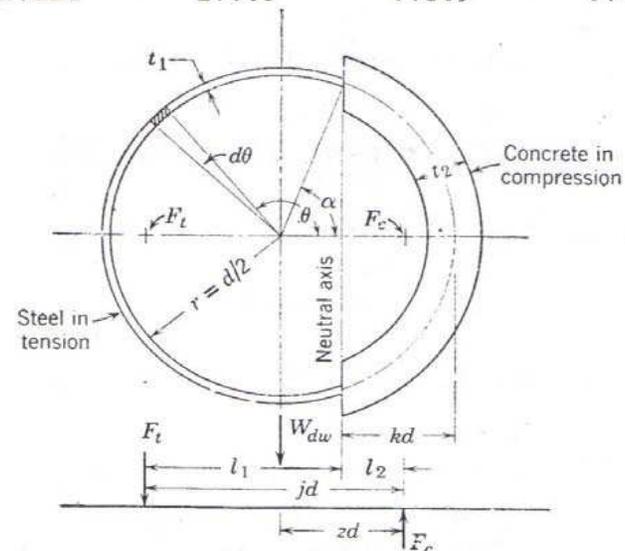


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$
$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12334} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12334} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.4.10.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{762713} \text{ lb}$$

#### 6.4.10.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$
$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{285} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.11 Quinta Estimación del Valor de "k"**

k5 aprox=  $1 / (1 + (fs / (n * fc))) =$  **0.188**

**6.4.11.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k4 aprox"**

**6.4.11.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k4 aprox"**

k5 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.188</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

k5 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.188</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

k5 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.188</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

k5 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.188</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

Cc= **1.176**

Ct= **2.689**

z= **0.461**

j= **0.775**

k	Cc	Ct	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

Tabla VI  
Valores Para las Constantes Ct, Cc, z y j,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

**6.4.11.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)**

Ft=  $(M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) =$  **334767 lb**

**6.4.11.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)**

A=  $\pi * d * t1$   
 t1=  $A / (\pi * d) = (N * Abarra) / (\pi * d) =$  **0.133 pulg**

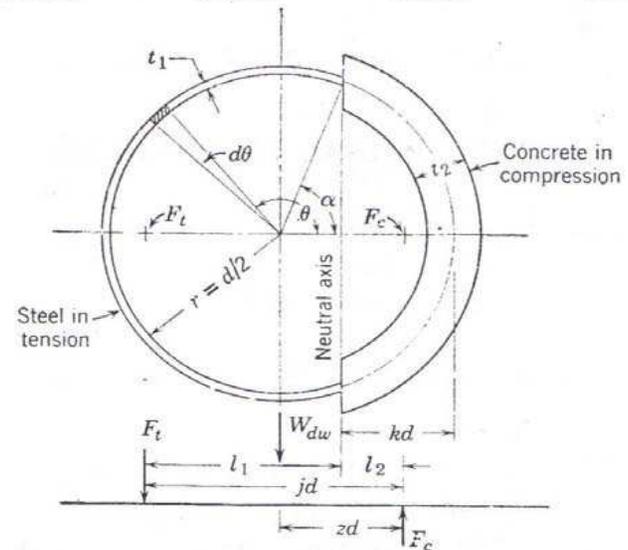


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$

$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12451} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12451} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.11.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)**

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{763338} \text{ lb}$$

**6.4.11.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)**

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$

$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{277} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.12 Sexta Estimación del Valor de "k"**

$k_6 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 0.182$

**6.4.12.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k4 aprox"**

**6.4.12.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k4 aprox"**

k6 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.182</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

$C_c = 1.158$

k6 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.182</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

$C_t = 2.701$

k6 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.182</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

$z = 0.463$

k6 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.182</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$j = 0.774$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

**6.4.12.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)**

$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = 334405 \text{ lb}$

**6.4.12.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)**

$A = \pi * d * t_1$   
 $t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = 0.133 \text{ pulg}$

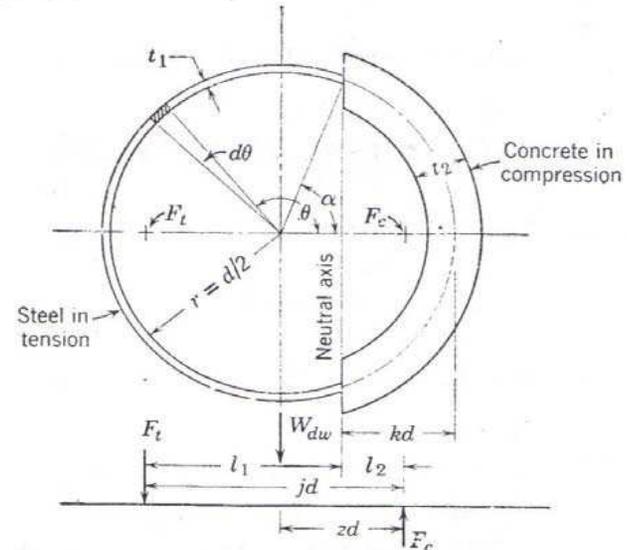


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$

$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12383} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12383} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.4.12.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{762976} \text{ lb}$$

#### 6.4.12.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$

$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{282} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

### 6.4.13 Séptima Estimación del Valor de "k"

$$k_7 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = \boxed{0.185}$$

### 6.4.13.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k4 aprox"

#### 6.4.13.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k4 aprox"

k7 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

$$C_c = \boxed{1.168}$$

k7 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

$$C_t = \boxed{2.694}$$

k7 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

$$z = \boxed{0.462}$$

k7 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$$j = \boxed{0.775}$$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_c$ ,  $C_t$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

#### 6.4.13.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)

$$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = \boxed{334613} \text{ lb}$$

#### 6.4.13.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)

$$A = \pi * d * t_1$$

$$t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = \boxed{0.133} \text{ pulg}$$

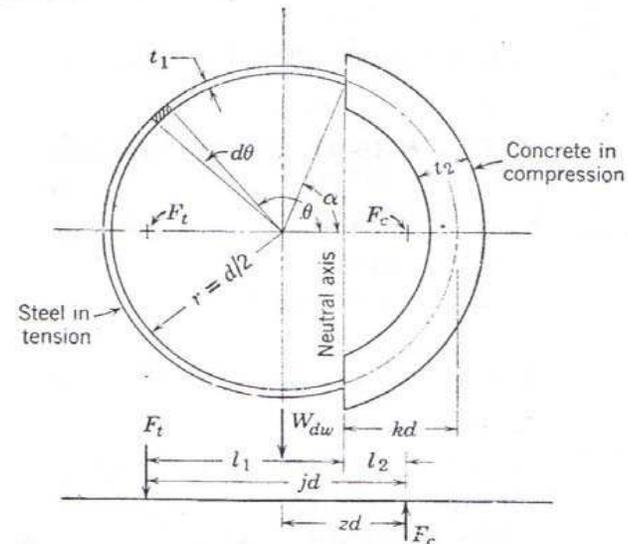


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$
$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12422} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12422} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.4.13.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{763184} \text{ lb}$$

#### 6.4.13.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$
$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{279} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

### 6.4.14 Octava Estimación del Valor de "k"

$$k_8 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = \boxed{0.183}$$

### 6.4.14.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k4 aprox"

#### 6.4.14.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k4 aprox"

k8 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.183</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

k8 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.183</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

k8 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.183</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

k8 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.183</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$$C_c = \boxed{1.162}$$

$$C_t = \boxed{2.698}$$

$$z = \boxed{0.462}$$

$$j = \boxed{0.774}$$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_c$ ,  $C_t$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

$k$	$C_c$	$C_t$	$z$	$j$
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

#### 6.4.14.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)

$$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = \boxed{334493} \text{ lb}$$

#### 6.4.14.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)

$$A = \pi * d * t_1$$

$$t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = \boxed{0.133} \text{ pulg}$$

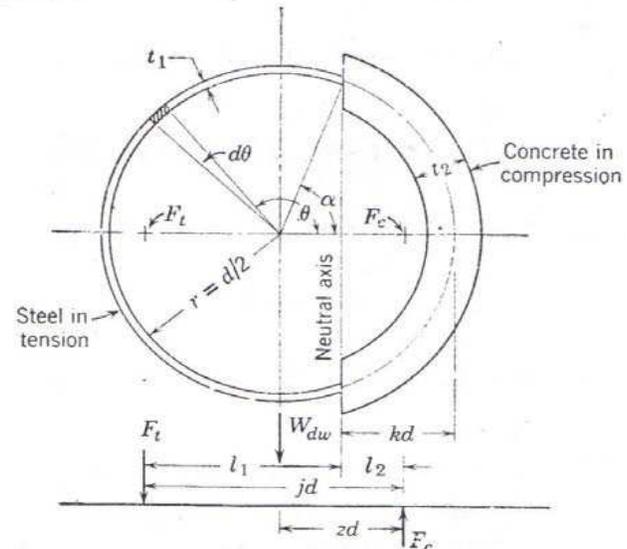


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$
$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12399} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12399} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: **Revisión aprobada**

#### 6.4.14.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{763064} \text{ lb}$$

#### 6.4.14.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$
$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{281} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: **Revisión aprobada**

**6.4.15 Novena Estimación del Valor de "k"**

$k_9 \text{ aprox} = 1 / (1 + (f_s / (n * f_c))) = 0.185$

**6.4.15.1 Revisión de Constantes y de los Esfuerzos Inducidos con el Nuevo Valor de "k4 aprox"**

**6.4.15.1.1 Cálculo de Constantes Basado en el Valor de "k4 aprox"**

k9 aprox	Cc
0.150	1.049
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	1.218

k9 aprox	Ct
0.150	2.772
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	2.661

k9 aprox	z
0.150	0.469
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	0.459

k9 aprox	j
0.150	0.771
<b>0.185</b>	<b>x</b>
0.200	0.776

$C_c = 1.166$

$C_t = 2.695$

$z = 0.462$

$j = 0.774$

Tabla VI  
Valores Para las Constantes  $C_t$ ,  $C_c$ ,  $z$  y  $j$ ,  
Como Funciones de "k" [ 15 ]

k	$C_c$	$C_t$	z	j
0.050	0.600	3.008	0.490	0.760
0.100	0.852	2.887	0.480	0.766
0.150	1.049	2.772	0.469	0.771
0.200	1.218	2.661	0.459	0.776
0.250	1.370	2.551	0.448	0.779
0.300	1.510	2.442	0.438	0.781
0.350	1.640	2.333	0.427	0.783
0.400	1.765	2.224	0.416	0.784
0.450	1.884	2.113	0.404	0.785
0.500	2.000	2.000	0.393	0.786
0.550	2.113	1.884	0.381	0.785
0.600	2.224	1.765	0.369	0.784

**6.4.15.1.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión Inducida (Ft)**

$F_t = (M_{viento} - (W_{dw} * z * d)) / (j * d) = 334562 \text{ lb}$

**6.4.15.1.3 Cálculo del Esfuerzo de Tensión Inducido en el Acero (fs)**

$A = \pi * d * t_1$   
 $t_1 = A / (\pi * d) = (N * A_{barra}) / (\pi * d) = 0.133 \text{ pulg}$

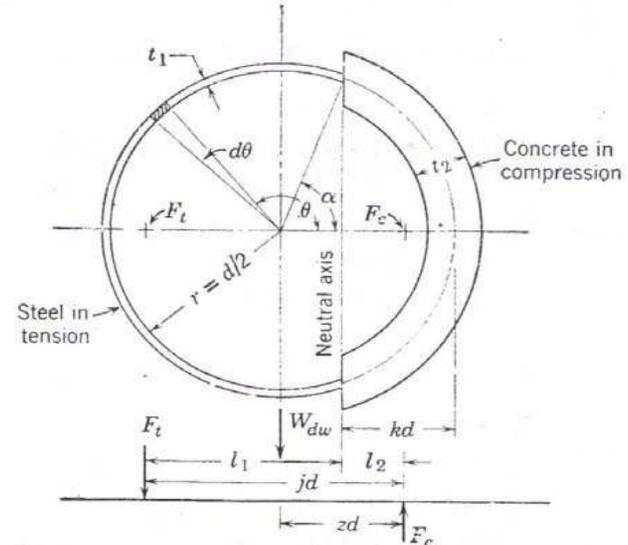


Figura 76. Detalle de las Fuerzas Inducidas [ 15 ]

$$F_t = f_s * t_1 * r * C_t$$
$$f_s = \frac{F_t}{(t_1 * r * C_t)} = \frac{F_t}{(t_1 * (d / 2) * C_t)} = \boxed{12413} \text{ lb/pulg}^2$$

$$f_s = \boxed{12413} \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = \boxed{21600} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: **Revisión aprobada**

#### 6.4.15.1.4 Cálculo de la Fuerza de Compresión Inducida (Fc)

$$F_t + W_{dw} - F_c = 0 \quad \text{Por lo tanto:} \quad F_c = F_t + W_{dw} = \boxed{763133} \text{ lb}$$

#### 6.4.15.1.5 Cálculo del Esfuerzo de Compresión Inducido en el Concreto (fc)

$$t_2 = t_3 - t_1 = \boxed{29.867} \text{ pulg}$$

$$F_c = (t_2 + (n * t_1)) * r * f_c * C_c$$
$$f_c = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * r * C_c)} = \frac{F_c}{((t_2 + (n * t_1)) * (d / 2) * C_c)}$$

$$f_c = \boxed{280} \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = \boxed{2550} \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: **Revisión aprobada**

En base a la convergencia observada de todos los posibles valores calculados para "k", se puede concluir con un buen grado de certeza, que:

$$k \approx 0.18$$

Y que por lo tanto:  $f_s = 12413$  lb/pulg<sup>2</sup>

$$f_c = 280$$
 lb/pulg<sup>2</sup>

#### 6.4.16 Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en las Barras de Anclaje ( $f_s$ comp)

$$f_s \text{ comp} = n * f_c = 2798 \text{ lb/pulg}^2 \leq 0.6F_y = 21600 \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

#### 6.4.17 Cálculo del Esfuerzo Máximo de Compresión en el Concreto ( $f_c$ máx inducido )

$$f_c \text{ máx inducido} = f_c \text{ círculo barras} * ((2 * k * d) + t_3) / 2 * k * d = f_c * ((2 * k * d) + t_3) / 2 * k * d$$

$$f_c \text{ máx inducido} = 431 \text{ lb/pulg}^2 \leq f_c \text{ máx} = 2550 \text{ lb/pulg}^2$$

Conclusión: Revisión aprobada

## 6.4.18 Cálculos Previos Para la Determinación Definitiva de las Barras de Anclaje a Usar

### 6.4.18.1 Propuesta

Acero de barra a usar: **ASTM F1554 Gr 36**  
 Diámetro de barras a usar: **2 pulg (debe ser  $\leq 2.00$  pulg)**  
 Tipo de barra: **barra preinstalada con cabeza**  
 Área de barra: **3.142 pulg<sup>2</sup>**  
 $n_t =$  **4.50** (número de hilos de paso por pulg)  
 $A_{se, n} =$   $(\pi/4) (d_a - (0.9743/n_t)) (d_a - (0.9743/n_t)) =$  **2.498 pulg<sup>2</sup>**  
 $n =$  **5** (número de barras en tensión del grupo de anclajes)  
 $f_{ya} =$  **36000 lb/pulg<sup>2</sup>** (resistencia a la fluencia en el acero del tipo de barra a usar)  
 $f_{uta} \leq$  que el menor de: **1.9 (f<sub>ya</sub>) ó 122064 lb/pulg<sup>2</sup>**

$1.9 (f_{ya}) =$  **68400 lb/pulg<sup>2</sup>** vrs. **122064 lb/pulg<sup>2</sup>**

$f_{uta} =$  **68400 lb/pulg<sup>2</sup>**

$h_{ef} =$  profundidad efectiva de embebido de las barras

$h_{ef} =$  **25.00 pulg (debe ser  $\leq 25$  pulg)**

Espaciamiento mínimo entre anclajes =  $6 (d_a) =$  **12.00 pulg**

Distancia mínima al borde =  $6 (d_a) =$  **12.00 pulg**

$1.5 (h_{ef}) =$  **37.50 pulg**

$3 (h_{ef}) =$  **75.00 pulg**

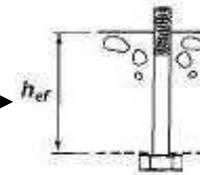


Figura 42. Tipo de Barra a Usar [ 1 ]

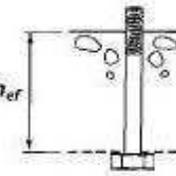


Figura 43. Detalle de  $h_{ef}$  [ 1 ]

### 6.4.18.2 Revisión Previa de la Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{sa}$ )

$\phi N_{sa} =$   $0.75 (A_{se, n}) (n) (f_{ya}) =$  **337260 lb** vrs.  $T_{act} =$  **272727 lb**

**Conclusión:** **Revisión aprobada**

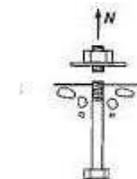


Figura 44. Falla del Acero [ 1 ]

**6.4.18.3 Revisión Previa de la Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )**

**\* Recomendación:** procurar que las distancias mínimas al borde del pedestal de concreto sean iguales a 1.5 (hef), y tratar en lo posible que el espaciamiento entre anclajes sea el mínimo.

Anco= 9 (hef) (hef)  
 Anco= 5625 pulg<sup>2</sup>

Anc=  $((2 * 1.5hef) + 18) ((2 * 1.5hef) + ((s1 + (2 * s2)) / 2))$

s1= 41.47 pulg                      s2= 52.78 pulg

Anc= 13812 pulg<sup>2</sup>

Nb=  $k_c (\lambda) (\sqrt{f_c}) (hef^{1.5})$

k<sub>c</sub>= 24 (para anclajes preinstalados)

λ= 1.0 (para concreto de densidad normal)

Nb= 16437 lb

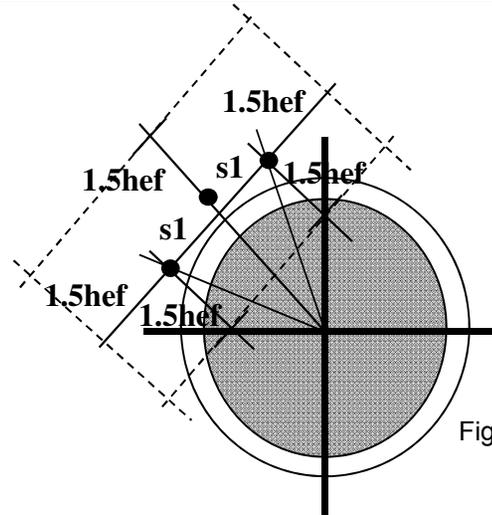


Figura 77. Cálculo de Anc Para Chimeneas Industriales

**\* Nota:** si "s" es menor a 3 (hef), usar "s" para calcular Anc; si "s" es mayor a 3 (hef), usar 3 (hef) para calcular Anc.

**\* Se asumirá inicialmente que todos los factores de modificación "Ψ" serán iguales a 1.0**

$\phi N_{cb}$ = 0.70 (Anc/Anco) ( $\Psi_{ed,n}$ ) ( $\Psi_{c,n}$ ) ( $\Psi_{cp,n}$ ) (Nb)

$\phi N_{cb}$ = 282427 lb                      vs.                      Tact sobre un anclaje=                      Tact/n= 54545 lb

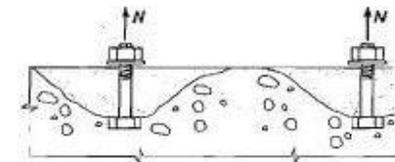


Figura 46. Falla por Arrancamiento [ 1 ]

**Conclusión:** Revisión aprobada

$\phi N_{cbg}$ = 0.70 (Anc/Anco) ( $\Psi_{ec,n}$ ) ( $\Psi_{ed,n}$ ) ( $\Psi_{c,n}$ ) ( $\Psi_{cp,n}$ ) (Nb)

$\phi N_{cbg}$ = 282427 lb                      vs.                      Tact= 272727 lb

**Conclusión:** Revisión aprobada

**6.4.18.4 Revisión Previa de la Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión ( $\phi n N_{pn}$ )**

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ )= 5.316 pulg<sup>2</sup>

$\phi n N_{pn}$ = 0.70 (n) (8) ( $A_{brg}$ ) ( $f'_c$ )

$\phi n N_{pn}$ = 446544 lb

vrs.

Tact= 272727 lb

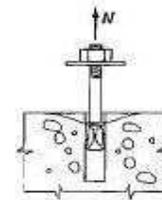


Figura 47. Falla por Deslizamiento [ 1 ]

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.19 Información de las Barras de Anclaje a Utilizar**

- a. Acero de barra a usar: ASTM F1554 Gr 36
- b. Tipo de barra: barra preinstalada con cabeza
- c. Resistencia a la fluencia en el acero del tipo de barra a usar ( $f_{ya}$ )= 36000 lb/pulg<sup>2</sup>
- d.  $f_{uta}$ = 68400 lb/pulg<sup>2</sup>
- e. Diámetro de la barra a utilizar ( $d_a$ )= 2 pulg
- f. Área de la barra a usar ( $A_{barra}$ )= 3.142 pulg<sup>2</sup>
- g. Área transversal efectiva del anclaje en tensión ( $A_{se,n}$ )= 2.498 pulg<sup>2</sup>
- h. Número de anclajes en el grupo que estén en tensión (n)= 5 barras
- i. Profundidad efectiva de embebido a usar para las barras ( $h_{ef}$ )= 25.00 pulg
- j. Espaciamiento a usar entre las barras de anclaje ( $s_1$ )= 41.47 pulg
- k. Espaciamiento a usar entre las barras de anclaje ( $s_2$ )= 52.78 pulg
- l. Distancia al borde a usar ( $ca_1$ )= 37.50 pulg

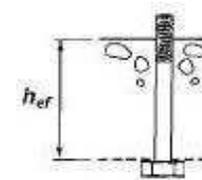


Figura 42. Tipo de Barra a Usar [ 1 ]

**6.4.20 Verificación del Tipo de Concreto a Usar**

$f'_c$ = 3000 lb/pulg<sup>2</sup> ≤ 9935 lb/pulg<sup>2</sup> (límite para anclajes preinstalados)

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.21 Verificación de Exigencias de Prevención de Arrancamiento del Concreto**

Verificación de diámetros de las barras de anclaje:

2.00 pulg ≥  $d_a$  a usar= 2 pulg

Conclusión: Disminuir el diámetro de las barras

Verificación de "hef" de las barras de anclaje:

$$25.00 \text{ pulg} \geq \text{hef a usar} = 25.00 \text{ pulg}$$

Conclusión: #¿NOMBRE?

Si se cumple con lo anterior, las exigencias de prevención de arrancamiento del concreto se considerarán satisfechas si se cumple con los procedimientos de diseño relacionados con la resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en tensión.

### 6.4.22 Verificación de Requerimientos de Espaciamiento Mínimo Entre Anclajes y Distancias Mínimas al Borde Para Evitar Fallas por Fisuramiento (Hendimiento)

Espaciamiento mínimo entre anclajes (con posibilidad de ser sometidos a torsión):

$$6 (da) = 12.00 \text{ pulg} \leq "s1" \text{ a usar} = 41.47 \text{ pulg}$$

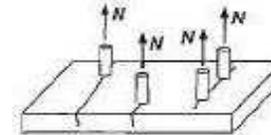


Figura 49. Falla por Fisuramiento [ 1 ]

Conclusión: Revisión aprobada

$$6 (da) = 12.00 \text{ pulg} \leq "s2" \text{ a usar} = 52.78 \text{ pulg}$$

Conclusión: Revisión aprobada

Distancia mínima al borde:

$$6 (da) = 12.00 \text{ pulg} \leq \text{distancia al borde (ca1)} = 37.50 \text{ pulg}$$

Conclusión: Revisión aprobada

**6.4.23 Distribución de la Fuerza de Tensión Actuante (Tact) en Cada Uno de los Anclajes a Tensión**

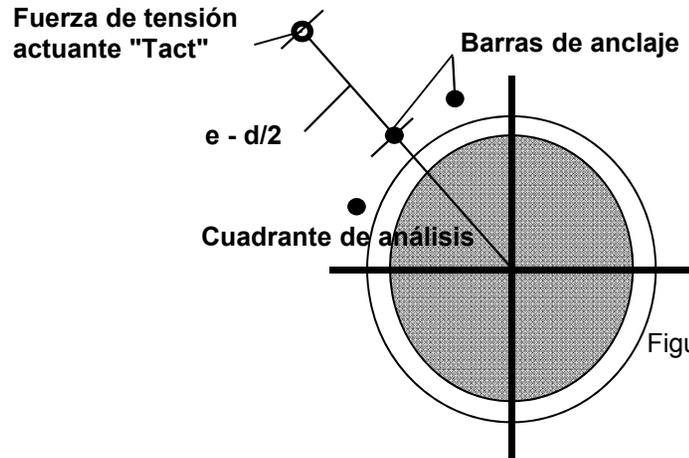


Figura 73. Distribución de Barras de Anclaje y Cuadrante de Análisis

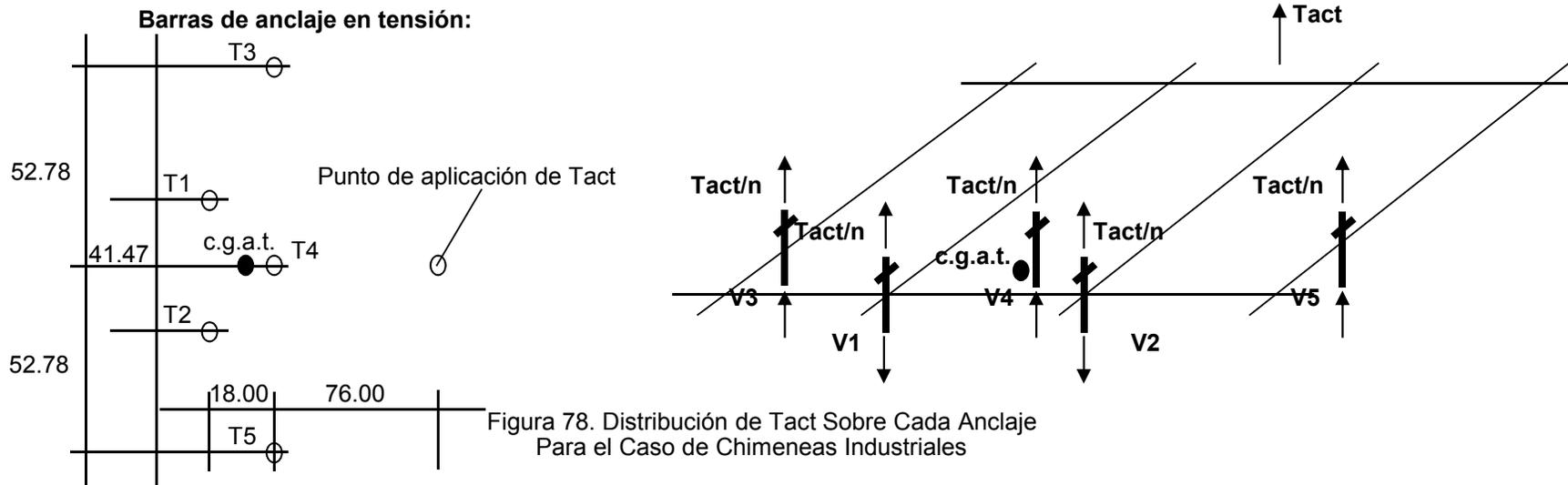


Figura 78. Distribución de Tact Sobre Cada Anclaje Para el Caso de Chimeneas Industriales

$n = 5$  (número de barras en tensión)  
 $s1 = 41.47$  pulg (espaciamiento entre barras)       $s2 = 52.78$  pulg (espaciamiento entre barras)  
 $e \text{ real} = 85.00$  pulg (distancia entre el c.g.a.t. y el punto de aplicación de "Tact")  
 $nbg = \frac{n}{2} = 2.50$  (número de barras en cada línea de gramil)

$e \text{ efectiva} = e \text{ real} - ((1 + nbg) / 2) = 83.25$  pulg

$M = Tact (e \text{ efectiva}) = 22704545$  lb-pulg

$$\Sigma d^2 = \Sigma h^2 + \Sigma v^2 = 6820 \text{ pulg}^2$$

**6.4.23.1 Cálculo de la Fuerza de Tensión en Cada Barra Debido al Momento Generado por la Excentricidad de la Fuerza de Tensión Actuante con Respecto al Centroides del Grupo de Anclajes en Tensión**

$$V1 = (M (\text{distancia a c.g.a.t.})) / \Sigma d^2 = 77833 \text{ lb}$$

$$V3 = (M (\text{distancia a c.g.a.t.})) / \Sigma d^2 = 177338 \text{ lb}$$

$$V4 = (M (\text{distancia a c.g.a.t.})) / \Sigma d^2 = 23969 \text{ lb}$$

Debido a la distribución simétrica de las barras de anclaje, obtenemos las siguientes relaciones:

$$V2 = V1 = 77833 \text{ lb} \quad V5 = V3 = 177338 \text{ lb}$$

**6.4.23.2 Cálculo de la Fuerza de Tensión en Cada Barra Debido a la Fuerza de Tensión Actuante Sobre el Grupo de Anclajes en Tensión**

$$Tact / n = \frac{272727}{5} = 54545 \text{ lb}$$

**6.4.23.3 Cálculo de la Fuerza de Tensión Total en Cada Barra**

$$T1 = (Tact / n) \pm V1 = 54545 - 77833 = -23288 \text{ lb}$$

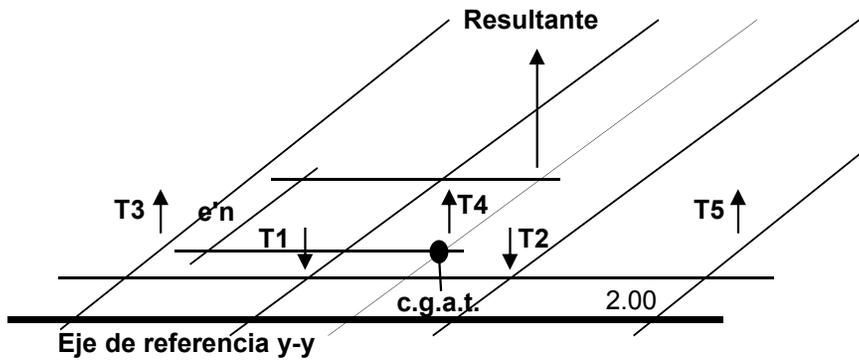
$$T2 = (Tact / n) \pm V2 = 54545 - 77833 = -23288 \text{ lb}$$

$$T3 = (Tact / n) \pm V3 = 54545 + 177338 = 231884 \text{ lb}$$

$$T4 = (Tact / n) \pm V4 = 54545 + 23969 = 78515 \text{ lb}$$

$$T5 = (Tact / n) \pm V5 = 54545 + 177338 = 231884 \text{ lb}$$

**6.4.23.4 Cálculo y Ubicación de la Resultante de las Fuerzas de Tensión Actuales Sobre Cada Barra**



Resultante=  $T1 + T2 + T3 + T4 + T5$

Resultante= **495707** lb

Ubicación de resultante:

$\Sigma My-y= 0$

$T1 (2) + T2 (2) - T3 (20) - T4 (20) - T5 (20) - R (x)= 0$

x= **-21.69** pulg

e'n= **10.69** pulg

Figura 51. Cálculo de la Excentricidad e'n

**6.4.24 Factores de Reducción de Resistencia Para Anclajes en Concreto ( $\phi$ )**

a. Para un anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero dúctil:

Carga de tensión:  $\phi$ = **0.75**

b. Para un anclaje controlado por la resistencia de un elemento de acero frágil:

Carga de tensión:  $\phi$ = **0.65**

c. Para un anclaje controlado por la resistencia al arrancamiento, desprendimiento lateral, extracción por deslizamiento o desprendimiento por cabeceo del anclaje:

Condición B

Carga de tensión:  $\phi$ = **0.70**  
 (Pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho preinstalados)

**\* Nota:** 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.

**6.4.25 Cálculo de la Resistencia del Acero de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{sa}$ )**

Nsa= Ase,n (n) (fya)= **449680** lb

Nsa  
449680

≤  
vrs.

Nsa  
854391

**Revisión aprobada**

Nsa= n (Ase,n) (futa)= **854391** lb

$\phi N_{sa}$ =  $\phi$  (Ase,n) (n) (fya)= **337260** lb

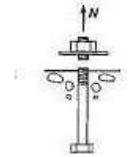


Figura 44. Falla del Acero [ 1 ]

**6.4.26 Cálculo de la Resistencia al Arrancamiento del Concreto de un Anclaje en Tensión ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )**

Espaciamiento entre las barras de anclaje (s)= **52.78** pulg

Distancia al borde (ca1)= **37.50** pulg

Profundidad efectiva de embebido a usar para las barras (hef)= **25.00** pulg

1.5 (hef)= **37.50** pulg

3 (hef)= **75.00** pulg

Anco= **5625** pulg<sup>2</sup>

Anc= **13812** pulg<sup>2</sup>

Nb= **164317** lb

Anc  
13812

≤  
vrs.

n (Anco)  
28125

**Revisión aprobada**

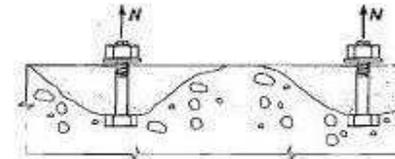
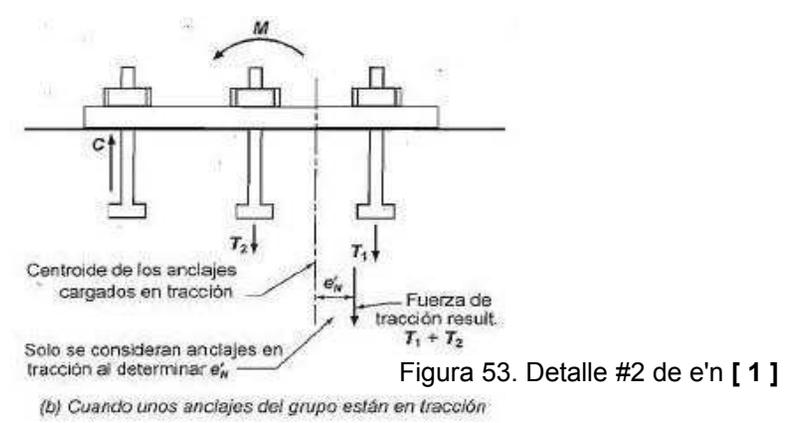
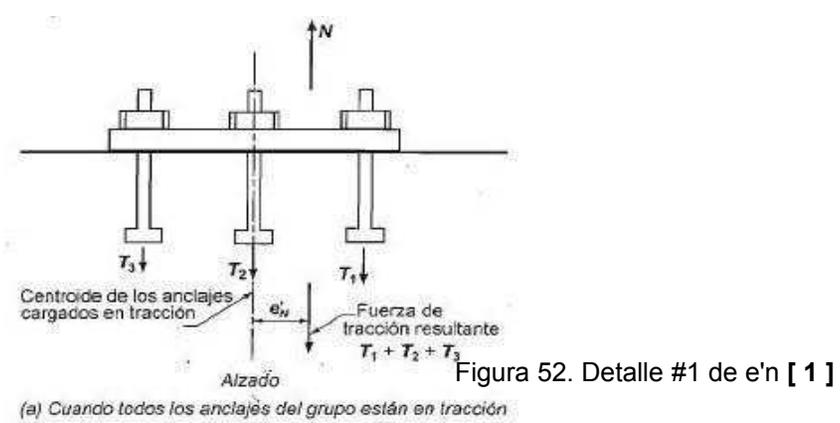


Figura 46. Falla por Arrancamiento [ 1 ]

**6.4.26.1 Factor de Modificación para Grupos de Anclajes Sometidos a Cargas Excéntricas de Tensión ( $\Psi_{ec,n}$ )**

$e'n = 10.69$  pulg  
 $\Psi_{ec,n} = \frac{1}{1 + ((2(e'n)) / (3(h_{ef})))} = 0.78$   
 $\Psi_{ec,n} \geq 1.0$   
 $\Psi_{ec,n} \geq 1.0$  → Por lo tanto,  $\Psi_{ec,n}$  será igual a: **1.00**



**6.4.26.2 Factor de Modificación para los Efectos del Borde para Anclajes Solos o Grupos de Anclajes en Tensión ( $\Psi_{ed,n}$ )**

$c_{a,mín} = 37.50$  pulg      vrs.       $1.5(h_{ef}) = 37.50$  pulg  
 $\Psi_{ed,n} = 1.0$  → si  $c_{a,mín} \geq 1.5(h_{ef})$   
 $\Psi_{ed,n} = 0.7 + (0.3(c_{a,mín} / 1.5(h_{ef})))$  → si  $c_{a,mín} < 1.5(h_{ef})$   
 Por lo tanto,  $\Psi_{ed,n}$  será igual a: **1.00**       $\Psi_{ed,n} = 1.00$

**6.4.26.3 Factor de Modificación Para la Resistencia a Tensión de los Anclajes con Base en Presencia o Ausencia de Fisuras en el Concreto ( $\Psi_{c,n}$ )**

$\Psi_{c,n} = 1.00$  → (para cuando se considere que puede haber fisuración para niveles de cargas de servicio)

**6.4.26.4 Factor de Modificación Para la Resistencia a Tensión de Anclajes Post-Instalados Utilizados en Concreto no Fisurado y sin Refuerzo Suplementario ( $\Psi_{cp,n}$ ) y Resistencia Para un Anclaje y el Grupo de Anclajes ( $\phi N_{cb}$  y  $\phi N_{cbg}$ )**

$\Psi_{cp,n} =$    $\longrightarrow$  (para anclajes preinstalados)

Resistencia para un anclaje:

$N_{cb} = (A_{nc} / A_{nco}) (\Psi_{ed,n}) (\Psi_{c,n}) (\Psi_{cp,n}) (N_b) =$   lb  $\quad \phi N_{cb} =$   lb

Resistencia para un grupo de anclajes:

$N_{cbg} = (A_{nc} / A_{nco}) (\Psi_{ec,n}) (\Psi_{ed,n}) (\Psi_{c,n}) (\Psi_{cp,n}) (N_b) =$   lb

$\phi N_{cbg} =$   lb

**6.4.27 Cálculo de la Resistencia a la Extracción por Deslizamiento de un Anclaje en Tensión ( $\phi n N_{pn}$ )**

$\Psi_{c,p} =$    $\longrightarrow$  (para cuando se considere que puede haber fisuración para niveles de cargas de servicio)

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas ( $A_{brg}$ ) =  pulg<sup>2</sup>

$N_p = 8 (A_{brg}) (f'_c) =$   lb  $\quad N_{pn} = \Psi_{c,p} (N_p) =$   lb

$\phi n N_{pn} =$   lb

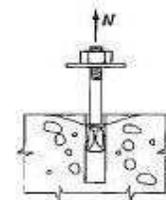


Figura 47. Falla por Deslizamiento [ 1 ]

**6.4.28 Cálculo de la Resistencia al Desprendimiento Lateral del Concreto en un Anclaje con Cabeza en Tensión ( $\phi N_{sb}$  y  $\phi N_{sbg}$ )**

Resistencia para un anclaje:

$h_{ef} =$   pulg  $\quad$  vs.  $2.5c_{a1} =$   pulg

**Conclusión:** No se debe de calcular la resistencia al desprendimiento lateral del concreto

Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A<sub>brg</sub>)=  pulg<sup>2</sup>

$$N_{sb} = 160 (ca_1) (\sqrt{A_{brg}}) (\lambda) (\sqrt{f'c}) = \text{0} \text{ lb}$$

$$ca_2 = \text{0} \text{ pulg} \quad \text{vrs.} \quad 3ca_1 = \text{112.50} \text{ pulg}$$

**Conclusión:** El valor de N<sub>sb</sub> debe de multiplicarse por el factor  $(1 + ca_2 / ca_1) / 4$

$$ca_2 / ca_1 = \text{0.00} \quad 1.0 \leq ca_2 / ca_1 \leq 3.0 \quad \begin{array}{l} \text{Es } ca_2 / ca_1 \geq 1.0? \\ \text{Es } ca_2 / ca_1 \leq 3.0? \end{array}$$

**Modificar las distancias a los bordes**  
**Se cumple la relación**

$$ca_2 / ca_1 = \text{0}$$

$$((1 + (ca_2 / ca_1)) / 4) N_{sb} = \text{0} \text{ lb}$$

$$\phi N_{sb} = 0.70 \times N_{sb} = 0.70 \times \text{0} = \text{0} \text{ lb}$$

Resistencia para un grupo de anclajes:

$$\text{Espaciamiento entre las barras de anclaje} = \text{41.47} \text{ pulg} \quad \text{vrs.} \quad 6ca_1 = \text{225.00} \text{ pulg}$$

**Conclusión:** Se debe de calcular la resistencia N<sub>sbg</sub>

$$N_{sb} = 160 (ca_1) (\sqrt{A_{brg}}) (\lambda) (\sqrt{f'c}) = \text{0} \text{ lb}$$

$$N_{sbg} = (1 + (s / 6ca_1)) N_{sb} = \text{0} \text{ lb}$$

$$\phi N_{sbg} = \text{0} \text{ lb}$$

#### 6.4.29 Cálculo de la Resistencia de Diseño de los Anclajes ( $\phi N_n$ )

$$\phi N_n = \text{menor de } (\phi N_{sa}, \phi n N_{pn}, \phi N_{cb}, \phi N_{cbg}, \phi N_{sb}, \phi N_{sbg})$$

$$\phi N_n = \text{menor de: } 337260 \text{ ; } 446544 \text{ ; } 282427 \text{ ; } 282427 \text{ ; } 0 \text{ ; } 0$$

$$\phi N_n = \text{282427} \text{ lb} \geq N_{ua} = \text{272727} \text{ lb}$$

**Conclusión:** Las barras de anclaje seleccionadas son suficientes para resistir la fuerza mayorada de tensión

\* **Nota:** cuando gobierna la resistencia " $\phi N_{cb}$ " o " $\phi N_{sb}$ ", " $\phi N_n$ " se compara contra  $N_{ua} = T_{act} \text{ máx}$  sobre un anclaje. Para todos los demás casos,  $N_{ua} = T_{act}$ .

### 6.4.30 Dimensionamiento de la Placa Base

#### 6.4.30.1 Cálculo del Espesor de la Placa Base

##### 6.4.30.1.1 Cálculo del Espesor de la Placa Base Considerando la no Presencia de Atiesadores

$$l = (\text{Dext. placa base} - D \text{ chimenea}) / 2 = 28.00 \text{ pulg}$$

$$t_4 = l * \sqrt{(3 * f_c) / 0.6F_y} = l * \sqrt{(3 * f_c \text{ máx inducido}) / 0.6F_y} = 6.85 \text{ pulg}$$

Conclusión: Calcular el espesor de placa base considerando la presencia de atiesadores

##### 6.4.30.1.2 Cálculo del Espesor de la Placa Base Considerando la Presencia de Atiesadores

Se considera que los atiesadores a colocar, se fijarán de tal forma que queden espaciados de manera uniforme y ubicados entre las barras de anclaje

$$\text{Número de atiesadores a considerar (Natiesa)} = 24$$

$$\text{Espaciamiento entre atiesadores (b)} = (d * \pi) / \text{Natiesa} \\ b = 19.63 \text{ pulg}$$

$$l / b = 1.43$$

El coeficiente a usar en la expresión para calcular el momento flexionante máximo es el siguiente: -0.1230

Por lo tanto:

$$M_{\text{máx}} = -0.1230 * f_c \text{ máx inducido} * (b^2 \text{ ó } l^2)$$

$$M_{\text{máx}} = -0.1230 \times 431 \times 28.00 \times 28.00 = -41599 \text{ lb-pulg}$$

$$t_4 = \sqrt{(6 * M_{\text{máx}}) / 0.6F_y} = 3.40 \text{ pulg}$$

Conclusión: Calcular el espesor de placa base considerando la presencia de más atiesadores

Tabla VII  
Momentos Flexionantes Máximos en una Placa Base con Atiesadores [ 15 ]

$l/b$	$M_x \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$	$M_y \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$
0	0	$-0.500f_c l^2$
$1/3$	$0.0078f_c b^2$	$-0.428f_c l^2$
$1/2$	$0.0293f_c b^2$	$-0.319f_c l^2$
$2/3$	$0.0558f_c b^2$	$-0.227f_c l^2$
1	$0.0972f_c b^2$	$-0.119f_c l^2$
$3/2$	$0.123f_c b^2$	$-0.124f_c l^2$
2	$0.131f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
3	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
$\infty$	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$

$b$  = gusset spacing. (x direction) inches.  
 $l$  = bearing-plate outside radius minus skirt outside radius (y direction) inches.

### 6.4.30.1.3 Cálculo del Espesor de la Placa Base Considerando la Presencia de Atiesadores

Se considera que los atiesadores a colocar, se fijarán de tal forma que queden espaciados de manera uniforme y ubicados entre las barras de anclaje

Número de atiesadores a considerar (Natiesa) = **48**

Espaciamiento entre atiesadores (b) =  $(d * \pi) / \text{Natiesa}$   
 $b =$  **9.82** pulg

$l / b =$  **2.85**

El coeficiente a usar en la expresión para calcular el momento flexionante máximo es el siguiente: **0.1327**

Por lo tanto:

$M_{\text{máx}} = 0.1327 * f_c \text{ máx inducido} * (b^2 \text{ ó } l^2)$

$M_{\text{máx}} = 0.1327 \times 431 \times 9.82 \times 9.82 =$  **5520** lb-pulg

$t_4 = \sqrt{(6 * M_{\text{máx}}) / 0.6F_y} =$  **1.24** pulg

Tabla VII  
Momentos Flexionantes Máximos en una Placa Base con Atiesadores [ 15 ]

$l/b$	$M_x \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$	$M_y \left( \begin{matrix} x = b/2 \\ y = l \end{matrix} \right)$
0	0	$-0.500f_c l^2$
$\frac{1}{3}$	$0.0078f_c b^2$	$-0.428f_c l^2$
$\frac{1}{2}$	$0.0293f_c b^2$	$-0.319f_c l^2$
$\frac{2}{3}$	$0.0558f_c b^2$	$-0.227f_c l^2$
1	$0.0972f_c b^2$	$-0.119f_c l^2$
$\frac{3}{2}$	$0.123f_c b^2$	$-0.124f_c l^2$
2	$0.131f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
3	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$
$\infty$	$0.133f_c b^2$	$-0.125f_c l^2$

$b =$  gusset spacing. ( $x$  direction) inches.

$l =$  bearing-plate outside radius minus skirt outside radius ( $y$  direction) inches.

Conclusión:

Usar el espesor de placa base calculado

**6.4.30.2 Determinación de la Forma de la Placa Base**

**6.4.30.2.1 Angulo Rolado de Acero Como Placa Base**

Espesor de placa base= **1 1/2** pulg  $\leq$  1/2 pulg

**Conclusión:** La placa base tendrá una forma distinta

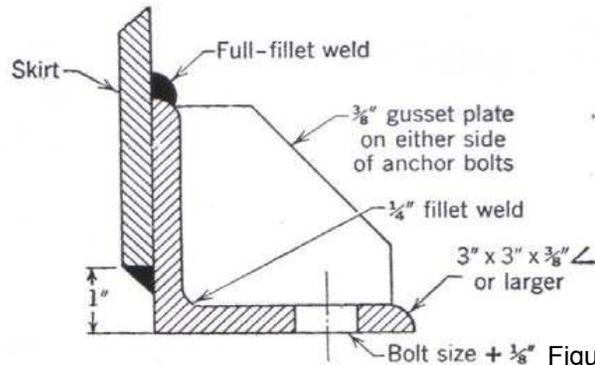


Figura 67. Placa Base en Forma de Angulo Rolado de Acero [ 15 ]

**6.4.30.2.2 Viga-Anillo Como Placa Base**

1/2 pulg < Espesor de placa base= **1 1/2** pulg < 3/4 pulg

**Conclusión:** La placa base tendrá una forma distinta

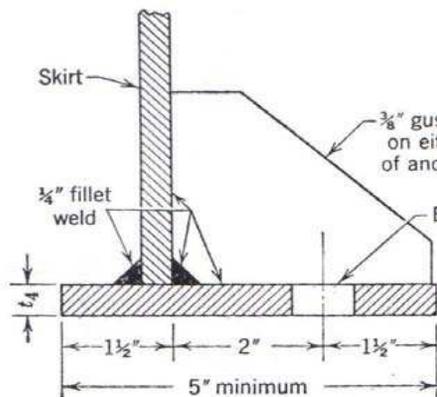
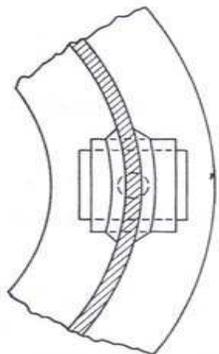


Figura 68. Placa Base en Forma de Viga-Anillo [ 15 ]

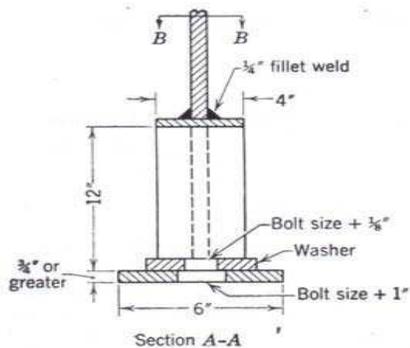
**6.4.30.2.3 Asientos Centrados Para Barras de Anclaje Como Placa Base**

Espesor de placa base= **1 1/2** pulg  $\geq$  3/4 pulg

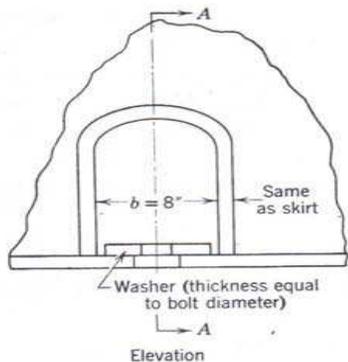
**Conclusión:** La placa base tendrá la forma de asientos centrados para barras de anclaje



Plan View B-B



Section A-A



Elevation

**6.4.30.2.3.1 Cálculo del Número Requerido de Asientos Centrados**

Tabla VIII  
Número Máximo de Asientos Centrados que Pueden Utilizarse en el Faldón de una Chimenea Industrial Para Diversos Tamaños de Chimenea [ 15 ]

Skirt diameter, ft	No. of Chairs
3	4
4	8
5	8
6	12
7	16
8	16
9	20
10	24

Diámetro de la chimenea (D)= **10.00** pies

En base al diámetro dado de la chimenea y a la información brindada por la tabla mostrada arriba, se concluye que el número máximo de asientos centrados que pueden usarse para la chimenea en estudio, es de: **24**

Figura 69. Placa Base en Forma de Asientos Centrados Para Barras de Anclaje [ 15 ]

### 6.4.31 Diseño Final del Sistema de Anclajes

Acero de barras de anclaje a usar:	ASTM F1554 Gr 36
Tipo de barra de anclaje a usar:	barra preinstalada con cabeza
Tamaño de barra a usar:	2 pulg
Area de barra a usar:	3.142 pulg <sup>2</sup>
Profundidad efectiva de embebido hef:	25.00 pulg
Número total de barras a usar:	20 barras
Distribución total de barras en:	2 círculos de barras de anclaje
Número de barras por círculo:	10 $\frac{\text{barras}}{\text{círculo}}$
Diámetro del primer círculo de barras de anclaje (d1):	132.00 pulg
Diámetro del segundo círculo de barras de anclaje (d2):	168.00 pulg
Dint. placa base:	116.00 pulg
Dext. placa base:	176.00 pulg
Forma de placa base:	Asientos centrados para barras de anclaje
Espesor de placa base:	1 1/2 pulg
Número de atiesadores a utilizar:	48 atiesadores

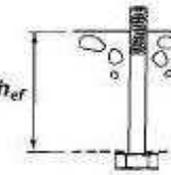


Figura 42. Tipo de Barra a Usar [ 1 ]

## **CAPÍTULO 7**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

## CAPÍTULO 7

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 7.1 Introducción

En el capítulo anterior, se pudo observar de manera clara y detallada, la aplicación de dos métodos conservadores y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, a dos casos típicos de estructuras que a menudo encontramos en la vida cotidiana, una columna perteneciente a un edificio y una chimenea industrial; en ambos casos, ambas estructuras se encontraban sometidas a cargas de gran magnitud (una carga axial de compresión y un momento flexionante).

Como ya se observó, cada uno de los ejemplos se solucionó por medio de dos vías: un método conservador y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08. En el caso de la columna perteneciente a un edificio, se hizo efectiva la aplicación del Método Conservador de Lincoln. De igual forma, en el caso de la chimenea industrial, se hizo efectiva la aplicación del Método Conservador de Brownell & Young. Asimismo, ambos casos fueron resueltos por medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08.

En el presente capítulo, en base a los resultados obtenidos para cada ejemplo resuelto, dos soluciones por cada caso de estudio, se hará la presentación de éstos por medio de dos tablas comparativas de resultados, con el objeto de poder llevar a cabo de una manera clara y sencilla, un análisis comparativo entre

los mismos, el cual servirá de base para la posterior presentación de las conclusiones finales del presente trabajo, y por ende, las subsecuentes recomendaciones que se harán al respecto para los futuros trabajos que habrán de llevarse a cabo dentro de este campo de estudio.

## **7.2 Análisis Comparativo de Resultados**

### **7.2.1 Presentación de los Resultados Obtenidos**

En el presente apartado se muestran las tablas comparativas de resultados, las cuales, enseñan de una forma clara, las diversas soluciones que se obtuvieron producto de la aplicación de un método conservador y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 para cada caso estudiado.

Cabe destacar que en las tablas comparativas de resultados, sólo se muestran aquellas partes de las soluciones que presentan rasgos característicos de comparación entre ellas. Para poder apreciar las soluciones de los casos estudiados en su totalidad, es necesario recurrir a la observación del capítulo 6, en el cual se muestran de manera detallada y completa.

A continuación, en las Tablas X y XI, se podrán apreciar las tablas comparativas de resultados.

Tabla X

Resultados Obtenidos Para el Caso de la Columna de Edificio Producto de la Aplicación del Método Conservador de Lincoln y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08

<b>Caso #1:</b>	<b>Columna de Edificio</b>	
<b>Elementos Comparativos</b>	<b>Método Conservador de</b>	<b>Método del Apéndice</b>
<b>Entre Métodos</b>	<b>Lincoln</b>	<b>D-ACI 318S-08</b>
<b>Condiciones</b>		
1. Cargas actuantes:		
Carga axial de compresión	442,857 lb (201,299 kg)	620,000 lb (281,818 kg)
Momento flexionante	328,571 lb-pie(45,522 kg-m)	460,000 lb-pie(63,731 kg-m)
2. Tipo de columna usada	W14 x 120	W14 x 120
3. Dimensiones columna:		
Peralte "d"	14.48 pulg	14.48 pulg
Ancho "b"	14.67 pulg	14.67 pulg
Espesor del alma (tw)	0.59 pulg	0.59 pulg
Espesor de patines (tf)	0.94 pulg	0.94 pulg
4. f'c	3,000 lb/pulg <sup>2</sup>	3,000 lb/pulg <sup>2</sup>
5. Tipos de acero usados:		
Placa base	A-36	A-36
Barras de anclaje	A-36	F1554 Gr 36
6. Tipo de soldadura usada	soldadura de filete	soldadura de filete
7. Tipo de electrodo usado	E-70	E-70
<b>Resultados</b>		
1. Barras de anclaje:		
Diámetro de barras	<b>1 1/8 pulg</b>	<b>1 1/8 pulg</b>
Número total de barras	<b>8 barras</b>	<b>12 barras</b>
2. Dimensiones placa base:		
Ancho de placa base	<b>26.00 pulg</b>	<b>18.00 pulg</b>
Largo de placa base	<b>30.00 pulg</b>	<b>37.00 pulg</b>
Espesor de placa base	<b>3.00 pulg</b>	<b>2.00 pulg</b>
3. Conexión de botas en la base de la columna:		
Tipo de canal usado	<b>C12 x 50 pulg</b>	<b>C12 x 50 pulg</b>
Tipo de atiesador usado	<b>7/8 x 3 3/10 pulg</b>	<b>7/8 x 3 3/10 pulg</b>
Número de atiesadores	<b>5 atiesadores</b>	<b>4 atiesadores</b>
4. Tamaños de soldaduras:		
Unión atiesadores-canal	<b>5/16 pulg</b>	<b>5/16 pulg</b>
Unión canal-patín columna	<b>1/2 pulg</b>	<b>5/16 pulg</b>
Unión columna-placa base	<b>0.90 pulg</b>	<b>1/2 pulg</b>

Tabla XI

Resultados Obtenidos Para el Caso de la Chimenea Industrial Producto de la Aplicación del Método Conservador de Brownell & Young y el Método del Apéndice D-ACI 318S-08

<b>Caso #2:</b>	<b>Chimenea Industrial</b>	
<b>Elementos Comparativos</b>	<b>Método Conservador de</b>	<b>Método del Apéndice</b>
<b>Entre Métodos</b>	<b>Brownell &amp; Young</b>	<b>D-ACI 318S-08</b>
<b>Condiciones</b>		
1. Cargas actuantes:		
Carga muerta de chimenea	428,571 lb (194,805 kg)	600,000 lb (272,727 kg)
Momento flexionante	5,714,286 lb-pie(791,688)	8,000,000 lb-pie(1,108,364)
2. Dimensiones chimenea:		
Diámetro de la chimenea	10 pies	10 pies
Altura de la chimenea	150 pies	150 pies
3. f <sub>c</sub>	3,000 lb/pulg <sup>2</sup>	3,000 lb/pulg <sup>2</sup>
4. Tipos de acero usados:		
Placa base	A-36	A-36
Barras de anclaje	A-36	F1554 Gr 36
<b>Resultados</b>		
1. Barras de anclaje:		
Diámetro de barras	<b>2.00 pulg</b>	<b>2.00 pulg</b>
Número total de barras	<b>24 barras</b>	<b>20 barras</b>
Diámetro círculo de barras	<b>11 pies</b>	<b>12.50 pies</b>
2. Dimensiones placa base:		
Diámetro interior de placa	<b>9 pies 8 pulg</b>	<b>9 pies 8 pulg</b>
Diámetro exterior de placa	<b>11 pies 8 pulg</b>	<b>14 pies 8 pulg</b>
Espesor de placa base	<b>2.00 pulg</b>	<b>1 1/2 pulg</b>
Forma de la placa base	<b>Asientos centrados</b>	<b>Asientos centrados</b>
3. Número de atiesadores	<b>48 atiesadores</b>	<b>48 atiesadores</b>

Una vez que se han presentado las tablas comparativas de resultados para cada caso estudiado, se procederá en la siguiente sección del presente capítulo, al análisis respectivo que se deriva del estudio de los datos contenidos en dichas tablas.

## 7.2.2 Análisis Comparativo de Resultados

### 7.2.2.1 Análisis Comparativo de Resultados Para el Caso de la Columna de Edificio

En el caso de la columna de edificio, al comparar los resultados obtenidos con respecto al tamaño y número de barras de anclaje necesarias, se puede apreciar que la diferencia de resultados que existe entre ambos métodos es un tanto significativa (diferencia que anda alrededor del 33% en cuanto al número de barras de anclaje requeridas). En otras palabras, se puede aseverar que los resultados que se obtuvieron por ambas vías presentaron una diferencia importante a considerar, diferencia que se encuentra apoyada sobretodo por el alto nivel de complejidad de los criterios de diseño que establecen las bases del Apéndice D del ACI 318S-08 para el estudio de los sistemas de anclaje (espaciamiento entre barras de anclaje, sus distancias a los bordes del cimiento de concreto, la profundidad efectiva de embebido de éstas, etc.).

Con respecto a las dimensiones de la placa base, lo que se puede ver es que también existe una cierta diferencia en cuanto a las dimensiones obtenidas por ambas vías, pudiéndose notar que prácticamente el fenómeno que se da es algo parecido a un cruce de resultados compensatorios, es decir, que al apreciar una de las dimensiones dadas, por ejemplo el ancho de la placa base, se puede apreciar que es mayor la dada por el método conservador, en cambio, al ver la otra dimensión, el

largo de la placa, ésta resulta ser mayor por el otro método, el del Apéndice D-ACI 318S-08. Al final, lo interesante del caso es que se puede observar que el área dada por ambos métodos es muy similar, teniendo una diferencia de alrededor del 14.62%. Es importante destacar que el espesor de placa base más económico que se obtuvo fue por medio del Método del Apéndice D-ACI 318S-08. Sobre el por qué de dicha diferencia entre dimensiones y por ende de áreas, pues la razón más probable por la cual se da este hecho, es porque en la actualidad, el enfoque director de los nuevos reglamentos (como el Apéndice D del Reglamento ACI 318S-08 por mencionar uno) va orientado hacia el trabajo metodológico de soluciones en base a factores de reducción de resistencia ya no tan fuertes o drásticos como los que se utilizaban en los métodos conservadores basados en antiguas normas, los cuales, en el pasado, daban como resultados diseños seguros y eficientes, pero en muchas ocasiones un poco antieconómicos.

En cuanto al diseño de la conexión de bota, se puede ver que prácticamente es el mismo diseño el que resulta por la aplicación de ambos métodos, lo cual es lógico, debido a que en el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, en su apartado referente al diseño de la conexión de bota, dicho método emplea el mismo procedimiento sobre el cual se basa el Método Conservador de Lincoln para el diseño de este tipo de conexión.

En el caso de los tamaños de las soldaduras para las diferentes uniones, puede apreciarse que el tamaño dado por ambos métodos es el mismo en la unión entre los atiesadores y el alma del canal, ligeramente diferente en la unión entre el alma del canal y el patín de la columna y con una diferencia muy marcada en la unión entre la columna y la placa base. Al igual que en el caso del diseño de la conexión de bota, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 está basado en el mismo procedimiento que utiliza el Método Conservador de Lincoln para realizar el diseño de las soldaduras de unión entre los elementos ya mencionados, por lo cual, no es de sorprender que los resultados dados por ambos métodos sean parecidos; sin embargo, la diferencia de resultados que se da producto de la aplicación del mismo procedimiento de diseño de estas soldaduras radica en el enfoque de utilización que hace cada método de la resistencia de los electrodos a usar.

Finalmente, al ver desde una perspectiva global los resultados dados por ambos métodos, y teniendo en cuenta factores tales como el hecho de que con ambos métodos se obtienen tamaños y número de barras de anclaje un tanto similares, diseño de la conexión de bota casi igual, una placa base y tamaños de soldaduras más económicos con el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, se puede hacer la siguiente afirmación:

se puede establecer que para el caso del diseño del sistema de anclajes para la columna de un edificio, el uso del Método del Apéndice D-ACI

318S-08 puede dar como resultado un diseño ligeramente más económico que el que se obtendría con el Método Conservador de Lincoln.

Sin embargo, es importante señalar que los resultados obtenidos indican que no existe una diferencia abismal entre ambos métodos, por lo que es importante resaltar que en este caso, ni uno ni otro método sustituye al otro, simplemente se trata de elegir la opción más adecuada de diseño, siempre siguiendo las normas directrices de la seguridad, eficiencia y economía. Se puede aseverar que para el caso de la columna de un edificio, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 resulta ser la opción más viable de aplicación por todas las consideraciones de diseño que involucra.

#### 7.2.2.2 Análisis Comparativo de Resultados Para el Caso de la Chimenea Industrial

Para el caso de la chimenea industrial, al observar los resultados entre ambos métodos con respecto al tamaño y número de barras de anclaje requeridas, se puede apreciar claramente que con el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, se obtiene una menor cantidad de barras de anclaje en comparación a lo dado por el Método Conservador de Brownell & Young. Dicha diferencia cuantitativa, lo más probable es que radique en la forma de estimación propia de cada método para el dimensionamiento de las barras de anclaje y en las respectivas revisiones por las cuales

debe de pasar lo propuesto (factores de reducción de resistencia diferentes, diversos enfoques de diseño para el dimensionamiento de las barras de anclaje, revisión de diferentes tipos de resistencias dadas por el grupo de barras de anclaje para la evaluación de la interacción barras de anclaje-base de concreto de apoyo, etc.).

En cuanto a las dimensiones de la placa base, puede apreciarse que las dimensiones dadas por ambos métodos son muy similares, resultando ser las dadas por el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 las de mayor proporción en cuanto a dimensiones en planta se refiere, no así con respecto al espesor de la placa base dado por este último, el cual resulto ser el más económico.

Finalmente, al observar y comparar la forma resultante que deberá de poseer la placa base y el número de atiesadores que se requieren instalar, ambos datos obtenidos por los dos métodos, se puede apreciar claramente que son iguales, esto por el hecho de que ambos métodos se basan en el mismo procedimiento de diseño para estos aspectos.

Al visualizar desde un enfoque global los resultados dados tanto por el Método Conservador de Brownell & Young como los obtenidos por el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, y tomando en cuenta que por ambos métodos se obtiene la misma forma de placa base e igual número de atiesadores, pero barras de anclaje en cantidades diferentes y una placa base un poco más económica (sobretudo por los diámetros de la

misma) con el primero de los métodos arriba mencionados, se puede afirmar lo siguiente:

en el caso del diseño del sistema de anclajes de una chimenea industrial, la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 puede dar como resultado un diseño ligeramente menos económico que el que se obtendría con el Método Conservador de Brownell & Young. Sin embargo, por las consideraciones de diseño que el primer método involucra, vale la pena señalar que el comentario final emitido en la conclusión del análisis comparativo de resultados para la columna de un edificio es también válido para el presente caso.

Sintetizando, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 en comparación con los dos métodos conservadores utilizados en el presente trabajo (el de Lincoln para la columna de un edificio y el de Brownell & Young para una chimenea industrial), resulta ser una herramienta muy atractiva y útil a la que si se le saca el máximo provecho, puede brindar diseños de sistemas de anclaje muy eficientes y completos, a pesar de que desde un punto de vista económico, pudiese llegar a dar soluciones ligeramente más económicas para algunos casos y soluciones un poco más onerosas para otros.

Como comentario final, es necesario e importante resaltar que el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, está basado fundamentalmente en dos elementos básicos, uno de ellos, la norma establecida por el Apéndice D

del Reglamento del ACI 318S-08, y el otro, ciertas bases de los métodos conservadores utilizados en el presente trabajo dependiendo de cual sea el caso de estudio (columna o chimenea industrial). Como resultado de ello, se puede afirmar que el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 no podría existir por sí solo únicamente teniendo como base lo establecido por la norma sobre la cual está basado de forma primaria, ya que ésta regula únicamente la interacción de comportamiento que se da entre las barras de anclaje y el concreto de apoyo del sistema de anclajes, dejando por fuera, el diseño de las conexiones de bota en las bases de los elementos estructurales (que en muchos casos es muy necesario considerarlo, dependiendo de la magnitud que posean las cargas actuantes y de la excentricidad que presente su resultante) e incluso el diseño de la misma placa base. Es por tal motivo que el método de diseño de sistemas de anclaje examinado en la presente tesis, el del Apéndice D, trata de abarcar un proceso más completo, fusionando en un único método, el diseño de las barras de anclaje y su interacción con el concreto de apoyo en base a lo establecido por la norma de regulación, el diseño de la placa base y el diseño de las conexiones de bota que se requieran.

Por todo esto, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 debe de ser considerado como un método complementario que no viene a remplazar a ninguno de los métodos conservadores utilizados hasta la actualidad, por lo menos en un inicio, sino más bien, debe de ser visto como una nueva

alternativa que ha nacido para tratar de unir lo antiguo con lo moderno bajo un enfoque de vanguardia, con el fin de crear un procedimiento de diseño para sistemas de anclaje más completo y más cercano a la realidad.

A continuación, en el siguiente capítulo, se exponen las conclusiones finales de la presente tesis de investigación, basadas en todo el proceso de análisis e interpretación de resultados efectuado.

## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES**

## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES**

#### **8.1 Introducción**

En el anterior capítulo se llevó a cabo el análisis e interpretación de los resultados obtenidos para los dos casos estudiados en la presente tesis, el diseño del sistema de anclajes de la columna de un edificio y de una chimenea industrial, como ejemplos de aplicación del método de diseño del que trata el presente trabajo, el Método del Apéndice D-ACI 318S-08.

En el presente capítulo se exponen las conclusiones finales a las que se ha llegado en base a todo lo desarrollado hasta el momento.

#### **8.2 Conclusiones**

- a. En base al análisis comparativo de resultados llevado a cabo entre los resultados obtenidos por el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 y los dados por cada uno de los métodos conservadores utilizados para cada caso de estudio, se concluye que con el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 los diseños de sistemas de anclaje que se obtienen para los casos estructurales analizados siguen siendo conservadores, a pesar de ciertas diferencias que presentan éstos con respecto a los que se obtienen con los métodos basados en antiguas normas.

- b. Desde un punto de vista económico basado en el análisis comparativo de los diseños finales de los sistemas de anclaje obtenidos para los casos estudiados, se puede apreciar que los resultados que se obtienen con el Método del Apéndice D-ACI 318S-08, no representan en sí una mejor opción económica que los diseños que se obtienen con los métodos conservadores utilizados, esto sustentado principalmente por la obtención de diseños similares entre métodos.
- c. Para el caso estructural de una columna de un edificio y el de una chimenea industrial, ambos casos sometidos a las condiciones de carga bajo las cuales fueron analizados (carga axial de compresión concentrada al centro de la columna o chimenea y momento flexionante), el Método del Apéndice D-ACI 318S-08 es el método más aplicable para el diseño de los respectivos sistemas de anclaje de ambos casos, por todos los criterios de diseño que toma en cuenta.
- d. El Método del Apéndice D-ACI 318S-08 al ser un método compuesto por elementos de una nueva norma de regulación (Apéndice D del Reglamento del ACI 318S-08) y por elementos pertenecientes a métodos conservadores (el de Lincoln en el caso de aplicación para una columna y el de Brownell & Young en el caso para una chimenea industrial), es un método complementario que más que venir a sustituir a alguno de los métodos conservadores mencionados, ha sido creado con el fin de fusionar lo antiguo con lo moderno, pretendiendo crear un procedimiento de diseño de sistemas de anclajes más completo y más novedoso.

- e. La aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 resulta ser más compleja que la aplicación de los mismos métodos conservadores, por el hecho de que es un procedimiento de diseño que estudia muchos más elementos e interacciones que los métodos tradicionales (interacción de las barras de anclaje con la cimentación de concreto a través del espaciamiento entre éstas, sus distancias a los bordes del cimiento, evaluación de la capacidad a la tensión propia de las barras de anclaje en función de sus propiedades, influencia del tamaño de éstas en la prevención del arrancamiento del concreto, etc.).
- f. En base al análisis comparativo de los diseños de sistemas de anclaje obtenidos para cada ejemplo y a los criterios de diseño que cada método aplicado toma en consideración, se puede afirmar que tanto los métodos conservadores como el del Apéndice D-ACI 318S-08 son métodos confiables para diseñar sistemas de anclaje.

**CAPÍTULO 9**

**RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO 9**

### **RECOMENDACIONES**

#### **9.1 Introducción**

En el capítulo anterior se expusieron las conclusiones a las que se llegaron en base al análisis comparativo de resultados llevado a cabo entre las soluciones obtenidas por el método estudiado en la presente tesis de investigación y las dadas por métodos conservadores.

En el presente capítulo se enuncian algunas recomendaciones que se consideran importantes mencionar, las cuales van orientadas para aquellos profesionales que decidan continuar con el estudio del método examinado en la presente tesis, quizás con el fin de mejorarlo aún más o de cambiar algún aspecto en particular que contribuya al perfeccionamiento del método o incluso llevar a cabo algún tipo de experimentación para probar los resultados obtenidos por el Método del Apéndice D-ACI 318S-08.

#### **9.2 Recomendaciones**

- a. Estudiar la posibilidad de buscar extender el campo de aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08, de tal forma que el método se vaya haciendo más generalizado y conocido, es decir, no sólo que se pueda aplicar al caso del tipo de columnas o del tipo de chimeneas industriales

estudiadas, sino que se debe de visualizar la posibilidad de una mayor estandarización del método; en otras palabras, ampliar la aplicación del método a diversos casos estructurales bajo diversas condiciones de carga.

- b. En base a la aplicación del Método del Apéndice D-ACI 318S-08 a diferentes tipos de casos estructurales previamente seleccionados (columnas, chimeneas industriales, panorámicos, etc.) bajo diversas condiciones de carga previamente establecidas, se podrían ir creando tablas de ayuda de diseño de sistemas de anclaje, con el fin de proporcionarle al profesional de la construcción, respuestas rápidas a diferentes casos sometidos a diversas circunstancias.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**BIBLIOGRAFIA**

1. ACI 318S-08, "**Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario**", American Concrete Institute, Ciudad de México D.F., 2008, p. 423-454.
2. ACI 318S-05, "**Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)**", American Concrete Institute, Ciudad de México D.F., 2005, p. 401-428.
3. American Institute of Steel Construction, Inc. (2005), **Steel Construction Manual**, pp. 2-41.
4. American Institute of Steel Construction, Inc. (2005), **Steel Construction Manual**, pp. 14-8 - 14-11.
5. American Institute of Steel Construction, Inc. (2005), **Steel Construction Manual**, pp. 14-21.
6. **Anclaje en Hormigón**, p. 1-4.  
(<http://www.scribd.com/doc/27412229/Anclaje-del-hormigon>)
7. ANSI/AISC 360-05, "**Specification for Structural Steel Buildings**", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, 2005, p. 6-9.
8. ANSI/AISC 360-05, "**Specification for Structural Steel Buildings**", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, 2005, p. 104.
9. ANSI/AISC 360-05, "**Specification for Structural Steel Buildings**", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, 2005, p. 115.
10. ANSI/AISC 360-05, "**Specification for Structural Steel Buildings (Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings)**", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, 2005, p. 208.

11. ANSI/AISC 360-05, "**Specification for Structural Steel Buildings (Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings)**", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, 2005, p. 353-354.
12. ANSI/AISC 360-05, "**Specification for Structural Steel Buildings (Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings)**", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, 2005, p. 355.
13. Blodgett, O.W. (1966), **Design of Welded Structures**, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, pp 3.3-1 - 3.3-19.
14. Blue-Master, Tabla Práctica de Consulta de Normas en Función de los Hilos de Paso por Pulg (<http://www.bluemaster.es/uploads/descargas/Machos1.pdf>)
15. Brownell, L.E., Young (1959), **Process Equipment Design**, John Wiley & Sons, Inc., pp. 183-191.
16. Carrato, P., **Applying Appendix D of ACI 318**, STRUCTURE magazine, Enero 2008, pp. 21-23.
17. Comité ACI 318, "**Revisiones al Código ACI 318-02, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary**", Concrete International, Julio 2004, pp. 76-91.  
(<http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI318-02toACI318-05.pdf>)
18. Comité ACI 355, "**Informe Sobre el Estado del Arte de los Anclajes en Hormigón**", Manual de Práctica del Hormigón, Julio 1991, pp. 68-72.
19. Klingner, R., **Anclajes al Concreto (ACI 318-05 Apéndice D Sobre Diseño y ACI 355.2-04 Sobre Calificación de Productos)**, Seminario Invitado, Instituto de Ingeniería UNAM, Ciudad de México D.F., Marzo 2007.  
([http://eventos.iingen.unam.mx/conferencias/MexicoDF\\_ponencia\\_anclajes.pdf](http://eventos.iingen.unam.mx/conferencias/MexicoDF_ponencia_anclajes.pdf))
20. McCormac, J. (2002), **Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD**, Alfaomega Grupo Editor, pp. 400-406.

21. McCormac, J. (2002), **Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD**, Alfaomega Grupo Editor, pp. 681-688.
22. Vinnakota, S. (2006), **Estructuras de Acero: Comportamiento y LRFD**, Editorial McGraw-Hill Interamericana, pp. 519-527.

## **RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO**

## RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Rigoberto Gómez Arita

Candidato para el Grado de

Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Estructural

Tesis: APLICACIONES DE ANCLAJES DE ESTRUCTURAS DE ACERO AL CONCRETO, BASADAS EN LA NORMA ACI 318S-08 (APÉNDICE D), UTILIZANDO EL PROGRAMA EXCEL

Campo de Estudio: Ingeniería Civil

### Biografía:

Datos Personales: Nacido en Tegucigalpa, M.D.C., Francisco Morazán, Honduras el día 4 de Diciembre de 1980, hijo del Dr. Rigoberto Gómez Madrid y la Profa. Rosa Delia Arita Aguilar de Gómez.

### Educación:

Egresado de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras; grado obtenido Licenciado en Arquitectura en 2007.

### Experiencia Profesional:

Supervisor Residente en el Proyecto Condominios Trinidad construido en la ciudad de Tegucigalpa, M.D.C., Francisco Morazán, Honduras desde 2007 hasta mediados de 2008; Supervisor Residente en el Proyecto III Etapa de Mall Multiplaza llevada a cabo en la ciudad de Tegucigalpa, M.D.C., Francisco Morazán, Honduras desde mediados de 2008 hasta finales de ese mismo año.