



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL**

**“PROPUESTA DE NORMATIVA INTEGRAL PARA DISEÑO  
DE PLACAS BASE EMPERNADAS PARA CONEXIONES A  
CIMENTACIONES”**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**AUTOR:**

**MARCUS VINICIUS PACHECO SOUZA**

**TUTOR:**

**ING. FRANCISCO GARCIA**

**SAMBORONDÓN, JUNIO 201**

## **APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACION**

En mi calidad de tutor del estudiante **Marcus Vinicius Pacheco Souza** que cursa estudios en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo

### **CERTIFICO:**

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **“PROPUESTA DE NORMATIVA INTEGRAL PARA DISEÑO DE PLACAS BASE EMPERNADAS PARA CONEXIONES A CIMENTACIONES”**, presentado por la estudiante **Marcus Vinicius Pacheco Souza**, con cédula de ciudadanía N°. 1717544710, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniero Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

En la ciudad de Samborondón, a los 9 días del mes de Junio del 2016

---

Tutor: Ing. Francisco García

## **DEDICATORIA**

A mis padres, mi familia,  
mis amigos quienes sin su apoyo  
a lo largo de mi carrera universitaria  
no hubiesen hecho esto posible.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Ing. Urbano Caicedo como Director de Escuela de Ingeniería Civil, al Ing. Francisco García quien me apoyó y superviso como tutor del presente trabajo de titulación y los profesores que a lo largo de mi curso aportaron con enseñanzas y valores fundamentales para mi formación como profesional

## Resumen

Durante las últimas décadas en Ecuador se han realizado investigaciones con el fin de desarrollar un conjunto de normas que permitan a los ingenieros civiles diseñar y construir de manera segura y eficiente. Esta normativa se la conoce como la NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción. El interés en este trabajo de investigación radica en presentar una propuesta para dicha normativa reevaluando el CAPÍTULO 2 (Estructuras de Acero) Sección 7 (Diseño de conexiones, juntas y sujetadores), con enfoque en uno de los sistemas de anclaje metálico comunes actualmente, conexiones de columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado a través de placas base metálicas empernadas.

Debido a esta ser una investigación de carácter teórico, se utilizará literatura y bibliografía internacional adecuadamente analizada y estudiada para su adaptación a nuestro medio. Para llevar a cabo una propuesta para la NEC se estudiará cada aspecto del diseño de las placas y las conexiones empernadas, lo que incluye: área neta, área de efectividad, esbeltez, reacciones y fuerzas actuantes (axiales, momento, cortante y flector), tipos de fallas, tipos de pernos, etc.

Para formular una propuesta para reevaluar la sección 7 del capítulo 2 de la NEC se estudiará y analizará minuciosamente cada etapa del proceso de diseño de las placas base de anclajes metálicas con conexiones empernadas y se realizará un modelo de diseño adecuado para nuestro medio. La propuesta del modelo de diseño tiene que ser clara y eficiente, lo suficiente para que su uso sea sencillo para los ingenieros a cargo del diseño y construcción de dichos elementos y la fiscalización de dicho trabajo.

## **Abstract**

During the last decades in Ecuador they have conducted research in order to develop a set of standards that enable civil engineers to design and build in a safe and efficient way. This requirement is known as the NEC, Norma Ecuatoriana de la Construccion. The interest in this research is to present a proposal for this set of regulations reassessing Chapter 2 (Structural Steel) Section 7 Design of connections, joints and fasteners, focusing on one of the most common fastener system currently in use, steel column joints to a reinforced concrete foundation through bolted steel base plate. .

Due to this being a theoretical research, the literature and bibliography are international, this will be analyzed properly to adapt it to our environment. To carry out this proposal to the NEC every aspect of the design of the base plates and the bolted connections will be studied, including: net Area, effectiveness, slenderness, reactions and acting forces (axial, moment, shear and bending) fault types, types of bolts, etc.

To make a proposal to reassess Section 7 of Chapter 2 of NEC, this research will study and thoroughly analyze in each stage of the design process of steel base plates with metal anchors and bolted connections to create a properly designed model for our media. The proposed design model must be clear and efficient enough to make sure its use is easy for engineers in charge of design and construction of such elements and the correct control of the work done.

## INDICE

<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES .....</b>	<b>2</b>
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Planteamiento del Problema .....	3
1.3 Formulación del Problema .....	4
1.4 Objetivo de la Investigación .....	6
1.5 Justificación del Tema .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Criterios de Diseño .....	8
2.2 Resistencia de Diseño .....	10
2.3 Fallas .....	11
2.4 Fuerzas y Esfuerzos .....	11
2.5 Área de la Sección Transversal .....	12
2.6 Área Neta .....	13
2.7 Área Efectiva .....	14
2.8 Bloque Cortante .....	16
2.9 Esbeltez .....	16
2.10 Espaciamiento y distancia del borde .....	17
2.11 Placas Base .....	17
2.12 Pernos de Anclaje .....	18
2.13 Pernos Comunes .....	18
2.14 Pernos sometidos a cortante y momento .....	19
<b>CAPÍTULO III: PROPUESTA DE DISEÑO .....</b>	<b>20</b>
3.1 Enfoque .....	21
3.2 Propuesta de Diseño .....	22
<b>CAPÍTULO IV: NORMATIVA INTEGRAL PARA PLACAS DE ANCLAJE .....</b>	<b>23</b>
4.1 Sección 1: Análisis de Fuerzas, capacidad de carga y dimensión de los elementos .....	24

4.2 Análisis de elementos usando el Método ASD .....	30
4.3 Sección 3: Análisis de elementos usando el Método LRFD .....	39
<b>CAPÍTULO V: USO DE LAS PLACAS BASE EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CIVIL.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>62</b>



**Capítulo I**  
**Introducción**

## 1.1 Antecedentes

En la actualidad, los diseños y las metodologías de las construcciones realizadas en Ecuador se basan en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15). Esta normativa se encuentra en constante evaluación y adaptación para su aplicación, parte de ella son recopilaciones y adaptaciones de normativas internacionales. Debido a que la mayoría de países andinos comparte casi la misma estructura de sus suelos, resulta sencillo para Ecuador adoptar estas normativas y metodologías de trabajo.

En el área de la construcción, Ecuador se ha desarrollado considerablemente, al implementar nuevos materiales, metodologías y diseños. Sin embargo, en un momento dado no hubo un correcto seguimiento o cumplimiento de las regulaciones de seguridad. A partir de Septiembre del año 2002 surgió la iniciativa de la NEC, para reemplazar al CEC (Código Ecuatoriano de Construcción). Esta iniciativa surgió a partir del CICP (Colegio de Ingenieros Civiles del Pichincha) y siguen en constante estudio y actualización. Para la NEC, a diferencia del CEC, se consideraron nuevos materiales estructurales como el acero, y materiales no estructurales como el yeso, entre otros y nuevos criterios de seguridad contra el riesgo sísmico (Vielma, 2014).

Ecuador se encuentra ubicado sobre una placa continental que se encuentra en convergencia con la Placa de Nazca. Este fenómeno de subducción provoca en las áreas alrededor aparición de fosas, islas, volcanes y cordilleras. Ecuador que se encuentra justo sobre una zona de subducción, posee la topografía típica de dicha zona, y a través del territorio ecuatoriano se encuentra la cordillera de los andes. Aquí la subducción de la litósfera oceánica genera los terremotos más fuertes y las erupciones volcánicas más explosivas de la Tierra. Como podemos observar, debido a que Ecuador se encuentra sobre una zona de subducción de placas, está propenso a sismos de gran magnitud (Tarbuck, 2005).

“El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional proporciona un estudio constante de la actividad sísmica y volcánica dentro del país y sus cercanías. Según los reportes, desde el 2005 Ecuador tiene un promedio anual de mil quinientos sismos corticales y doscientos cincuenta sismos de subducción, dando un total promedio de mil setecientos cincuenta sismos anuales” (Córdova, 2014).

Esto quiere decir que todas las construcciones y edificaciones del país se encuentran con el riesgo de encontrar más de mil quinientos sismos anuales. Para que dichas estructuras se mantengan de pie sin sufrir daños y cumplir con su ciclo de vida útil, deben ser diseñadas con criterios de diseños adecuados que puedan soportar las características sísmicas del país.

La decisión de crear una nueva normativa, incluyendo criterios de seguridad surgió a partir del sismo de Bahía de Caráquez en 1998. Con la ayuda del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional se incluyeron adicionalmente los criterios sísmicos de peligro o amenaza sísmica. “El 4 de agosto de 1998 se registró un evento de magnitud 7.1 que se localizó frente a la ciudad de Bahía de Caráquez, provocando ingentes pérdidas económicas, así como pérdidas debido al desplome y daños estructurales de algunos edificios ubicados en la ciudad” (Palma, 2013). Este evento de

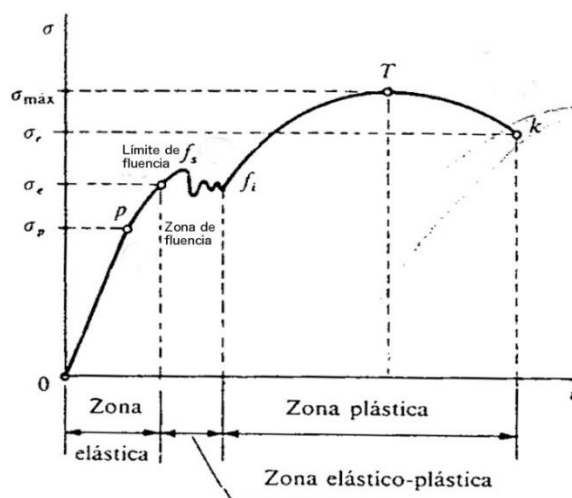
gran magnitud significó grandes pérdidas económicas para el país. A pesar que su epicentro se encontró ubicado en Bahía de Caráquez, este sismo tuvo repercusiones en toda la costa ecuatoriana. Hasta ese entonces, a pesar de que el CEC (Código Ecuatoriano de Construcción) contemplaba de manera eficiente los diseños sísmicos, esta normativa no estaba siendo bien implementada y no existía la rigurosidad de fiscalización y control para el cumplimiento de este código. Como consecuencia a esto muchas edificaciones sufrieron graves daños estructurales, poniendo en riesgo la vida de las personas.

Con la ayuda del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional se incluyeron los criterios sísmicos de peligro o amenaza sísmica dentro de las normativas de diseño y de aquí surge la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

La NEC-15 a pesar de que está en vigencia, y ser un compendio muy completo aún se encuentra en desarrollo de temas muy específicos como el tema estudiado. Uno de los temas que aún no está completamente adaptado, y del cual se realizará esta investigación, es la implementación de los sistemas de placas de anclajes para estructuras metálicas hacia cimentaciones de hormigón armado. La construcción de edificaciones con su estructura de acero es algo relativamente nuevo en nuestro medio, y por ende la implementación de normativas para este tipo de estructuras no resulta tan completa como debería.

## 1.2 Planteamiento del Problema

En nuestro medio el acero se promueve como un material necesario en la construcción por su alta ductilidad, es decir su elevada capacidad de deformación. Se usa mayormente en edificaciones industriales, edificaciones comerciales, muelles y puentes. Es un material muy versátil, su popularidad se debe a que con él se pueden alcanzar grandes luces y varias formas. Además de ser un material extremadamente resistente, dúctil y ligero, es relativamente económico. Todas estas características se deben a que el acero es un material que posee un rango elástico muy bien definido y un amplio rango plástico que le permite una mayor deformación antes de llegar a su punto de fallo o ruptura.



(Módulo de Elasticidad de acero estructural A36, A50)

Debido a estas características muchas de las construcciones en la actualidad se construyen con este material. Al considerar los datos de INEC, a partir del 2010 la actividad económica en el área de la construcción con acero subió hasta un cuarenta y seis por ciento, superando cualquier otro material de construcción.

Generalmente, la metodología más común para levantar una edificación donde su estructura es metálica, es anclarla a las cimentaciones de hormigón armado. Actualmente en Ecuador la NEC tiene contiene secciones para el diseño de estructuras metálicas, que a partir del año 2011 brinda una guía de diseño y especificaciones técnicas a cumplir para dichas estructuras. Sin embargo, estas normas no abarcan en su totalidad una de las piezas claves de esta metodología de construcción, que son las placas metálicas de anclaje para columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado. Debido a que el acero ha tenido una rápida aceptación como material de construcción prácticamente opacando un poco a las metodologías tradicionales no se han podido adaptar de manera efectiva las normas necesarias para un diseño completamente eficiente y seguro (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). No obstante, debido a la que esta conexión está encargada en transmitir todos los esfuerzos y cargas de la estructura a las cimentaciones se podría considerar que el nudo columna-placa base-cimentación es el más importante de la estructura.

### 1.3 Formulación del Problema

Los sistemas de placas base de anclajes son elementos metálicos conectados a dados de hormigón armado que sirven para transmitir los esfuerzos que soporta la estructura de acero a sus cimentaciones de hormigón armado. Este sistema cuenta con dos elementos claves: la placa bases y los pernos de anclaje. Al ser las placas lo único que une los elementos estructurales a las cimentaciones, esta resulta ser una pieza clave en la construcción de edificaciones de acero. Y al igual que cualquier otro elemento, su diseño tiene que seguir ciertos criterios para que sea efectivo, eficiente y seguro.

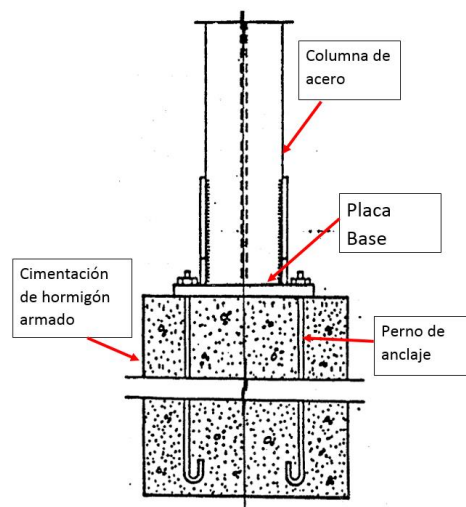


Figura 1: Placas de anclaje

Fuente: (MERLE, 2014)

Como mencionamos anteriormente, la NEC se encuentra constantemente adaptándose y adicionando nuevas metodologías. Cada una de estas metodologías consta unos modelos de diseño y criterios de seguridad que fueron establecidos para asegurarnos de que cada diseño sea eficiente y seguro para su uso. Actualmente los capítulos que están ya en vigencia son los siguientes:

1. Vidrio
2. Estructuras de Acero
3. Cargas no Sísmicas
4. Geotecnia y Cimentaciones
5. Peligro Sísmico
6. Hormigón Armado
7. Estructuras de Madera
8. Mampostería Estructural
9. Riesgo Sísmico
10. Vivienda

Dentro de las normativas vigentes de la NEC-15 (2015), este abarca de manera muy superficial el diseño e implementación de las placas base metálicas de anclaje para estructuras de acero en cimentaciones de hormigón armado. Y es aquí donde radica el problema. Dentro de la NEC Capítulo 2 “Estructuras de Acero” sección 7 “Diseño de conexiones, juntas y sujetadores” desde la pág. 36 a 40 se habla sobre las placas de anclaje y otros elementos de conexión, pero en forma muy superficial y poco detallada.

Lo que se pretende con este trabajo de investigación es analizar y adaptar una metodología de tal forma que el diseñar sistemas de placas base para columnas de acero ancladas por medio de pernos sea más eficientes, más seguros, mejor detallados y de forma más sencilla. Para esto se debe no solo delimitar un código, pero si no también un manual de diseño o una metodología detallada, de manera que sea fácil aplicarla, y llevar el adecuado control para asegurar el buen funcionamiento de este sistema.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Normalizar y desarrollar un proceso de diseño para los sistemas simple de anclaje con placas bases empernadas para columnas de acero hacia cimentaciones de hormigón armado.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Establecer una metodología de diseño y una guía para un sistema de placas base empernada, que pueda ser implementada de manera eficiente y completa en Ecuador.
2. Definir un código y manual de diseño que podría ser utilizado en futuras ediciones del NEC, como guía de diseño para los ingenieros civiles o un material didáctico.

### 3. 1.5 Justificación del Tema

La presente investigación tiene como objetivo establecer una guía de diseño que pueda complementar la metodología de diseño que propone la NEC-15 para los sistemas de placas base de anclaje de columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado. Debido a la rápida aceptación que tuvo el acero estructural como material de construcción, este no fue a la par con el desarrollo de las normativas propuestas por la NEC.

Las normativas, códigos, manuales de diseño y metodologías de trabajo deben ser cambiantes, es decir estas se deben ir adaptando a los nuevos materiales y tecnología. En el área de la construcción Ecuador desarrolló rápidamente nuevas metodologías constructivas para estructuras de acero y las entidades encargadas de desarrollar las normativas y códigos no se desarrollaron a la par. Estos códigos y normativas no solo sirven como una guía para el diseño, si no también están encargadas en llevar un control en el diseño para asegurar tanto la vida útil de la edificación como la seguridad de las personas que utilizaran dicha estructura.

Al tener acceso a una guía o a un modelo de diseño establecido que cumple con los requisitos de seguridad adecuados nos aseguramos que todos los diseños y construcciones que se hagan en base a este modelo establecido también cuenten los criterios de seguridad.

Como tal esta investigación pretende tratar de complementar la NEC aportando una guía de diseño para un sistema de anclaje metálico empernado para columnas de acero a cimentación de hormigón armado. Si bien es cierto, la NEC se encuentra actualizándose constantemente para ir a la par con las metodologías constructivas y de diseño que se usan, no siempre la creación de un código puede ir al mismo ritmo que el desarrollo de los procesos constructivos, por esta razón la presente investigación pretende servir como una propuesta para ser parte de la actualización de nuestro código de construcción.

## **Capítulo 2**

### **Marco Conceptual**

## 2.1.- Criterios de Diseño

Cuando se habla de diseñar estructuras de acero existen dos métodos que destacan, el ASD (Allowable Strength Design) y LRFD (Load Resistance Factor Design). Ambas metodologías son extremadamente parecidas, y para el diseño de placas ambas cubren sus elementos claves y todas las fuerzas que actúan en un sistema de placas de acero como anclaje emperrado de columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado. Sin embargo, su diferencia radica más en la filosofía de la persona a cargo del diseño de dichos elementos. Al diseñar usando el método ASD se enfatiza usar un factor de seguridad que ocasiona una reducción drástica de la carga última que puede soportar un elemento de tal forma que el diseño dicho elemento no llegue cerca del rango del límite elástico del material. Por otro lado, al utilizar la metodología LRFD en lugar de usar un factor de seguridad utilizamos más bien un factor de reducción, ocasionando que el diseño de dicho elemento se encuentra más alejado de su límite plástico al alcanzar su carga última (Pérez, 2009) .

Existe una gran diferencia en cuestiones de magnitud con respecto al factor de seguridad y el factor de reducción entre estas dos metodologías de diseño. El método ASD tiene un alto factor de seguridad de 2.00 que se divide a la carga nominal que soporta el elemento, reduciendo la efectividad de dicho elemento a la mitad. Mientras que usando la metodología LRFD tenemos un factor de reducción de 0.75 de la carga última o 0.90 de la carga de servicio, lo que reduce la efectividad del material en menor escala.

ASD	LRFD
$P_a < P_n / \Omega$	$P_u < \phi P_n$

ASD	LRFD
$\Omega=2.00$	$\phi=0.75$

- $P_a$  = Carga aplicada en la estructura en método de diseño ASD.
- $P_n$  = Carga nominal aplicada en la estructura de acero.
- $P_u$  = Carga aplicada en la estructura en método de diseño LRFD.
- $\Omega$  = Factor de seguridad en método ASD.
- $\phi$  = Factor de reducción en método LRFD.

A simple vista podemos observar que la reducción de la capacidad de carga entre una metodología y la otra varía mucho. Existe otra diferenciación clave, y esta es la forma como las metodologías castigan de forma distintas las cargas nominales actuantes. Entre las más usadas y aplicadas están las siguientes:

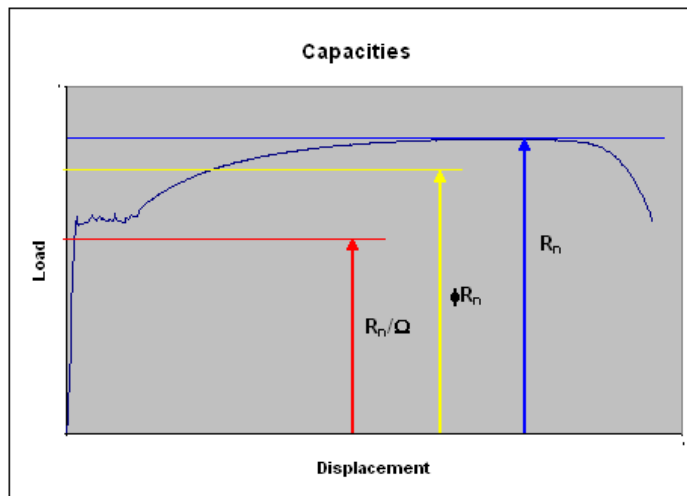
ASD	LRFD
$P_n = (1.0 * D) + (1.0 * L)$	$P_n = (1.2 * D) + (1.6 * L)$



- $P_n$  = Carga nominal aplicada en la estructura.
- $D$  = Carga muerta aplicada en la estructura.
- $L$  = Carga viva aplicada en la estructura.

La diferencia entre estas dos metodologías no solo está en la forma de como castigan el material al implementar un factor de seguridad y un factor de reducción, sino también en la forma en como la carga actúa. Podemos hacer dos claras distinciones, la primera, es como las metodologías reducen la efectividad de los elementos con sus respectivos factores de seguridad y reducción. La segunda la forma como es aplicada la carga nominal. Es verdad que el factor de reducción de la metodología ASD castiga de forma muy brusca la resistencia de los materiales, sin embargo no castiga de ninguna forma la carga nominal. Por otro lado el método LRFD es menos agresivo en reducir la efectividad de las resistencias, sin embargo la carga es incrementada ligeramente como criterio de seguridad.

El método ASD es el más empleado actualmente, es un método conservador y más antiguo. Mientras que el LRFD es mucho más actual, un poco menos conservador pero a cambio un poco más eficiente. El ASD al tener un factor de seguridad mayor en algunas ocasiones ocurre el sobredimensionamiento de los elementos estructurales, si bien es cierto esto puede brindar mayor seguridad a costo de eficiencia en el ámbito económico. A pesar de que el método de diseño LRFD sea menos conservador este posee un mejor relación con respecto a su eficiencia, es un método nuevo que aún no tiene gran acogida sin embargo es seguro y eficiente.



(Comparación de la capacidad de carga de los elementos con sus respectivos factores de seguridad y reducción) Figura DC5.1 Comparison of LRFD/ASD Capacities

$R_n$	Capacidad de Carga ASD
$\phi R_n$	Capacidad de Carga LRFD
$R_n$	Capacidad de carga nominal

Para todos los cálculos de las cargas, fuerzas y esfuerzos dentro del elemento se pueden observar la diferencia entre estas metodologías. A pesar de que dentro del análisis de los esfuerzos y resistencias en los elementos estructurales los factores de

seguridad y de reducción varían, el proceso de análisis es muy parecido y contempla el estudio de cargas axiales, momento y corte.

	LRFD	ASD
Cargas Axiales	$P_u < P_n$ $P_u/P_n < 1.00$	$P_u < P_n$ $P_u/P_n < 1.00$
Momento	$M_u < M_n$ $M_u/M_n < 1.00$	$M_u < M_n$ $M_u/M_n < 1.00$
Corte	$R_u < R_n$ $R_u/R_n < 1.00$	$R_u < R_n$ $R_u/R_n < 1.00$

## 2.2.- Resistencia de Diseño

Para un diseño eficiente y seguro debemos asegurarnos que el elemento estructural soportara la carga a la cual está sometido durante su vida útil. Este esfuerzo está delimitado por la resistencia del material mejor conocido como su punto de fluencia “ $f_y$ ” en el acero, capacidad de compresión en “ $f_c$ ” en el hormigón. Los puntos de fluencia determinan la capacidad de carga y deformación de un material y a su vez la capacidad de dicho material de regresar a su estado y forma original, estos se los conoce como límite elástico y límite plástico y están representados en el siguiente gráfico (Mosocoso, 2015).

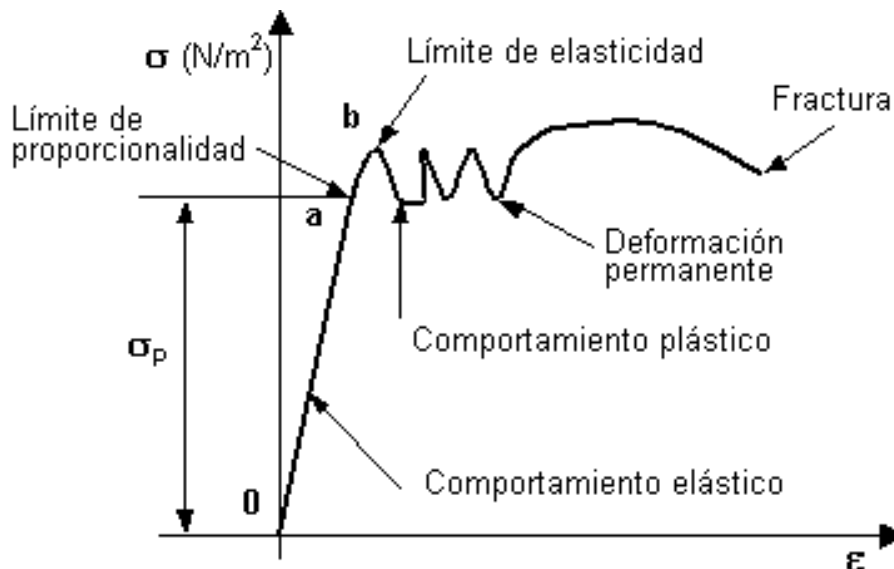


Gráfico del comportamiento de los materiales  
Esfuerzo / Deformación

Se conoce como comportamiento elástico cuando un material está sometida a una carga y este material es deformado, sin embargo cuando la carga es retirada el material regresa a su estado original recuperando su forma original y su resistencia. Cuando la carga supera cierto valor el material entra en su límite plástico, lo que quiere decir que luego de recibir cualquier tipo de carga este se deforma, cuando la carga es retirada el material no regresa a su forma natural ni recupera la resistencia para la cual

estuvo diseñado. Por otro lado, cuando un material sobrepasa su límite plástico este pierde su capacidad de recuperarse e incluso puede llegar al punto de fractura, donde el material se rompe ocasionando grandes pérdidas.

En el momento de diseñar, independiente de las metodologías que se utilice o del tipo de diseño que se esté realizando se utiliza los puntos de fluencia del material. Se utilizan la resistencia del material en su límite elástico para determinar cargas y esfuerzos de servicios. De esta manera el diseñador se asegura de que su estructura se mantenga en el límite elástico, lo cual va a permitir pequeñas deformaciones pero todas estas podrán regresar a su estado normal una vez la carga desaparezca. Y se utiliza un punto dentro del límite plástico para determinar cargas y esfuerzos últimos. Estos se los analiza para determinar el peor de los casos ya que con esta carga determinamos hasta qué punto un elemento puede deformarse sin sufrir fallas por colapsos. Es importante determinar ambas cargas, ya que en el caso de un fuerte evento natural la capacidad de una estructura deformarse sin colapsar determinará si ese evento se convierta en un desastre o les permitirá a las personas evacuar la edificación sin daños.

### **2.3.- Fallas**

“Una falla ocurre cuando un material o un elemento estructural no cumple con las funciones para la cual fue diseñado” (Godoy, 2005). Dentro de las fallas más comunes que pueden sufrir los materiales encontramos las siguientes:

A. Fallas por plasticidad: Los elementos tienen un límite elástico y un límite plástico. cuando un material entra en su límite elástico, este se deforma, sin embargo una vez que las fuerzas dejan de actuar en el material este regresa a su estado natural. Sin embargo, cuando las fuerzas actuantes son mayores y sobrepasan el límite elástico, el material entra en lo que denominamos límite plástico, donde pierde su forma original y una vez que la fuerza es retirada, este material no regresa a su estado natural.

B. Fallas por fractura: Cuando se ejerce una fuerza mucho mayor al límite plástico o esta fuerza se la aplica de manera muy brusca un material puede sufrir fallas por fractura, es decir este material se rompe. Estas fallas son más comunes en materiales con poca ductilidad.

C. Fallas por fatiga: Esta falla se presenta con facilidad cuando un material es sometido a esfuerzos de manera repetitiva sin mantenimiento ni tratado. Cuando las fuerzas y esfuerzos son aplicadas de manera cíclica en un material este comienza a fallar en pequeñas proporciones disminuyendo su límite elástico con cada ciclo de deformación que sufre.

Es importante entender que en el aspecto de las fallas estas no siempre significan un colapso o una catástrofe.

### **2.4.- Fuerzas y Esfuerzos**

Cuando se habla del diseño de placas base de anclaje para columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado existen primordialmente tres tipos de esfuerzos y cargas que se pueden encontrar actuando sobre el elemento, cargas axiales, cargas de momento y cargas de cortante. Independientemente de la metodología que se use (ASD o LRFD) estos tres tipos de cargas se encuentran presentes en la el sistema de placas de

anclaje. Cada una de estas cargas y esfuerzos requiere un análisis para diseñarlos de forma que no fallen. Para el diseño usando el método ASD no existe encontramos una diferenciación entre diseñar para un carga de servicio o una carga última, como se mencionaba anteriormente se utiliza un factor de seguridad único de 2.00. Por otro lado, cuando usamos la metodología LRFD, el factor de reducción varía dependiendo si usamos una carga de servicio (=0.90) o una carga última (=0.75).

a. Esfuerzos por carga axial

ASD	LRFD
$P_u = (f_y * A) / \Omega$	$P_u = \Phi * f_y * A$

b. Momento

ASD	LRFD
$M_u = (f_y * d) / \Omega$	$M_u = \Phi * f_y * d$

c. Cortante

ASD	LRFD
$R_u = (f_y * L_c * t) / \Omega$	$R_u = \Phi * f_y * L_c * t$

## 2.5.- Área de la sección transversal

Los elementos estructurales están sometidos a distintos tipos de esfuerzos. Los más comunes son esfuerzos axiales de tensión o compresión. En un elemento estructural el área de la sección transversal se conoce como el área perpendicular al eje donde está actuando la fuerza. Por ejemplo, en el caso de una columna con una dimensión de 500mm x 500mm x2000mm, la fuerza axial actúa sobre la columna siguiendo la longitud de esta.

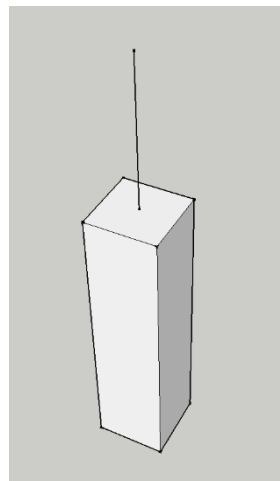


Figura No. 1

## Columna con carga nominal axial

Como podemos observar en esta figura la carga axial corresponde a la línea que está actuando sobre una columna de dos metros a lo largo de su eje longitudinal. Por lo tanto el área de la sección transversal sería el área cuadrada de 500mm x 500mm perpendicular al eje el cual está actuando la fuerza.

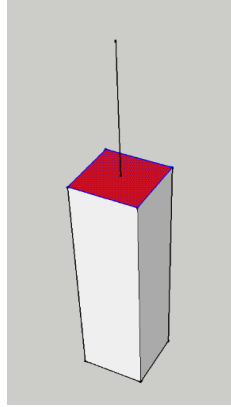


Figura No. 2  
Sección transversal en la columna

En esta figura el área de la sección transversal está sombreada con rojo, como sabemos el área de un rectángulo o cuadrado es su base multiplicado por su altura, como sabemos la sección transversal sería la que se encuentra perpendicular al eje de acción de la fuerza, es decir que la longitud de la columna queda fuera de esta ecuación, en este caso el área de la sección transversal de la columna es de 2500 mm<sup>2</sup>.

Para el objeto de nuestra investigación la sección transversal tiene una importancia muy relevante. La resistencia de esta placa estará basada en su área de sección transversal, esta placa por lo general va anclada o soldada, alterar el área transversal significa alterar la resistencia final del elemento. Esta área se la conoce como Área general,  $A_g$  (Gross Area).

### 2.6.- Área Neta

Los miembros de acero que sirven como conectores se juntan a los elementos por medio de soldaduras o en el objetivo de la investigación por pernos. Para el sistema de anclado por medio de pernos, la placa base tendría que ser perforada dejando el espacio suficiente para los pernos. Esto ocasiona una reducción del área de la sección transversal de dicho elemento. Esta área reducida por los huecos de los pernos representará menor resistencia en el momento de diseño, y se la tiene que considerar para un diseño óptimo.

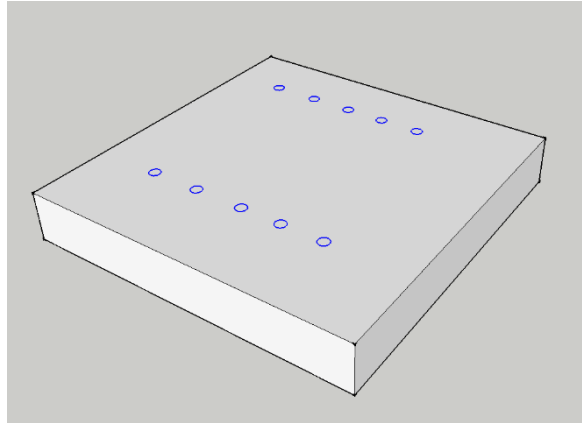


Figura No.3  
Placa base con huecos para pernos

Tomando como ejemplo la figura superior, los elementos circulares sombreados de azul serían las ubicaciones hipotéticas de los pernos, estos espacios circulares son huecos. En esta imagen representamos una placa de 300mm x 300mm x 45mm. Suponiendo que analizaremos las fuerzas actuando sobre la placa como un esfuerzo axial " $f$ " que estaría ubicada en el centro de la placa. En este ejemplo el área de la sección transversal sería los 300mm x 45mm de base y altura perpendicular a la Fuerza axial " $f$ ", sin embargo, para encontrar el Área Neta de esta placa debemos restar el área hueca que ocasionan los agujeros donde estarán ubicados los pernos para anclar la placa base. Por lo tanto el área neta " $A_n$ " es el área de sección transversal " $A_g$ " menos la sumatoria de las áreas huecas de los pernos.

## 2.7.- Area Efectiva

Dentro del diseño de las placas base se tiene un concepto más de área, el área efectiva. Todo elemento estructural que sometido a una conexión (pernos en este caso), será debilitado por la misma conexión hacia el miembro, esta debilitación se la conoce como "eficiencia de la conexión"(joint efficiency).

El área neta ( $A_n$ ) de una placa base es su área general menos la sumatoria del área de los huecos para los pernos. Estos orificios debilitarán el elemento y no le permitirán trabajar con todo su potencial como si fuera una placa entera sin orificios. Por lo tanto, para encontrar el área que trabajara con efectividad, Área Efectiva ( $A_e$ ), se debe multiplicar el área neta por el coeficiente de eficiencia de la conexión. Este coeficiente se lo denomina,  $U$ .

$$A_e = A_n * U$$

Para el objeto de este trabajo de investigación el coeficiente de eficiencia de la conexión se determinará tomando como base las recomendaciones de diseño del AISC B3, donde se especifica que si la placa los siguientes casos:

- a. Si los pernos se encontrarán ubicados de forma simétrica, con 3 o más pernos por eje entonces  $U = 0.90$

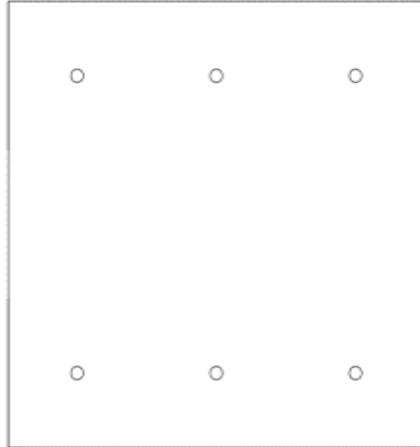


Figura No. 4  
Placa base con 3 pernos por eje

- b. Si los pernos se encuentran ubicados de forma simétrica con 3 pernos en un eje y dos en otro entonces  $U = 0.85$

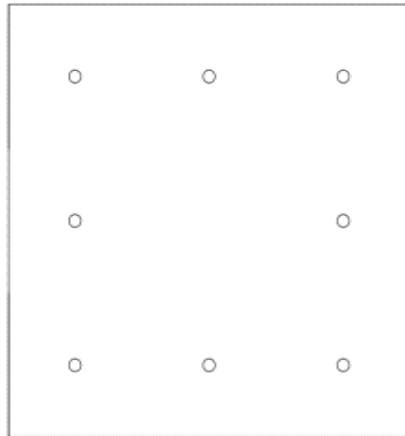


Figura No. 5  
Placa base con 3 pernos y 2 pernos por eje

- c. Si los pernos se encuentran ubicados en un solo eje entonces  $U = 0.75$

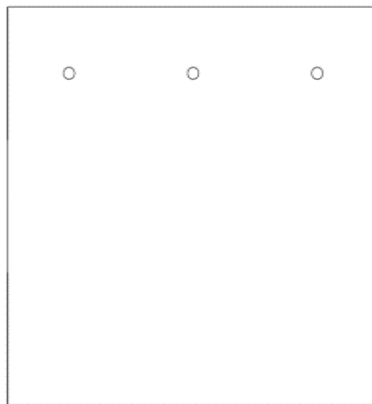


Figura No. 6  
Placa base con pernos ubicados de forma asimétrica.

En ninguno de los casos se recomienda a tener menos de 2 pernos por eje o ubicarlos de manera asimétrica a lo largo de la placa. Esto ocasiona un área no efectiva para diseño poniendo en riesgo la viabilidad de la edificación.

## 2.8.- Bloque cortante

En algunos casos la configuración de la conexión que se emplea produce que un segmento, es decir una porción del miembro, por lo general en forma de bloque tiende a desprenderse. Este es un fenómeno estructural que ocurre sobre la asunción de que una de las partes de la conexión falla por fractura y la otra por plasticidad. El segmento sometido a cortante falla por fractura, mientras que el segmento sometido a tensión falla por flexión. Esto produce que el segmento que se encuentra sometido a cortante tienda a querer desprenderse del miembro conector (García, 2013).

Lo más común en estos casos en estos casos es que la ruptura del miembro justo en la parte más débil del mismo, los huecos donde se ubican los pernos de anclaje. Para esto se debe analizar el espaciamiento apropiado de los miembros conectores y qué tan eficientes estos serán frente a los esfuerzos cortantes.

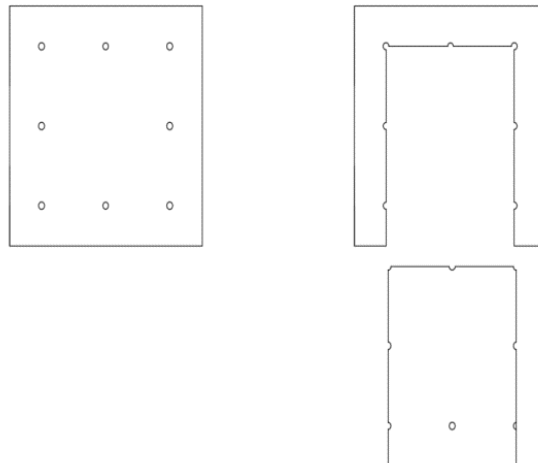


Figura No.7

### Falla por bloque cortante

Para determinar si el miembro conector ha sido diseñado correctamente y exista peligro de una falla por bloque cortante debemos asegurarnos que cumpla con la siguiente relación.

ASD	LRFD
$R_n = (1.2 * L_c * t * F_u) / \Omega < (2.4 * d * t * F_u) / \Omega$	$R_n = (1.2 * L_c * t * F_u) < (2.4 * d * t * F_u)$

## 2.9.- Esbeltez

Para el diseño estructural de un miembro conector que trabaja a tensión encontrar el área neta es algo primordial, sin embargo tenemos que contar con su esbeltez, que es la relación entre el área neta de un elemento y su largo. Esto nos ayuda a determinar el radio de giro de dicha área neta. Debido a que el elemento estructural que estamos analizando es una placa base, la longitud correspondiente de la misma



corresponde al espesor de la placa. Para nuestro caso específico de investigación, la placa estará empredada, así que no basta con considerar el área neta si no considerar el área efectiva (Ridell, 2010).

Para satisfacer el radio de giro la esbeltez de un miembro conector tiene que cumplir:

$$r < L/300$$

Por lo tanto, para cumplir este criterio de diseño debemos encontrar el radio de giro con ayuda de la inercia del elemento,  $I = A * r^2$ , despejando el radio de giro obtenemos:

$$r = \sqrt{I/A}$$

Entonces, para que el miembro cumpla con los criterios de diseño para cumplir con la esbeltez la relación entre su radio de giro y su longitud deben ser menor a 300.

$$(L/r) < 300$$

## 2.10.- Espaciamiento y distancia del borde

Para mantener un espaciamiento seguro entre perno y perno hay que considerar dejar un espacio para maniobrar e instalar los pernos. Por eso el AISC en la sección J3.3 recomienda que el espacio requerido del centro al centro de cada agujero se toma como mínimo la expresión:

$$2 \frac{2}{3} * d$$

## 2.11.- Placas Base

Las placas bases son un elemento crítico en el sistema de placas de anclaje metálicas. Cumplen la función de conectar la columna de acero con sus cimentaciones. Este elemento está diseñado para soportar las cargas por gravedad de la estructura y brindar parte de la resistencia de cargas laterales que soportara la estructura (carga sísmica o por efecto de viento).

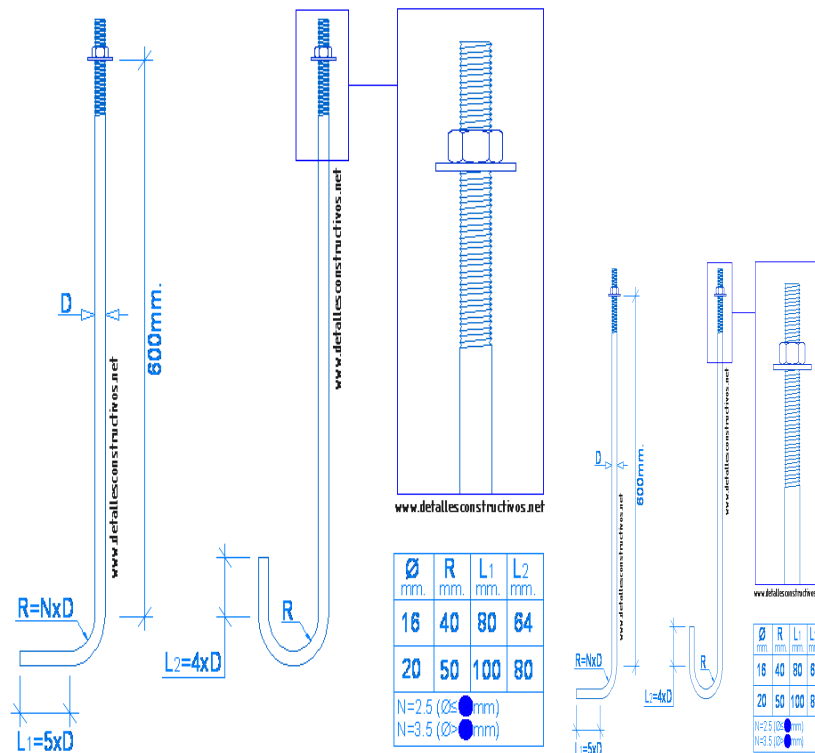
Las placas bases se muestra en la siguiente figura.



## 2.12.- Pernos de anclaje

Los pernos de anclaje son el otro elemento clave del cual conforma el sistema de anclaje para estructuras metálicas a cimentaciones de hormigón armado. Estos son los miembros conectores que unirán a la columna con su respectiva placa base al dado de hormigón armado. En muchas ocasiones la falla de una estructura o un elemento estructural no se da por el miembro en sí, sino más bien por un pobre diseño de las conexiones del miembro, y aquí radica la importancia de un diseño incluso en los pernos de anclaje (Chávez, 2011).

Los pernos de anclaje para placas base no son pernos comunes, debido a que su diseño y objetivo son soportar fuerzas de cortante y momento estos son mucho más largos y de mayor espesor que pernos comunes utilizados en otros tipos de conexiones. Son parecidos a una varilla con el final doblado, la parte expuesta es rosca y diseñada para ser anclada con tuercas hexagonales como se muestra a continuación.



## 2.13.- Pernos Comunes

Dentro de los tipos de pernos recomendados por el AISC para el diseño y construcción de sistemas de placas metálicas podemos encontrar los pernos ASTM A307. Estos pernos son los que denominamos pernos comunes. La resistencia de diseño para estos pernos la denominamos como  $\phi R_n$ . La resistencia de diseño la determinamos con la siguiente expresión:

ASD	LRFD
$R_n = (F_v * A_b) / \Omega$	$R_n = \phi * F_v * A_b$

Donde:

- $\phi$  = Factor reducción para determinar la resistencia, es constante y recomendado por el AISC con el método LRFD con el valor de “0.75” para cargas últimas y “0.90” para cargas de servicio.
- $\gamma$  = Factor de seguridad para determinar la resistencia, es constante y el valor conservador recomendado es de “2.00”
- $F_v$  = Esfuerzo admisible del material, este dato se lo obtiene por medio de los fabricantes de dichos pernos o las tablas del AISC.
- $A_b$  = Sección transversal del área del perno utilizado o area nominal del perno.

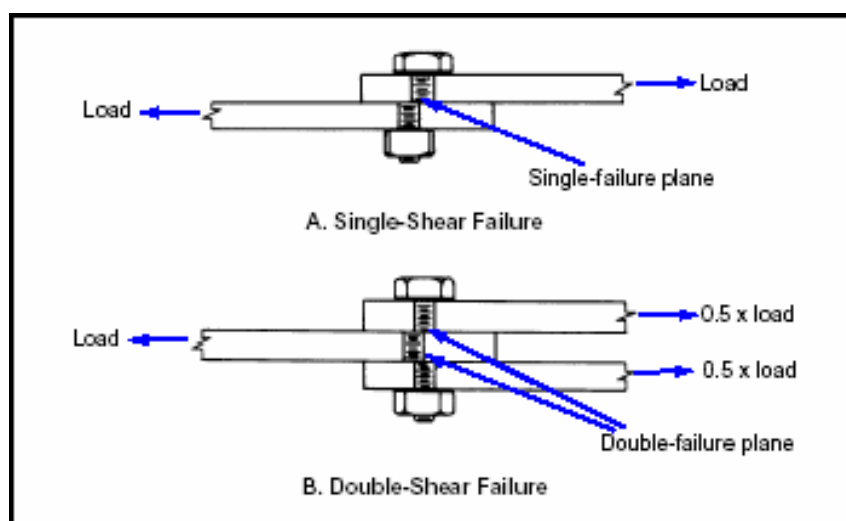
## 2.14.-Pernos sometidos a cortante y momento

Uno de los criterios de diseño a considerar para los pernos de anclajes es su resistencia a cortante y momento. Debido a que una de las funciones de las placas de anclaje son soportar y brindar un apoyo a la estructura para resistir cargas laterales, estos están sometidos a esfuerzos de cortante y momento.

El esfuerzo que soporta cada perno depende del material y el área (diámetro) del mismo, estos factores son constantes y obtenidos de los proveedores de dichos materiales. Para conocer las cargas que pueden soportar los pernos dependemos de las siguientes ecuaciones:

- **Cuando la carga es axiales:**  $P = f * A$  , donde  $A = (\pi * d^2)/4$
- **Cuando la carga es laterales:**  $P = f * A$ , donde  $A = d * t$

Consideramos  $A = (\pi * d^2)/4$  en cargas verticales debido a que las cargas actuarán en el mismo eje del perno, el cual en ese eje vertical su área es redonda. Por otro lado, para encontrar la carga en el eje horizontal usamos  $A = d * t$ , siendo  $d$  el diámetro del y  $t$  el espesor de la placa de anclaje. En el segundo caso, para fuerzas horizontales, no usamos un área redonda sino una cuadrada debido a la forma en cómo actúa la fuerza en ese elemento mostrado a continuación (Garzón, 2011).



**Capítulo 3**  
**Propuesta de Diseño**

### 3.1 Enfoque

Dentro del diseño estructural de placas base metálicas de anclaje de columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado por medio de pernos existen dos métodos de diseño, LRFD (Load and Resistance Factor Design) y ASD (Allowable Strength Design). Ambas metodologías son muy parecidas, sin embargo se diferencian en; los factores de seguridad rigurosos de parte de la metodología ASD y los factores de reducción de resistencia de parte de la metodología LRFD. La metodología ASD, es un poco más antigua, sus especificaciones técnicas no cubren ciertos materiales como acero estructural de resistencia mayor a 70 KSI o pernos reforzados para anclaje. Mientras que la metodología LRFD es más nueva, y tiene más criterios de seguridad y cubre más tipos de material estructurales, incluso analiza de forma más profunda otros aspectos como el espaciamiento de los pernos y las áreas efectivas que se reducen con los huecos para los pernos (Mosocoso, 2015).

En el Ecuador existen edificaciones de estructuras metálicas que poseen diseños estructurales en sus columnas de acero resistencias entre 90 KSI y 60 KSI. Si utilizamos la metodología ASD, en el momento de diseñar estructuras metálicas que soporten una carga de 90 KSI su diseño no va a ser del todo eficiente debido a los altos factores de seguridad que empleamos al usar ASD, es decir la estructura quedaría un poco sobredimensionada. Por otro lado, debemos de considerar que los factores de reducción de la metodología LRFD son más específicos y cubren ambos puntos de fluencia para un diseño con cargas de servicio y un diseño con cargas últimas. En Ecuador tenemos cierto grado de peligrosidad sísmica y ciertas fallas en el ámbito de fiscalización de obra. Como tal, tomando en consideraciones estas premisas lo ideal sería que si existiese una normativa, un método de diseño establecido para un mejor desarrollo de diseño y fiscalización. En esta propuesta se establecerán una guía de diseño utilizando cualquiera de estos dos métodos que podría servir para complementar la NEC o como guía para cualquier persona encargada de su diseño.

El sistema de placas de anclaje empernadas sirve para transmitir las cargas y esfuerzos de una estructura metálica a una cimentación de hormigón armado. Su función es primordial para que una estructura se comporte como un solo elemento desde su cimentación hasta toda su estructura. Si nos fijamos en la NEC, el capítulo 2 Estructuras de Acero, en la sección 7 habla específicamente de juntas empernadas, sin embargo si nos fijamos bien en esa sección (Ver Anexo 1), no existe una guía ni una especificación concreta sobre este tema. De hecho sólo existen dos referencias no muy claras sobre un sistema de anclaje empernado que son la de los tipos de huecos y pernos en la sección 7.1, y en la sección 7.3 donde hablan de la base de la columna también solo se refiere de manera muy superficial los requerimientos de resistencia a cargas.

Esta investigación consiste en crear una propuesta para anexar al capítulo 2 Estructuras Metálicas, sección 7, donde se indique de manera detallada y sencilla el proceso de diseño para un sistema de placas base de anclaje para columnas de acero a cimentaciones de hormigón armado. Esta guía contempla desde el análisis de las fuerzas y esfuerzos que actuarán dentro del sistema de placas de anclaje, hasta la verificación del diseño y el cumplimiento de las recomendaciones del ASIC.

Considerar que independientemente de que metodología se use, ASD o LRFD, el análisis de fuerza y esfuerzos van a ser similares. Sin embargo, cuando realizamos la verificación del diseño se encontrarán algunas diferencias. Como lo mencionamos anteriormente, antes de empezar cualquier análisis y diseño, se debe definir de antemano qué metodología usar ya que no se puede cambiar de metodología en medio proceso. Las diferencias clave que encontraremos son:

- ASD tiene un factor de seguridad de 2.00.
- LRFD mantiene un factor de reducción 0.9 en cargas de servicio y 0.75 en cargas últimas.
- ASD al ser una metodología más antigua y conservadora no analiza ciertos aspectos.
- ASD no penaliza la carga.
- LRFD penaliza la carga.
- LRFD analiza el espaciamiento entre pernos, algo que ASD no.

### **3.2 Propuesta de Diseño**

La propuesta consiste en las siguientes secciones:

Sección 1: Análisis de Fuerzas, capacidad de carga y dimensión de los elementos.

- 1.1 Determinar las fuerzas actuantes y Momentos actuantes
- 1.2 Determinar la excentricidad efectiva (solo en el caso de exista excentricidad)
- 1.3 Determinar la Longitud del desplante.
- 1.4 Determinar la resistencia a tensión de las pernos de anclaje.
- 1.5 Determinar el espesor de la placa

Sección 2: Análisis de elementos usando el Método ASD

- 2.1 Análisis Placas Base con Carga Axial.
- 2.2 Análisis de Placa Base sometidas a momentos.
- 2.3 Análisis de los elementos de anclaje.
- 2.4 Análisis de falla por corte.
- 2.5 Interacción Cortante-tracción.

Sección 3: Análisis de elementos usando el Método LRFD

- 3.1.- Análisis Placas Base con Carga Axial.
- 3.2.- Análisis de Placa Base sometidas a momentos.
- 3.3.- Análisis de los elementos de anclaje.
- 3.4.- Análisis de falla por corte.
- 3.5.- Interacción Cortante-tracción.

**Capítulo 4**  
**Normativa Integral para Placas de Anclaje**

## Sección 1: Análisis de Fuerzas, capacidad de carga y dimensión de los elementos.

### 1.1. - Determinar las fuerzas actuantes y Momentos actuantes

Como primer paso para el diseño de una placa de anclaje se debe definir la carga axial actuante y la resistencia a esfuerzos axiales del material. Luego definir los momentos actuantes en la placa y la resistencia de la placa ante momentos. Por último determinar la resistencia del material combinado (placa de acero, pernos y dado base de hormigón armado).

ASD	LRFD
$P_u$	$P_u$
$M_u$	$M_u$
$P_p/A_1 = (1.7 * f'_c) / \Omega$	$P_p/A_1 = \Phi * 1.7 * f'_c$

$P_u$	Carga axial actuante sobre el elemento estructural.	Ksi
$M_u$	Momento actuante sobre el elemento estructural.	Ksi-in
$P_p/A_1$	Carga axial actuante sobre el área de la cimentación.	In
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas de servicio.	0.9
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas últimas.	0.75
$\Omega$	Factor de seguridad ASD.	2.00
$f'_c$	Punta de fluencia del concreto	Ksi

### 1.2.- Determinar la excentricidad efectiva (solo en el caso de exista excentricidad)

En el caso de exista excentricidad en el diseño se debe tomar la (Segui, 2003) siguiente medida para el diseño.

ASD	LRFD
$e = M_u / P_u$	$e = M_u / P_u$

e	Excentricidad efectiva	in
$P_u$	Carga axial actuante en el material estructural.	Ksi
$M_u$	Momento actuante en el material estructural.	Ksi-in



1.3.- Determinar la carga en el área de apoyo.

Para el proceso de determinar el área del apoyo en el cual estará actuando el momento y las fuerzas de tracción debemos determinar primero las cargas y esfuerzos dentro de la placa con la siguiente expresión.

ASD	LRFD
$f' = [(Pp/\Omega A) * b \text{ placa} * (b \text{ placa} - Lc) ]/2$	$f' = [(\Phi Pp/A) * b \text{ placa} * (b \text{ placa} - Lc) ]/2$

f'	Carga axial actuante sobre el área de la placa.	Ksi-in
Pp/A1	Carga axial actuante sobre el área de la cimentación.	Ksi
b placa	Ancho de la placa base.	in
Lc	Espaciamiento desde el borde la placa hasta el primer perno	in
Φ	Factor de reducción LRFD en cargas de servicio.	0.9
Φ	Factor de reducción LRFD en cargas últimas.	0.75
Ω	Factor de seguridad ASD.	2.00

Una vez determinando los esfuerzos dentro de la placa base se usa la siguiente expresión para determinar el área afectada por estos esfuerzos de tracción.

ASD
$A = \{ (f' - (\sqrt{f'^2} - 4 [((Pp/\Omega A1) * b^{placa})/(6))] * [ (Pu * (5.5)) + Mu] ) / [((Pp/\Omega A1) * b^{placa})/3] \}$
LRFD
$A = \{ (f' - (\sqrt{f'^2} - 4 [((\Phi Pp/A1) * b^{placa})/(6))] * [ (Pu * (5.5)) + Mu] ) / [((\Phi Pp/A1) * b^{placa})/3] \}$

A	Carga sobre el área de apoyo.	Ksi-in
f'	Carga axial actuante sobre el área de la placa.	Ksi-in
Pp/A1	Carga axial actuante sobre el área de la cimentación.	Ksi
b placa	Ancho de la placa base	in
Pu	Carga axial actuante en el material estructural.	Kip

Mu	Momento actuante en el material estructural.	Kip-in
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas de servicio.	0.9
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas últimas.	0.75
$\Omega$	Factor de seguridad ASD.	2.00

#### 1.4.- Determinar la resistencia a tensión de los pernos de anclaje

Se debe determinar la resistencia a tracción de los pernos, ya que estas son los elementos estructurales del sistema de placas de anclaje que soporten los esfuerzos de tracción. Para eso primero se determina la cantidad de fuerza actuando en todas los pernos. Luego se divide esa fuerza total por el número de pernos por eje como se muestra a continuación.

ASD	LRFD
$Ta = ([Pp / \Omega A1] * A * b^{placa} / 2) - Pu$	$Tu = ([\phi Pp / A1] * A * b^{placa} / 2) - Pu$

Tu	Tracción en los pernos de anclaje (LRFD).	Ksi
Ta	Tracción en los pernos de anclaje (ASD).	Ksi
Pp/A1	Carga axial actuante sobre el área de la cimentación.	Ksi
$b^{placa}$	Ancho de la placa base	in
A	Carga sobre el area de apoyo.	in
Pu	Carga axial actuante en el material estructural.	Ksi
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas de servicio.	0.9
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas últimas.	0.75
$\Omega$	Factor de seguridad ASD.	2.00

ASD	LRFD
$Trod = Ta / \#depernos$	$Trod = Tu / \#depernos$

Trod	Tracción en los pernos de anclaje, valor individual.	Ksi
Ta	Tracción en los pernos de anclaje (ASD).	Ksi

Tu	Tracción en los pernos de anclaje (LRFD).	Ksi
#depernos	Cantidad de pernos por eje en la placa base.	-

### 1.5.-Determinar el espesor de la placa

Para determinar el espesor de la placa de anclaje primero se debe de determinar el momento actuando sobre los pernos de anclaje. En este proceso primero debemos determinar la sección crítica de la placa.

ASD	LRFD
$Sc=b-[0.95*(B/2)]$	$Sc=b-[0.95*(B/2)]$

Sc	Sección crítica de la placa de anclaje.	in
b	Ancho de la placa base para el anclaje.	in
B	Ancho de la columna de acero.	in

Luego determinamos el momento actuando sobre la placa.

ASD
$Mapl=[(0.8*Sc^2)/2]+{\{0.67*(Pp/\Omega A-0.8)*Sc^2\}/2}$
LRFD
$Mupl=[(1.2*Sc^2)/2]+{\{0.67*(\phi Pp/A-1.2)*Sc^2\}/2}$

Mupl	Momento actuando en la placa base (LRFD).	Kip-in
Mapl	Ancho de la placa base para el anclaje (ASD).	Kip-in
Sc	Sección crítica de la placa base.	in
Pp/A1	Carga axial actuante sobre el área de la cimentación.	Ksi
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas de servicio.	0.9
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas últimas.	0.75
$\Omega$	Factor de seguridad ASD.	2.00

En el siguiente paso determinamos el momento que actuando en los pernos de anclaje.

ASD
$M_{apl}' = [T_a * (S_c - S)] / [\#depernos * (S_c - S)]$
LRFD
$M_{upl}' = [T_u * (S_c - S)] / [\#depernos * (S_c - S)]$

M <sub>upl</sub> '	Momento actuando en la placa base (LRFD).	Kip-in
M <sub>apl</sub> '	Momento actuando en la placa base (ASD).	Kip-in
T <sub>a</sub>	Tracción en los pernos de anclaje (ASD).	kips
T <sub>u</sub>	Tracción en los pernos de anclaje (LRFD).	Kips
S <sub>c</sub>	Sección crítica de la placa base.	in
S	Espaciamiento mínimo.	in
#depernos	Número de pernos por eje.	-

Por último determinamos el espesor de la placa, para estos debemos escoger cuál de los momentos es mayor, si el de la placa o el de los pernos y ese es el valor que usamos para la siguiente expresión.

ASD
$t_p = \sqrt{(\#depernos * M_{apl}) / (f_y / \Omega)}$
LRFD
$t_p = \sqrt{(\#depernos * M_{upl}) / (\Phi * f_y)}$

t <sub>p</sub>	Espesor de la palca.	in
M <sub>upl</sub>	Momento actuando en la placa base (LRFD).	Kip-in

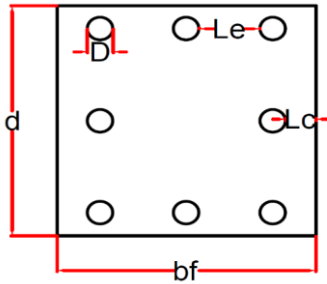
Mapl	Momento actuando en la placa base (ASD).	Kip-in
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas de servicio.	0.9
$\Phi$	Factor de reducción LRFD en cargas últimas.	0.75
$\Omega$	Factor de seguridad ASD.	2.00
fy	Punto de fluencia de la placa base.	Ksi
#depernos	Números de pernos por eje	-

## Sección 2: Análisis de elementos usando el Método ASD

### 2.1.- Análisis Placas Base con Carga Axial

#### 2.1.1.- Esfuerzo sobre el apoyo ACI 10.14.1

$$f_p = P / (d * b_f)$$



$f_p$	Carga sobre la placa base.	Ksi
$P$	Carga axial actuando sobre la placa base.	Kip
$b_f$	Ancho de la columna de la placa.	in
$d$	Largo de la columna de la placa.	in

#### 2.1.2. - Resistencia del Apoyo ACI 10.14.1

$$F_p = 0.85 * f_c \sqrt{A_2/A_1}$$

$F_p$	Carga actuante sobre el apoyo cimentación-placa.	Ksi
$f_c$	Resistencia de compresión del hormigón armado.	Ksi
$A_1$	Área de la cimentación de hormigón.	in <sup>2</sup>
$A_2$	Área de la placa base.	in <sup>2</sup>

#### 2.1.3.- Relación Resistencia-Esfuerzo ACI 9.3.2.4

$$\Omega = 2.50$$

$$[ f_p / (F_p/\Omega) ] < 1.0$$

$f_p$	Esfuerzo en la placa base.	Ksi
-------	----------------------------	-----

Fp	Resistencia del Apoyo	Ksi
Ω	Factor de seguridad (ASD)	in2

2.1.4.- Sección dominante

AISC-DG#1 3.1.2

$$m = 0.5 * [ L - (0.95 * d) ]$$

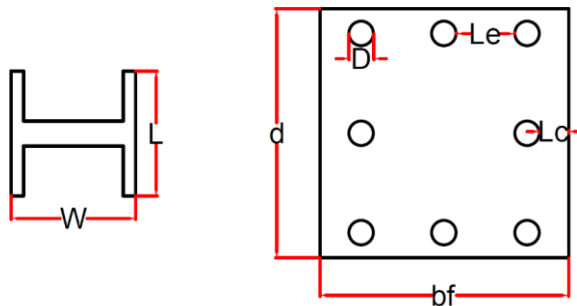
$$n = 0.5 * [ W - (0.80 * bf) ]$$

$$X = [ (4 * d * bf) / (d + bf)^2 ] * \text{Relación Esfuerzo-apoyo}$$

$$\gamma = [ (2 * X) / (1 + (1 - X)) ]$$

$$n' = 0.25 * d * bf$$

$$k = \text{Valor Mayor} ( m, n, n' )$$



k	Sección crítica dominante	in
m	Sección crítica del largo de la placa	in
n	Sección crítica del ancho de la placa	in
X	Centroide en eje horizontal.	-
γ	Centroide en eje vertical.	-
n'	Sección crítica incluyendo centroides X y γ	in
k	Sección crítica dominante	in
L	Longitud de la cimentación de hormigón armado.	In

W	Ancho de la cimentación de hormigón armado.	in
d	Longitud de la placa base.	In
bf	Ancho de la placa base.	in

### 2.1.5.- Momento en la Placa Base

AISC-DG#1 3.1.2

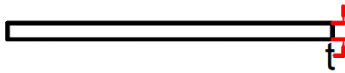
$$M = fp * (k2 / 2)$$

M	Momento en la placa base	k-in/in
fp	Esfuerzo en la placa base.	ksi
k	Sección crítica dominante	in

### 2.1.6.- Espesor de la Placa Base

AISC-DG#1 3.1.2

$$t = \sqrt{k (2 * Omega * fp) / fy}$$



t	Espesor de la placa	in
k	Sección crítica dominante	in
Omega	Factor del tipo de material (ver AISC-DG#1 3.1.2)	1.67
fp	Esfuerzo en la placa base.	ksi
fy	Punto de Fluencia.	ksi

## 2.2.- Análisis de Placa Base sometidas a momentos

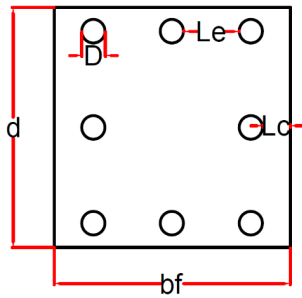
### 2.2.1.- Excentricidad

AISC-DG#1 B.4.2

$$e = M / P$$



$$e > (d/6)$$



e	Excentricidad de la placa base	in
M	Momento en la placa base	k-in/in
P	Carga axial sobre la placa base	ksi
d	Largo de la placa base	in

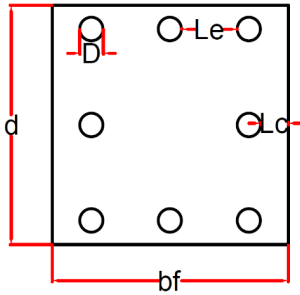
#### 2.2.2.- Longitud del área de apoyo AISC-DG#1 B.4.2

$$Y = 1.5 * [(L/2) + RO] - [0.5 * \sqrt{\{9 * [(d/2) + RO]\} - \left\{ \frac{[24 * (P * RO + M)]}{(FP * bf)} \right\}}]$$

Y	Longitud del área del apoyo.	in
d	Longitud de la Placa.	in
RO	Constante	1.00
M	Momento en la placa base.	k-in/in
Fp	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi
Bf	Ancho de la placa base.	in

#### 2.2.3.- Análisis de Tracción AISC-DG#1 B.4.2

$$T = [fp * Y * (bf/2)] - P$$



T	Esfuerzos de tracción actuando en la placa.	kip
Fp	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi
Y	Longitud del área del apoyo.	in
bf	Ancho de la placa base.	in
P	Carga axial sobre la placa base	ksi

2.2.4.- Carga sobre la sección crítica AISC-DG#1 B.4.2

$$fp1 = fp * [1 - (m/Y)]$$

fp1	Esfuerzo en la sección crítica del apoyo.	ksi
fp	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi
m	Sección crítica del largo de la placa	in
Y	Longitud del área del apoyo.	in

2.2.5.- Momento debido al longitud del área del apoyo AISC-DG#1 3.1.2

$$Mb = [fp1 * (m^2/2)] + [(fp - fp1) * (m^2/3)]$$

Mb	Momento debido a los esfuerzos en el apoyo.	k-in/in
fp	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi

fp1	Esfuerzo en la sección crítica del apoyo.	ksi
m	Sección crítica del largo de la placa	in

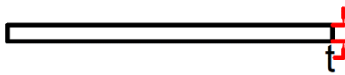
### 2.2.6.- Momento debido a esfuerzos de tracción AISC-DG#1 3.1.2

$$Mt = (T * \{m - [(L/2) - \text{Separación de las pernos}]\}) / (2 * \{m - [(L/2) - \text{Separación de las pernos}]\})$$

Mt	Momento debido al a los esfuerzos de tracción en el apoyo.	k-in/in
T	Esfuerzos de tracción actuando en la placa base.	ksi
L	Longitud de la placa base.	in
m	Sección crítica del largo de la placa	in

### 2.2.7.- Espesor de la placa

$$t = \sqrt{(1 * Mt) / (fy / \Omega)}$$



t	Espesor de la placa.	in
Mt	Momento debido a los esfuerzos de tracción en la placa base.	k-in/in
Ω	Factor de Seguridad Método ASD.	2.00
Fy	Punto de Fluencia de la placa base.	Ksi

### 2.3.- Análisis de los elementos de anclaje

Para empezar con el cálculo de los elementos de anclaje, primero debemos de tener en claro los siguientes factores:

- a. Número total de pernos.
- b. Punto de fluencia de fábrica de los pernos (fya).
- c. Punto de fluencia a tracción de los pernos (futa).

- d. Área efectiva de la sección transversal del perno de anclaje (Ase).
- e. Longitud del área de apoyo (Abrg).

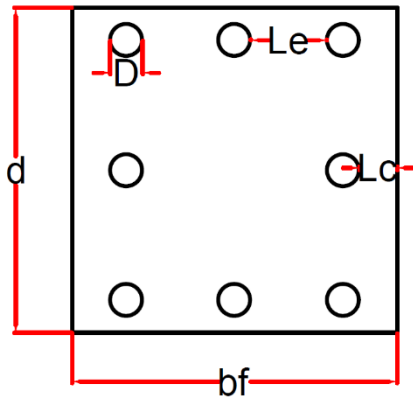
ACI D.5

Dentro del mercado nacional solo poseemos los pernos de anclaje con especificaciones del ASTM F1554-36

Anclaje	Diametro (in)	Fy a traccion (ksi)	Fy de diseño (ksi)	Rendimiento a Momento (Mpa)	Elong %	RA%
F1554-36	½ - 4	58-80	36	248	23	40

$$Ase = (\pi/4) * [D - (0.9743/nTa)]^2$$

$$Abrg = (0.866 * Fy^2) - [(\pi/4) * D^2]$$



Ase	Resistencia del acero de los elementos de anclaje	Kip
Abrg	Área efectiva de los elementos de anclaje	in <sup>2</sup>
Futa	Punto de fluencia del acero en los elementos de anclaje a tracción	Ksi
Fy	Punto de fluencia de los de anclaje.	Ksi
D	Diámetro de los pernos de anclaje.	in

n	Número total de pernos.	-
Ta	Carga de tracción actuando sobre los pernos.	Ksi

### 2.3.1.- Análisis de Tracción

$$N_i = N / \# \text{de pernos} \quad \text{ACI D.5}$$

#### a. Resistencia del acero de los anclajes en tracción ACI D.5.1

$$N_{sa} = A_{se} * f_{uta} \quad \text{ACI Eq. (D-2)}$$

$$\Omega = 2.00 \quad \text{ACI D.4.3}$$

Relación de resistencia por tracción

$$[N_i / (N_{sa} / \Omega)] < 1.00$$

Nsa	Resistencia del acero de los elementos de anclaje	Kip
Ase	Área efectiva de los elementos de anclaje	in <sup>2</sup>
futa	Punto de fluencia del acero de los elementos de anclaje a tracción	Ksi
N	Carga sobre los elementos de anclaje	Kip
Ni	Carga por anclaje individual	Kip
Ω	Factor de reducción para los elementos de anclaje de acero	2.00

#### b) Punto de quiebre del concreto por tracción de los anclajes ACI D.5.2

$$N_{gr} = A * \# \text{pernos} * \# \text{de anclajes} * f_y$$

$$\Omega = 2.00$$

$$[N / (N_{gr} / \Omega)] < 1.00$$

Ngr	Resistencia de los pernos de acero	Ksi
-----	------------------------------------	-----

$\Omega$	Factor de reducción para los elementos de anclaje de acero	-
#pernos	Numero de pernos por anclaje	-
#deaclajes	Numero de anclajes por eje	-
N	Carga sobre los elementos de anclaje	Kip

#### 2.4.4.- Análisis de falla por corte

##### 2.4.1.- Resistencia al corte de los elementos de anclaje

V

$$V_i = V / \#deaclajes$$

$$V_{sa} = 0.6 * A_{se} * f_{uta} * \text{factor de grupo}$$

$$\Omega = 2.31$$

*\*Relación de resistencia de los anclajes por corte*

$$[V_i / (V_{sa})] < 1.00$$

V	Total de cargas cortantes	Kip
V <sub>i</sub>	Total de carga cortante en un solo elemento de anclaje	Kip
$\Omega$	Factor de reducción para los elementos de anclaje de acero	2.31
#deaclajes	Número de anclajes por eje	-
V <sub>sa</sub>	Resistencia a cortante de los anclajes	Kip

#### 2.5.- Interacción Cortante-tracción

*2.5.1.- Relación de resistencia por tracción \*1.67+Relación de resistencia de los anclajes por corte \* 1.67 < 1.00*

### Sección 3: Análisis de elementos usando el Método LRFD

#### 3.1.- Análisis Placas Base con Carga Axial

##### 3.1.1- Área de apoyo del concreto

$$\phi P_p > P_u$$

$$P_p = \phi * 0.85 * f'_c * A_1 * \sqrt{(A_2/A_1)}$$

Pp	Carga axial actuando sobre el nudo placa base-cimentación.	Ksi
Pu	Cargas actuantes.	Ksi
$\phi$	Factor de reducción para cargas de servicio.	0.90
$\phi$	Factor de reducción para cargas ultimas.	0.75
f'c	Punto de fluencia del hormigón.	Ksi
A1	Área de la Placa de Acero.	In
A2	Area de la columna.	In

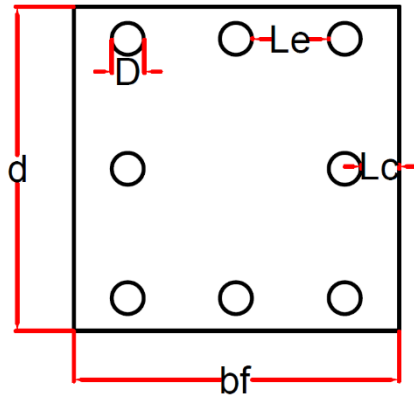
##### 3.1.2.-Verificación de Área

Concreto

$$\sqrt{(A_2/A_1)} < 2.0$$

Placa de Acero

$$b_f * d < A_1$$



A1	Area de la placa de acero	in <sup>2</sup>
A2	Area de la columna	in <sup>2</sup>
bf	Ancho de la placa	in
d	Largo de la placa	in

### 3.1.3.- Relación Resistencia-Esfuerzo ACI 9.3.2.4

$$\phi = 0.90$$

$$\phi = 0.75$$

$$[f_p / (F_p * \phi)] < 1.0$$

f <sub>p</sub>	Esfuerzo en la placa base.	Ksi
F <sub>p</sub>	Cargas axiales actuando en la placa base.	Ksi
ϕ	Factor de Reducción en cargas de servicio	0.90
ϕ	Factor de Reducción en cargas ultima	0.75

### 3.1.4.-Espesor de la placa Ecuación #5.12

$$m = [L - (0.95 * d)] / 2$$

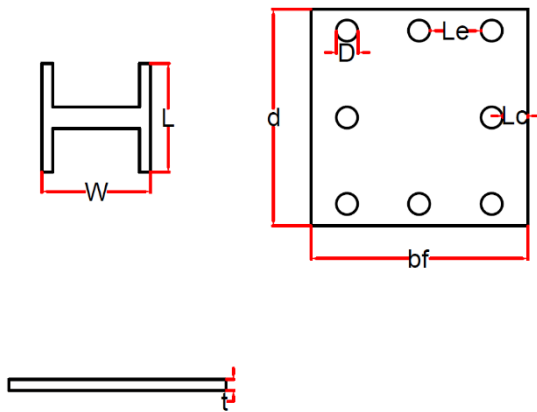
$$n = [W - (0.8bf)] / 2$$

$$n' = 0.25 * \sqrt{d * bf}$$



$$l = \max(m, n, n')$$

$$t = \sqrt[3]{(2 * Pu) / (0.9 * B * N * Fy)}$$



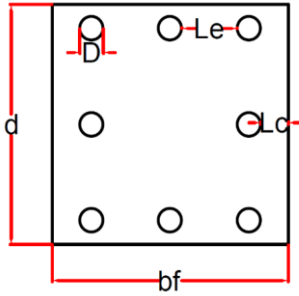
m	Sección crítica a lo largo de placa	in
n	Sección crítica a lo ancho de la placa	in
n'	Sección crítica en el centroide de la placa	in
	Factor de Seguridad	1.00
l	Mayor Sección crítica	in
t	Espesor de la placa	in
L	Largo de la columna	in
W	Ancho de la columna	in
d	Largo de la placa	in
bf	Ancho de la placa	in
Pu	Cargas actuantes	lb
Fy	Punto de fluencia de la placa	Ksi

### 3.2.- Análisis de Placa Base sometidas a momentos

#### 3.2.1.- Excentricidad AISC-DG#1 B.4.2

$$e = M / P$$

$$e > (d / 6)$$



e	Excentricidad de la placa base	in
M	Momento en la placa base.	k-in/in
P	Carga axial sobre la placa base	ksi
d	Longitud de la columna.	in

#### 3.2.2.- Longitud del área de apoyo AISC-DG#1 B.4.2

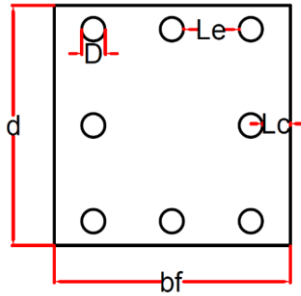
$$Y = 1.5 * [ (L / 2) + RO ] - [ 0.5 * \sqrt{9 * [(d / 2) + RO] - \{ [24 * (P * RO + M)] / (FP * bf) \}} ]$$

Y	Longitud del área de apoyo	in
d	Longitud de la placa base	in
RO	Constante	1.00
M	Momento en la placa base.	k-in/in
Fp	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi
bf	Ancho de la placa base.	in

3.2.3.- Análisis de Tracción

AISC-DG#1 B.4.2

$$T = [f_p * Y * (bf/2)] - P$$



T	Esfuerzos de tracción actuando en la placa.	kip
$f_p$	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi
Y	Longitud del área de apoyo	in
bf	Ancho de la placa base.	in
P	Carga axial sobre la placa base	ksi

3.2.4.- Apoyo en la sección crítica

AISC-DG#1 B.4.2

$$f_{p1} = f_p * [1 - (m/Y)]$$

$f_{p1}$	Longitud del apoyo en la sección crítica.	ksi
$f_p$	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi
m	Sección crítica del largo de la placa	in
Y	Bearing length.	in

3.2.5.- Momento debido al apoyo

AISC-DG#1 3.1.2

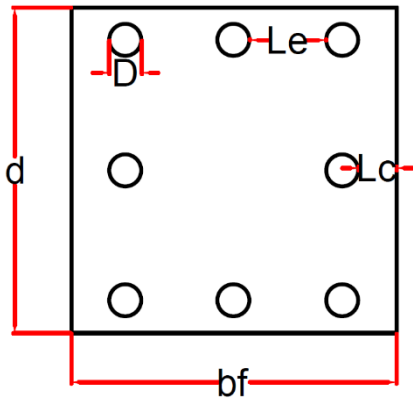
$$M_b = [f_{p1} * (m^2/2)] + [(f_p - f_{p1}) * (m^2/3)]$$

$M_b$	Momento en el área de apoyo.	k-in/in
$f_p$	Esfuerzo actuando en la placa.	ksi

fp1	Longitud del apoyo en la sección crítica.	in
m	Sección crítica del largo de la placa	in

3.2.6.- Momento debido a esfuerzos de tracción AISC-DG#1 3.1.2

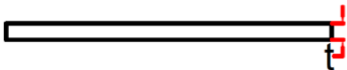
$$Mt = (T * \{m - [(d/2) - \text{Separación de las pernos}]\}) / (2 * \{m - [(d/2) - \text{Separación de las pernos}]\})$$



Mt	Momento debido a los esfuerzos de tracción.	k-in/in
T	Esfuerzo de tracción actuando en la placa.	kip
d	Longitud de la placa base.	in
m	Sección crítica del largo de la placa	in

3.2.7.- Espesor de la placa

$$t = \sqrt{(1 * Mt) / (Fy * \phi)}$$



t	Espesor de la placa.	in
Mt	Momento debido a los esfuerzos de tracción	k-in/in

$\phi$	Factor de reducción para cargas de servicio	0.90
$\phi$	Factor de reducción para cargas ultimas	0.75
Fy	Punto de Fluencia de la placa base	Ksi

### 3.3.- Análisis de los elementos de anclaje

Para empezar con el cálculo de los elementos de anclaje, primero debemos de tener en claro los siguientes factores:

- Número total de pernos.
- Punto de fluencia de fábrica de los pernos (fya).
- Punto de fluencia a tracción de los pernos (futa).
- Área efectiva de la sección transversal de los pernos de anclaje (Ase).
- Área sometida a compresión (Abrg).

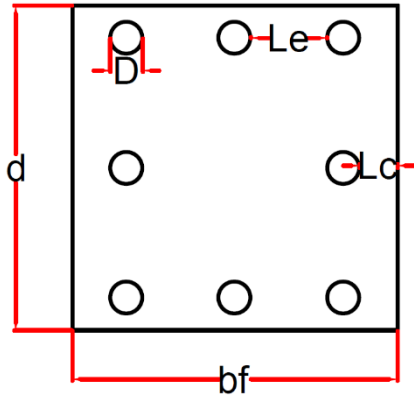
#### ACI D.5

Dentro del mercado nacional solo poseemos los pernos de anclaje con especificaciones del ASTM F1554-36

Anclaje	Diametro (in)	Fy a traccion (ksi)	Fy de diseño (ksi)	Rendimiento a Momento (Mpa)	Elong %	RA%
F1554-36	½ - 4	58-80	36	248	23	40

$$Ase = (\pi/4) * [D - (0.9743/nT)]^2$$

$$Abrg = (0.866 * Fy^2) - [(\pi/4) * D^2]$$



Ase	Resistencia del acero de los elementos de anclaje	Kip
Abrg	Área efectiva de los elementos de anclaje	in <sup>2</sup>
Futa	Punto de fluencia del acero en los elementos de anclaje a tracción	Ksi
Fy	Punto de fluencia de los pernos de anclaje.	Ksi
D	Diámetro de los pernos de anclaje.	in
n	Número total de pernos.	-
T	Carga de tracción actuando sobre los pernos.	Ksi

### 3.3.1.- Análisis de Tracción

$$N_i = N / \# \text{de pernos} \quad \text{ACI D.5}$$

- a. Resistencia del acero de los anclajes en tracción ACI D.5.1

$$N_{sa} = A_{se} * f_{uta} \quad \text{ACI Eq. (D-2)}$$

$$\phi = 0.90$$

$$\phi = 0.75$$

\*Relación de resistencia por tracción

$$[N_i / (N_{sa} * \phi)] < 1.00$$

Nsa	Capacidad de carga del acero de los elementos de anclaje	Kip
Ase	Área efectiva de los elementos de anclaje	in <sup>2</sup>
futa	Punto de fluencia del acero de los elementos de anclaje a tracción	Ksi
N	Carga sobre los elementos de anclaje	Kip
Ni	Carga por anclaje individual	Kip
ϕ	Factor de reducción para cargas de servicio	0.90
ϕ	Factor de reducción para cargas últimas	0.75

b) Punto de quiebre del concreto por tracción de los anclajes ACI D.5.2

$$N_{gr} = A * \#pernos * \#deanclajes * f_y$$

$$\phi = 0.90$$

$$\phi = 0.75$$

$$[N / (N_{gr} * \phi)] < 1.00$$

Ngr	Resistencia de los pernos de acero	Kip
ϕ	Factor de reducción para cargas de servicio	0.90
ϕ	Factor de reducción para cargas últimas	0.75
#pernos	Numero de pernos por anclaje	-
#deanclajes	Numero de pernos por eje	-
N	Carga sobre los elementos de anclaje	Kip

3.3.4.- Espaciamiento mínimo requerido AISCJ3-3

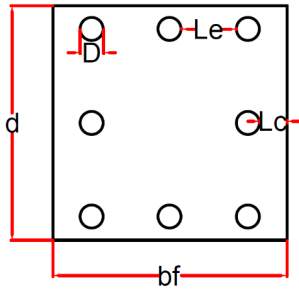
$$S > 2.67 * D$$

S	Espaciamiento mínimo de los pernos	in
D	Diámetro del anclaje	in

3.3.5.- Distancia del Anclaje al borde

AISCJ3-4

$$L_c = 1.25 \text{ in}$$

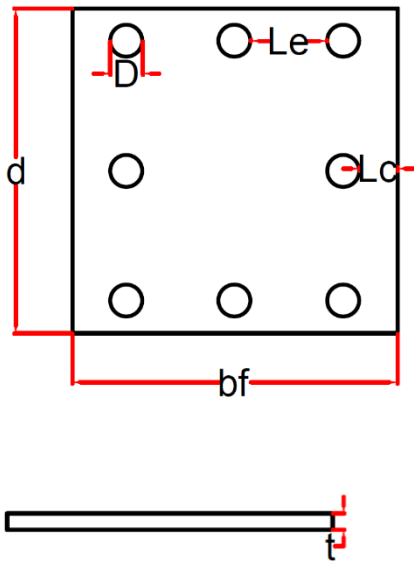


3.3.6.- Capacidad de carga del apoyo en los elementos de anclaje al lado de otros elementos de anclaje

$$h = D + d'$$

$$L_e = L_c - (h/2)$$

$$\Phi R_n = \Phi (1.2 * L_c * t * F_u) < \Phi (2.4 * d * t * F_u)$$



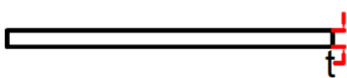
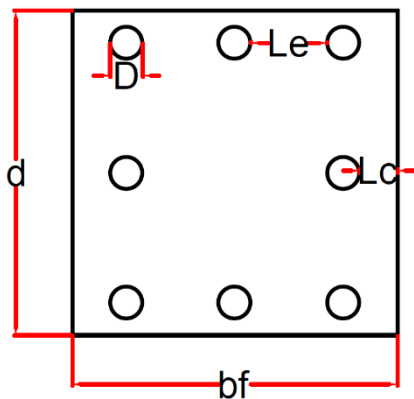


H	Diametro del agujero para el perno	in
D	Diametro del perno	in
d'	Especio extra para poder empernar	0.0625
Lc	Espacio minimo requerido	in
Le	Distancia entre elementos de anclaje	in
$\phi$	Factor de reducci3n para cargas de servicio	0.90
$\phi$	Factor de reducci3n para cargas 3ltimas	0.75
Rn	Capacidad de carga de los apoyos.	Ksi
d	Largo de la placa base	In
t	Espesor de la placa	In
Fu	Punto de fluencia del anclaje	Ksi

3.3.7.- Capacidad de carga del apoyo de los elementos de anclaje cerca del borde de la placa

$$Lc = S - h$$

$$\phi Rn = \phi(1.2 * Lc * t * Fu) < \phi(2.4 * d * t * Fu)$$



h	Diámetro del agujero para el perno	in
S	Espacio entre el anclaje y el borde de la placa	in
Lc	Espacio mínimo requerido	in
Le	Distancia entre elementos de anclaje	in
$\phi$	Factor de reducción para cargas de servicio	0.90
$\phi$	Factor de reducción para cargas últimas	0.75
Rn	Capacidad del apoyo	Ksi
t	Espesor de la placa	in
d	Largo de la placa base	In
D	Diámetro del perno	In
Fu	Punto de fluencia del anclaje	Ksi

### 3.4.- Análisis de falla por corte

#### 3.4.1.- Resistencia al corte de los elementos de anclaje

V

$V_i = V / \# \text{de anclajes}$

$V_{sa} = 0.6 * A_{se} * f_{uta} * \text{factor de grupo}$

$\phi = 0.90$

$\phi = 0.75$

\*Relación de resistencia de los anclajes por corte

$[V_i / (V_{sa} * \phi)] < 1.00$

V	Total de cargas cortantes	Kip
$V_i$	Total de carga cortante en un solo elemento de anclaje	Kip
$\phi$	Factor de reducción para cargas de servicio	0.90

$\phi$	Factor de reducción para cargas últimas	0.75
#deanclajes	Número de anclajes por eje	-
Vsa	Resistencia a cortante de los anclajes	Kip

### 3.5.- Interacción Cortante-tracción

3.5.1.- *Relación Cortante/Tracción*  $Relación\ de\ resistencia\ por\ tracción * 1.67 + Relación\ de\ resistencia\ de\ los\ anclajes\ por\ corte * 1.67 < 1.00$

**Capítulo V**  
**Uso de las placas base en la industria de la construcción civil**



Imagen 1

Uso apropiado de una placa base con pernos simétricos en dos ejes.



Imagen 2

Uso apropiado de una placa base con pernos simétricos en sus ejes.



Imagen 3  
Uso apropiado de una placa base con pernos simétricos en sus ejes.

En estas imágenes podemos observar una correcta instalación del nudo columna-placa base-cimentación. Los pernos están ubicados de forma simétrica en sus ejes. El espaciamiento entre pernos y entre el borde de la placa permite maniobrar la instalación de los mismos.



Imagen 4  
Uso inapropiado de los pernos de anclaje.



Imagen 5  
Uso inapropiado de los pernos de anclaje.

En estas imágenes podemos observar una instalación menos eficiente del nudo columna-placa base-cimentación. Los pernos están ubicados de forma asimétrica en sus ejes. El espaciamiento entre pernos y entre el borde de la placa permite maniobrar la instalación de los mismo sin embargo no se encuentran instalados de forma simétrica, lo que limita su efectividad.



Imagen 6  
Uso inapropiado de los pernos de anclaje, separación entre pernos y ubicación de la columna

En esta imagen se observa claramente una mala práctica en el diseño y en la metodología de construcción de este nudo. La columna de acero no está ubicada de forma adecuado y los pernos no son simétricos ni ubicados en un eje determinado.



Imagen 7  
Uso inapropiado de los pernos de anclaje.

Aquí se observa claramente que la columna no se encuentra ni siquiera ubicado sobre la placa base. Parte de su área está en volado y conectada de forma irresponsable. A pesar de que los pernos estén ubicados de forma simetría la ubicación de la columna es muy peligrosa.



Imagen 8  
Uso inapropiado de los pernos de anclaje.

En este caso observamos como los pernos están ubicados de forma inadecuada. No existe espacio para una correcta instalacion y están peligrosamente cerca.





Imagen 9  
Recubrimiento de hormigón para la placa base.

En algunos casos, como medida de precaución se implementa hormigón como recubrimiento. De esta forma protegen la placa base de agentes externos.

**Capítulo VI**  
**Conclusión y recomendaciones**

## **6.1 Conclusión**

El capítulo 2 de la NEC, Estructuras Metálicas, sección 7.1 y sección 7.4 hablan sobre las especificaciones técnicas mínimas para la instalación de pernos de anclaje en elementos conectores y los requisitos mínimos de resistencia para los elemento base en columnas. Sin embargo, un sistema de placas de anclaje trabaja en conjunto, tanto la placa base como los elementos conectores, es decir los pernos. No podemos explotar la eficiencia de un diseño si el elemento funciona de manera conjunta y lo diseñamos todo por separado. La guía de diseño propuesta en este trabajo de investigación serviría como un complemento.

Esta guía contempla específicamente el tema de diseño de placas de anclaje empernadas para estructuras metálicas establecido por el AISC, excluyendo el diseño de placas de anclaje soldadas. Para este trabajo de investigación se establecieron los dos métodos más utilizados, ASD y LRFD, de manera que estén a la par de los materiales presentes en nuestro medio. Como tal esta guía no contempla elementos o metodologías que aún no llegan a nuestro entorno, como edificios con excentricidad excesiva o pernos de alta resistencia.

El propósito fundamental de esta guía es permitir que los ingenieros a cargo del diseño o supervisión de un sistema de placas de anclaje empernada pueda ser empleado de forma fácil, adecuada y eficiente. Esta propuesta podría servir a la NEC, o incluso como material didáctico para su enseñanza.

## **6.2 Recomendaciones**

Al desarrollar esta investigación obtuvimos como resultado una guía de diseño para un sistema simple de placas de anclaje empernadas para columnas de acero a cimentación de hormigón armado. Sin embargo, existen aún muchos capítulos que aún están por desarrollarse para la NEC. Esta investigación podría servir como un incentivo para que demás alumnos ayuden con el desarrollo de esta normativa.

En el capítulo 2 de la NEC, Estructuras de Acero, existe también la sección de conexiones de placas base soldadas, que al igual que las conexiones empernadas aún podría desarrollarse para un mejor uso. La guía resultante de esta investigación podría incluso llegar a servir como material didáctico para complementario para el pensum de un ingeniero civil.

## **Bibliografía**

- Chávez, N. (Diciembre de 2011). Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-chavez\\_nm/pdfAmont/cf-chavez\\_nm.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-chavez_nm/pdfAmont/cf-chavez_nm.pdf)
- Córdova, A. (Enero de 2014). Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/informes-sismicos/anuales/231--50/file>
- García, E. (2013). Obtenido de <file:///C:/Users/Dell/Downloads/DAVID%20ERASTO%20GARCIA%20.pdf>
- Garzón, C. (2011). Obtenido de [http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-11\\_05-05-0695959.pdf](http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-11_05-05-0695959.pdf)
- Godoy, L. (2005). Obtenido de <http://academic.uprm.edu/~lgodoy/courses/INCI6017/1%20Introduccion/elementos%20estructurales.pdf>
- MERLE. (2014). Obtenido de <http://www.merle.es/8-Arraq.pilar-metalico.html>
- Mosocoso, J. (Marzo de 2015). Obtenido de <file:///C:/Users/Dell/Downloads/tesis.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). Obtenido de [http://www.normaconstruccion.ec/capitulos\\_nec\\_2015/NEC\\_SE\\_AC\\_\(Estructura\\_Acero\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_AC_(Estructura_Acero).pdf)
- Palma, N. (3 de Agosto de 2013). Obtenido de <http://www.eluniverso.com/noticias/2013/08/03/nota/1237061/15-anos-despues-secuelas-no-se-borran>
- Pérez, M. (Julio de 2009). *DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA*. Obtenido de [http://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7572/PFC\\_Marta\\_Perez\\_Rodriguez.pdf?sequence=1](http://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7572/PFC_Marta_Perez_Rodriguez.pdf?sequence=1)
- Ridell, R. (2010). *Introducción al diseño estructural*. Santiago: Ediciones UC.
- Segui, W. (2003). *LRFD Steel Design*. Phoenix: Thomson Brookscole.
- Tarback, E. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación.
- Vielma, J. (2014). Recuperado el 22 de Mayo de 2016, de <http://ugi.espe.edu.ec/ugi/wp-content/uploads/2013/08/Revista-Ciencia-16-Volumen-2-2014.pdf#page=37>

## **Anexos**