UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DESARROLLO DE HOJAS DE CÁLCULO PARA AUTOMATIZAR EL DISEÑO DE CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE ACERO POR EL MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES (LRFD)

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Realizado por: Losada Lázaga, Miguel Arturo
Matamoros Avila, Tamara

Profesor Guía: Castillo Gutiérrez, José Gerardo

Marzo de 2010

AGRADECIMIENTOS

El presente Trabajo Especial de Grado no hubiese sido posible sin el aporte y colaboración de su Tutor, el Prof. José Gerardo Castillo, a quien agradecemos especialmente por los conocimientos transmitidos, correcciones realizadas, sus comentarios y orientación.

A nuestros padres, por habernos brindado su apoyo incondicional y guía a lo largo de toda nuestra carrera, la cual se la debemos a ellos.

A María Fernanda Zubillaga, por su ayuda y motivación en todo momento.

A todos los que de una u otra manera, hicieron posible la realización de este trabajo.

A todos, ¡muchas gracias!

Tamara Matamoros

Miguel Losada

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS……v

INDICE DE TABLAS……..…vii

RESUMEN……viii

NOTACIÓN Y UNIDADES…….....ix

INTRODUCCIÓN……..1

CAPÍTULO I – EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN……...3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……..3
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN……4
   2.1 Objetivo General……4
   2.2 Objetivos Específicos……..4
3. JUSTIFICACIÓN……...4
4. ALCANCE Y LIMITACIONES……5
5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN……..6

CAPÍTULO II – MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL..... 8

1. EL PROCESO DE DISEÑO DE UNA CONEXIÓN…….. 8
2. CAPACIDAD DE LAS CONEXIONES……...9
   2.1 Capacidad de los Pernos.....9
      2.1.1 Pernos sometidos a Corte por Aplastamiento.....9
      2.1.2 Pernos sometidos a Tracción Axial 10
      2.1.3 Aplastamiento.....10
   2.2 Capacidad de los elementos conectados.....11
      2.2.1 Elementos sometidos a Tracción 11
      2.2.2 Elementos sometidos a Corte 13
      2.2.3 Capacidad por Bloque de Corte.....14
   2.3 Capacidad de las Soldaduras.....15
3. DETALLADO DE LAS CONEXIONES……16
   3.1 Tamaño de los Agujeros.....16
   3.2 Separaciones Mínimas entre Pernos y Distancias Mínimas a los Bordes 17
      3.2.1 Separación entre Pernos.....18
      3.2.2 Distancias al Borde 18
4. DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO…… 19
   4.1 Consideraciones Generales.....19

4.2 Procedimientos de Diseño 19
4.2.1 Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares.....19
4.2.2 Conexión Arriostramiento con Perfiles "T".....22
4.2.3 Conexión Convencional a Corte Simple con Plancha 25
4.2.4 Conexión Placa Base Articulada 28
4.2.5 Conexión Placa Base Empotrada.....31

CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO 36

1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN……36
2. OPERACIONALIZACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN……..37
3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN……..39
4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS……..40

CAPÍTULO IV – DESARROLLO DE LAS HOJAS DE CÁLCULO 41

1. GENERALIDADES Y REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL SISTEMA……... 41
2. MANUAL DE USO DE LAS HOJAS DE CÁLCULO…… 41
2.1 Consideraciones Generales……..41
2.2 Hoja de Cálculo para el Diseño de Arriostramientos con Perfiles Angulares……45
2.3 Hoja de Cálculo para el Diseño de Arriostramientos con Perfiles "T"....46
2.4 Hoja de Cálculo para el Diseño de Conexiones convencionales a Corte Simple con Plancha……48
2.5 Hoja de Cálculo para el Diseño de Placas Base Articuladas……...51
2.6 Hoja de Cálculo para el Diseño de Placas Base Empotradas……..52

CAPÍTULO V – VALIDACIÓN DE LAS HOJAS DE CÁLCULO……...55

1. GENERALIDADES……55
2. DESARROLLO DE CÁLCULOS MANUALES……55
2.1 Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares……..55
2.1.1 Verificación de la Capacidad de los Pernos……56
2.1.2 Verificación de la Capacidad del Perfil……...56
2.1.3 Verificación de la Capacidad de la Plancha……57
2.1.4 Comparación de Resultados……58
2.2 Conexión Arriostramiento con Perfiles "T"……59
2.2.1 Verificación de la Capacidad de los Pernos……59
2.2.2 Verificación de la Capacidad del Perfil……..60
2.2.3 Verificación de la Capacidad de la Plancha……61
2.2.4 Comparación de Resultados……62

2.3 Conexión convencional a Corte Simple con Plancha.....63
2.3.1 Cargas de Diseño.....64
2.3.2 Revisión de la Geometría de la Conexión.....64
2.3.3 Tamaño Máximo y Mínimo de la Plancha de Conexión.....64
2.3.4 Espesor Mínimo de la Plancha de Conexión.....65
2.3.5 Espesor Máximo del Alma de la Viga.....65
2.3.6 Capacidad de los Pernos.....65
2.3.7 Verificación de la Capacidad del Perfil.....65
2.3.8 Verificación de la Capacidad de la Plancha de Conexión.....66
2.3.9 Capacidad de la Soldadura.....67
2.3.10 Comparación de Resultados.....67
2.4 Conexión Placa Base Articulada.....68
2.4.1 Estimación de las Dimensiones de la Placa Base.....69
2.4.2 Verificación del Aplastamiento sobre el Concreto.....70
2.4.3 Cálculo del Espesor Requerido de la Placa Base.....70
2.4.4 Dimensiones Definitivas Placa Base.....71
2.4.5 Comparación de Resultados.....71
2.5 Conexión Placa Base Empotrada.....72
2.5.1 Estimación de las Dimensiones de la Placa Base.....72
2.5.2 Cálculo de la Excentricidad Equivalente y Excentricidad Crítica.....72
2.5.3 Cálculo de las Presiones sobre la Placa Base y Tensión Crítica en los Pernos de Anclaje.....73
2.5.4 Cálculo del Espesor Requerido de la Placa Base.....74
2.5.5 Revisión Pernos de Anclaje.....74
2.5.6 Dimensiones Definitivas de la Placa Base.....75
2.5.7 Comparación de Resultados.....75

CAPÍTULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 77

1. CONCLUSIONES.....77
2. RECOMENDACIONES.....78

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Trayectoria para el Cálculo de Áreas Netas en Diagonal o Zigzag……..... 12

Figura 2 Falla por Bloque de Corte en un Perfil Angular……..... 14

Figura 3 Tipos de Agujeros para Pernos……... 17

Figura 4 Separaciones entre Pernos, Distancias a los Bordes y Distancias Libres……. 18

Figura 5 Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares…….20

Figura 6 Conexión Arriostramiento con Perfiles "T"……... 22

Figura 7 Conexión a Corte Simple con Plancha……... 25

Figura 8 Placa Base Articulada……..... 28

Figura 9 Placa Base Empotrada……..... 31

Figura 10 Fases de la Investigación…… 39

Figura 11 Ejemplo Introducción de Datos de Entrada……42

Figura 12 Ejemplo Mensaje de Advertencia al Usuario……..... 43

Figura 13 Ejemplo Verificaciones del Diseño…… 43

Figura 14 Ejemplo Ventana de Advertencia al Usuario……. 44

Figura 15 Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Conexión Arriostramientos con Perfiles Angulares……46

Figura 16 Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Conexión Arriostramientos con Perfiles "T"……. 48

Figura 17 Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Conexión convencional a Corte Simple con Plancha……...50

Figura 18 Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Diseño Placas Base Articuladas…….....52

Figura 19 Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Diseño Placas Base Empotradas……..... 54

Figura 20 Ejemplo Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares…….. 55

Figura 21 Ejemplo Conexión Arriostramiento con Perfiles "T"…….59

Figura 22 Ejemplo Conexión convencional a Corte Simple con Plancha…….. 64

Figura 23 Ejemplo Placa Base Articulada…….. 69
Figura 24 Ejemplo Placa Base Empotrada…….....72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resistencia Teórica a Corte por Aplastamiento (F_v)…….. 9

Tabla 2 Resistencia Teórica a Tracción Axial (F_t)…….. 10

Tabla 3 Espesores Efectivos de Soldaduras de Filete…….....15

Tabla 4 Tamaños Mínimos de Soldaduras de Filete……16

Tabla 5 Tamaños Máximos de Soldaduras de Filete……... 16

Tabla 6 Dimensiones Nominales de Agujeros……17

Tabla 7 Operacionalización de Objetivos……38

Tabla 8 Comparación de Resultados - Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares……...58

Tabla 9 Comparación de Resultados - Conexión Arriostramiento con Perfiles "T"……63

Tabla 10 Comparación de Resultados - Conexión convencional a Corte Simple con Plancha…… 68

Tabla 11 Comparación de Resultados – Placas Base Articulada…….. 71

Tabla 12 Comparación de Resultados – Placas Base Empotrada…….....75

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Desarrollo de hojas de cálculo para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD)

Autores: Br. Tamara Matamoros / Br. Miguel Losada
Tutor: Ing. José Gerardo Castillo
Fecha: Febrero 2010

RESUMEN

En el diseño de estructuras de acero, uno de los factores claves a considerar es el diseño de las conexiones, ya que se ha demostrado que un diseño deficiente puede ser la causa de la posible falla parcial o total de la estructura. Por otro lado, el diseño de las distintas uniones es un proceso que requiere mucho cuidado y dedicación por parte del Ingeniero Estructural, ya que demanda una importante inversión de tiempo, debido a la cantidad de cálculos y verificaciones que se deben realizar en casi todos los casos que se presentan en el proyecto usual de estructuras de acero, por lo que se considera conveniente disponer de un conjunto de herramientas que le permita realizar, de manera más rápida y sencilla, el diseño y/o la revisión de las distintas conexiones que se pudieran presentar en el proyecto de estructuras de acero.

Es por esto, que el objetivo fundamental de este Trabajo Especial de Grado fue *Desarrollar un conjunto de hojas de cálculo en MS Excel® para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD).* Para el cumplimiento de este objetivo, la investigación se enmarcó dentro del tipo de *Investigación Documental*, en la cual se realizó una revisión de los requisitos que establece la normativa vigente en Venezuela para el diseño de estructuras de acero, las actualizaciones que el *American Institute of Steel Construction (AISC)* ha hecho a sus especificaciones posteriores al año 1998, año en que entró en vigencia la última versión de la Norma Venezolana, las recomendaciones y procedimientos de diseño indicados en las Guías de Diseño del AISC, así como también artículos técnicos y bibliografía especializada en el tema, de forma de determinar los parámetros que debían ser tomados en cuenta para el desarrollo de este conjunto de hojas de cálculo para el diseño de conexiones típicas en estructuras de acero. Luego, las hojas de cálculo se validaron mediante ejemplos manuales, con lo que se demostró que las mismas cumplen los objetivos establecidos. Con esto, el Ingeniero Estructural dispone de una herramienta valiosa, que le permitirá realizar el diseño de un grupo de conexiones típicas en estructuras de acero, y con la misma eficacia que si dichos diseños se realizaran de manera manual, pero de manera más óptima y eficiente, debido a que no se tendrá que invertir grandes cantidades de tiempo para verificaciones y/o revisiones, o invertir elevadas cantidades de dinero en adquirir licencias de programas comerciales especializados en diseño de conexiones.

Palabras Clave: Conexiones, Automatización, Estructuras de Acero, LRFD.

NOTACIÓN Y UNIDADES

Para efectos de este Trabajo Especial de Grado, se utilizó la notación establecida en la *Norma COVENIN 1618:1998 "Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites"* y la *Norma COVENIN 2004:1998 "Terminología de las Normas COVENIN-MINDUR"*.

Cuando hay discrepancia con la notación empleada en la Norma *ANSI/AISC 360-05 "Specification for Structural Steel Buildings"*, las siglas originales se anexan entre paréntesis al final de cada definición.

A	Área de la sección transversal (A_g).
A_1	Área de contacto del acero que se apoya concéntricamente sobre un soporte de concreto.
A_2	Área de la máxima porción de la superficie de concreto que geométricamente es similar y concéntrica con el área cargada por una columna de acero.
A_b	Área del perno correspondiente a su diámetro nominal.
A_e	Área neta efectiva.
A_n	Área correspondiente a la sección neta, o simplemente, área neta.
A_t	Área total sometida a tracción.
A_v	Área total sometida a corte.
A_{nt}	Área neta sometida a tracción.
A_{nv}	Área neta sometida a corte.
CP	Acciones permanentes.
CV	Acciones variables.
d	Altura total del perfil.
d_a	Diámetro del agujero.
d_b	Diámetro nominal del perno.
e	Excentricidad equivalente para el cálculo de las presiones en placas base.
e_{crit}	Excentricidad crítica.
F_{EXX}	Resistencia mínima especificada para el metal de aporte de la soldadura (electrodo).
F_v	Tensión teórica a corte en conexiones por aplastamiento.
F_u	Resistencia mínima de agotamiento en tracción especificada para el tipo de acero utilizado.
F_t	Tensión teórica a tracción.
F_y	Tensión cedente mínima especificada para el tipo de acero utilizado.
F_{Rw}	Resistencia teórica de la soldadura aportada por el electrodo.
L	Longitud de la conexión medida en la dirección de la carga.

L_c	Distancia libre entre los bordes de agujeros adyacentes o entre un agujero y el borde del perfil o plancha, medido en la dirección de la línea de acción de la solicitación.
L_e	Distancia del centro del agujero al borde del perfil o plancha.
M_u	Momento flector mayorado.
N_p	Resistencia teórica al aplastamiento de un apoyo de concreto (P_p).
N_t	Resistencia teórica a fuerza normal de tracción o compresión (P_n).
N_u	Solicitación mayorada de tracción o compresión normal (P_u).
R_{bs}	Resistencia teórica al bloque de corte.
R_t	Resistencia teórica.
b_f	Ancho del ala del perfil.
d_f	Distancia desde la cara exterior del ala al borde del filete del alma de un perfil laminado o la distancia equivalente en una sección soldada.
f'_c	Resistencia especificada del concreto a la compresión.
g	Separación transversal centro a centro entre líneas de pernos (gramil).
m	Número de agujeros de la trayectoria analizada.
n_b	Número de pernos (N_b).
n_s	Número de planos de corte o de deslizamiento (N_s).
S	Separación longitudinal entre pernos sucesivos (paso).
t	Espesor.
t_f	Espesor del ala del perfil.
t_p	Espesor requerido de plancha.
t_w	Espesor del alma (t).
V_u	Fuerza cortante mayorada.
x	Excentricidad de la conexión
w	Ancho de una placa; distancia entre soldaduras.
Φ	Factor de minoración de la resistencia teórica.
Φ_A	Factor de reducción del área que permite calcular el área neta efectiva (U).

Las unidades empleadas en este Trabajo Especial de Grado corresponden al Sistema Técnico MKS, Metro (m) - Kilogramo fuerza (kgf) – Segundo (s), utilizándose predominantemente el kilogramo fuerza (kgf) y el centímetro, así como sus combinaciones.

Se usarán las siguientes unidades:

Dimensiones:

- En las fórmulas (L, d, t_w, etc.): cm.
- En el detallado de las secciones y piezas de acero: mm.

- En el detallado de las secciones y piezas de concreto: cm.

Áreas: cm^2

Fuerzas: kgf

Momentos: kgf-m

Tensiones: kgf/cm^2

INTRODUCCIÓN

En el diseño de estructuras de acero, uno de los factores claves a considerar es el diseño de las conexiones, ya que se ha demostrado que un diseño deficiente puede ser la causa de la posible falla parcial o total de la estructura.

Por otro lado, el diseño de las distintas uniones es un proceso que requiere mucho cuidado y dedicación por parte del Ingeniero Estructural, ya que demanda una importante inversión de tiempo, debido a la cantidad de cálculos y verificaciones que se deben realizar en casi todos los casos que se presentan en el proyecto usual de estructuras de acero, por lo que se considera conveniente disponer de un conjunto de herramientas que le permita realizar, de manera más rápida y sencilla, el diseño y/o la revisión de las distintas conexiones que se pudieran presentar en el proyecto de estructuras de acero.

Es por esto, que el objetivo fundamental de este Trabajo Especial de Grado fue *Desarrollar un conjunto de hojas de cálculo en MS Excel® para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD)*.

Con la finalidad de facilitar el entendimiento del contenido, este trabajo se encuentra estructurado en capítulos. El *Capítulo I* presenta el planteamiento del problema de investigación, los objetivos que se plantearon al inicio, la justificación para el desarrollo de este trabajo y el alcance y las limitaciones del mismo. Asimismo, se hace una revisión de los antecedentes que se encontraron de trabajos similares o enmarcados dentro de la misma línea de investigación.

En el *Capítulo II*, se presentan las bases conceptuales de la investigación, relativas a las consideraciones y requisitos que se deben tener en cuenta para el diseño de conexiones en el proyecto usual de estructuras de acero. También, se detallan los procedimientos de diseño para las distintas conexiones comprendidas dentro del alcance de este trabajo, y que permitieron realizar el desarrollo de las diversas hojas de cálculo.

El *Capítulo III* presenta el marco metodológico para el desarrollo de esta investigación, indicando el enfoque y metodología que se siguieron para la consecución de los objetivos planteados al inicio de la misma. De igual manera, se explican las distintas fases que se siguieron para la ejecución investigación, y se detallan las técnicas e instrumentos para la recolección de los datos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

El *Capítulo IV* tiene la finalidad de ilustrar y orientar al usuario respecto al uso de las distintas hojas de cálculo desarrolladas, especificando los datos y consideraciones que se deben tener en cuenta para su adecuada implementación.

El *Capítulo V* presenta la validación de las hojas de cálculo desarrolladas, realizada a partir de la comparación de los resultados arrojados por las mismas con aquellos obtenidos a través de ejemplos manuales.

El *Capítulo VI* presenta las conclusiones alcanzadas con el desarrollo de este trabajo, partiendo de la revisión de los objetivos planteados al inicio. De igual manera, se presentan las recomendaciones que se proponen para trabajos futuros, así como aquellas oportunidades de mejora identificadas a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo de este trabajo, de forma de permitir al lector interesado profundizar más en el tema planteado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se plantea el problema de investigación, alcance, limitaciones y las razones que justifican el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Asimismo, se plantean los objetivos generales y específicos, y se revisan los antecedentes de trabajos enmarcados dentro de la misma línea de investigación.

1. Planteamiento del Problema

En el diseño de estructuras de acero, uno de los factores claves a considerar es el diseño de las conexiones, ya que se ha demostrado que un diseño deficiente puede ser la causa de la posible falla parcial o total de la estructura.

Por otro lado, el diseño de las distintas uniones es un proceso que requiere mucho cuidado y dedicación por parte del Ingeniero Estructural, ya que no sólo requiere el análisis de los posibles modos de falla de cada una de las conexiones, sino que también requiere una importante inversión de tiempo, debido a la cantidad de cálculos y verificaciones que se deben realizar en casi todos los casos que se presentan en el proyecto usual de estructuras de acero.

Las posibles fallas en los miembros, pernos, soldaduras y elementos de conexión deben ser analizadas cuidadosamente por el Ingeniero Estructural, a fin de determinar cuáles estados límites[1] controlarán el diseño para cada uno de los tipos de conexiones que se pueden presentar dentro de una estructura.

El Ingeniero Estructural debe diseñar dichas conexiones para que sean capaces de resistir las solicitaciones a las cuales estarán sometidas y así evitar que se produzcan estas fallas; lo cual puede ser un proceso largo y laborioso, especialmente si se realiza de manera manual; por esto, se considera conveniente disponer de un conjunto de herramientas que le permita realizar, de manera más rápida y sencilla, el diseño y la revisión de las distintas conexiones que se pudieran presentar en el proyecto de estructuras de acero.

Este conjunto de herramientas le permitirá al Ingeniero Estructural disminuir el tiempo necesario para el diseño de las distintas conexiones, con la ventaja adicional que ese tiempo de "sobra", pudiera ser empleado para analizar con más detalle otros aspectos del comportamiento de las estructura en cuestión.

---

[1] De acuerdo con la *Norma COVENIN 2004:1998 "Terminología de las Normas COVENIN-MINDUR de Edificaciones"*, un estado límite es "la situación más allá de la cual una estructura, miembro o componente estructural queda inútil para su uso previsto, sea por su falla resistente, deformaciones o vibraciones excesivas, inestabilidad, deterioro, colapso o cualquier otra causa" (p. 12).

Es por todo lo expuesto anteriormente, que se plantea la necesidad de desarrollar un conjunto de hojas de cálculo en MS Excel®, a fin de automatizar el diseño de un conjunto de conexiones, de manera que se facilite el trabajo del Ingeniero Estructural, reduciendo así el tiempo que se requiere para realizar todas las verificaciones y análisis necesarios que establece la normativa vigente en Venezuela, específicamente la *Norma COVENIN 1618:1998 "Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites"*, por lo que este Trabajo Especial de Grado (TEG) se planteó como objetivo principal, el desarrollo de hojas de cálculo para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el Método de Los Estados Límites (LRFD)[2].

2. Objetivos de la Investigación

2.1 Objetivo General

Desarrollar un conjunto de hojas de cálculo en MS Excel® para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD).

2.2 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Revisión de la bibliografía existente acerca del diseño de conexiones por el Método de los Estados Límites (LRFD).
- Desarrollo de la formulación, de acuerdo con la normativa vigente, para el diseño de un conjunto de conexiones típicas en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD).
- Desarrollo de las hojas de cálculo en MS Excel® para el diseño del conjunto de conexiones típicas seleccionadas.
- Validar, con ejemplos manuales, los resultados obtenidos con las hojas de cálculo desarrolladas.
- Comparar los resultados obtenidos con las hojas de cálculo con aquellos obtenidos con los ejemplos manuales.

3. Justificación

El diseño de las juntas o conexiones en estructuras de acero es uno de los aspectos fundamentales a ser considerado por el Ingeniero Estructural, por lo que su conceptualización y cálculo deben ser cuidadosamente analizados durante la etapa de diseño de cada estructura en particular.

---

[2] LRFD: Load and Resistance Factor Design.

Sin embargo, el diseño de muchas de estas uniones puede llegar a ser un proceso laborioso debido a la gran cantidad de revisiones y verificaciones que se deben realizar, a fin de garantizar que dichas uniones cumplan con los requisitos establecidos en las Normas.

En el mercado existen programas comerciales muy versátiles que tienen la capacidad de realizar el diseño de una gran variedad de conexiones, pero su alto costo representa una inversión que no todas las oficinas de proyectos están en la capacidad de realizar, especialmente las más pequeñas, por lo que el desarrollo de alternativas para automatizar el proceso de diseño de conexiones surge como una necesidad.

Por todo lo explicado anteriormente, se considera que sería de gran utilidad para el Ingeniero Estructural el poder disponer de una herramienta que le permita automatizar el diseño de las conexiones más usuales en el proyecto de estructuras de acero, facilitando y optimizando dicho proceso. De allí, surge la idea de realizar un TEG cuyo objetivo fundamental sea el desarrollo de un conjunto de hojas de cálculo en MS Excel® que permita realizar, de forma automática, el diseño de dichas conexiones.

Existen antecedentes de hojas de cálculo para el diseño de conexiones en estructuras de acero, pero utilizando el método clásico de las Tensiones Admisibles (ASD)[3], el cual no se encuentra vigente según la normativa venezolana desde el año 1998, año en que entra en vigencia la nueva norma basada en el Método de los Estados Límites (LRFD), por lo cual se considera que desde el punto de vista práctico, sería de gran utilidad el desarrollo de dichas hojas de cálculo de acuerdo con la normativa vigente en Venezuela.

Desde el punto de vista teórico, la elaboración de este TEG se enmarca dentro de la línea de investigación que plantea el desarrollo de herramientas en MS Excel® no sólo para automatizar el diseño de elementos y conexiones en estructuras de acero, sino que también pudiera extenderse al diseño de elementos de concreto armado o aplicaciones de ingeniería en general.

4. Alcance y Limitaciones

A efectos del desarrollo de este TEG, y con el fin de limitar el alcance del mismo, sólo se desarrollaron las hojas de cálculo para el diseño de las siguientes conexiones:

- Conexión de Arriostramientos[4] con Perfiles Angulares.

---

[3] ASD: Allowable Stress Design.

[4] Elementos estructurales cuya función principal es proveer estabilidad lateral a los denominados pórticos arriostrados. Para mayor detalle, se recomienda ver la *Norma COVENIN 1618:1998 "Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites"*.

- Conexión de Arriostramientos con Perfiles “T”.
- Conexión Convencional a Corte Simple con Plancha.
- Diseño de Placas Base de Columnas Empotradas.
- Diseño de Placas Base de Columnas Articuladas.

5. Antecedentes de la Investigación

Entre los principales antecedentes de esta investigación, se encuentra el trabajo de González y Salgado (1984) quienes en su Trabajo Especial de Grado titulado, *Uso de los microcomputadores de Bolsillo al Diseño de Estructuras de Acero,* desarrollaron programas para el diseño de miembros de acero y planchas bases para columnas unas vez conocidas las solicitaciones a las que estará sometido el miembro, de acuerdo con la normativa vigente de esa época, la cual se basaba en el Método de las Tensiones Admisibles (ASD).

Dentro de la misma línea de investigación, Quintero (1992) en su Trabajo Especial de Grado llamado *Cálculo, Diseño y Dibujo de Uniones Articuladas en Estructuras Metálicas Mediante el uso del Computador, Utilizando el Ambiente Graficador Versacad*, desarrolló un programa basado en el Método de las tensiones Admisibles (ASD) que calcula, diseña y dibuja uniones articuladas a corte entre ángulos. Dicho programa arroja como resultado de su análisis el número de pernos y su diámetro, espesor y dimensiones de la cartela de conexión y un dibujo completo del detalle de la conexión diseñada.

Asimismo, en el Trabajo Especial de Grado desarrollado por Pan y Roque (1992), titulado *Elaboración de un Programa Para el Diseño de Conexiones Apernadas Sometidas a Corte y Torsión* se elaboró un programa basado en el Método de Esfuerzo Último, que consiste en obtener la carga máxima que puede ser soportada por la unión, para lo cual utilizaron como lenguaje de programación Quick Basic 3.0. El programa calcula el coeficiente de esfuerzo último para un arreglo de pernos cualquiera una vez dadas las características geométricas.

Dentro de la misma línea de investigación que analiza la automatización del diseño de elementos en estructuras de acero, Castillo y Delgado (2000) desarrollaron en su Trabajo Especial de Grado titulado *Algoritmo Computacional para Automatizar el Diseño de Columnas Completas de Acero en Edificios Aporticados*, un programa en lenguaje Visual Basic conjuntamente con la aplicación MS Excel®, que, basado en los requisitos de la *Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”* y la *Norma COVENIN-MINDUR 1756:1998 “Edificaciones Sismorresistentes”*, integra en una sola imagen toda la información necesaria para diseñar una columna de un edificio en toda su altura, superponiendo las solicitaciones a las que estará sometida la columna, con el volumen de interacción generado para la sección analizada. El programa es aplicable para

columnas de acero de sección I o H, en edificaciones aporticadas de no más de 20 pisos de altura y con igual longitud de entrepiso en todos los niveles analizados.

También, Faundes (2002), en su Trabajo Especial de Grado titulado *Diseño y Detallado de Conexiones para Edificaciones de Acero Estructural*, desarrolló metodologías de diseño estructural y detallado para conexiones de estructuras de acero, para lo cual se estudiaron varias de las principales conexiones presentes en la escultura didáctica instalada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), basada en el Método de los Estados Límites (LRFD) y con el uso de tablas programadas en MS Excel®.

Por otro lado, también se encontraron antecedentes en universidades del exterior, como por ejemplo el trabajo desarrollado por Peternell (2005) en la Universidad de las Américas en Puebla, México titulado *Programa para el Diseño de Conexiones Viga-Columna en Elementos de Acero de Sección "I" Mediante el Método de la Resistencia Última LRFD,* y el trabajo desarrollado por Orozco (2009) en la misma universidad, quien en su Trabajo Especial de Grado titulado *Programa para el Diseño y Revisión de Placas Base y Anclas para Columnas de Acero*, elaboró un programa que permite diseñar o revisar placas bases y anclas[5] para columnas de acero y placas de soporte para vigas.

En resumen, todos los antecedentes encontrados apuntan al desarrollo de herramientas para automatizar el diseño de miembros o conexiones en estructuras de acero, con el fin de que el Ingeniero Estructural pueda realizar sus diseños de manera más rápida y eficiente. Hacia ese horizonte apuntan el conjunto de hojas de cálculo desarrolladas en este Trabajo Especial de Grado.

[5] Término comúnmente usado en México para referirse a los pernos de anclaje (anchor rods).

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL

Este capítulo contiene el marco de referencia conceptual que sirvió como base para el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado.

Se presenta una breve discusión acerca de los requisitos normativos para el diseño de conexiones en general, para luego entrar en el detalle de cada uno de los procedimientos de diseño utilizados para la elaboración de las distintas hojas de cálculo, y que permiten la verificación y/o diseño de las conexiones comprendidas dentro del alcance de esta investigación.

1. El Proceso de Diseño de una Conexión

Para el diseño de una conexión en el proyecto usual de estructuras de acero, se deben seguir, en líneas generales, un conjunto de pasos que permitirán la verificación de las capacidades de cada uno de los elementos que forman parte de la unión, tales como los perfiles, planchas de conexión, pernos y/o soldaduras.

En líneas generales, y enfocados en las conexiones que se desarrollarán como parte del alcance de este Trabajo Especial de Grado, este procedimiento se puede resumir de la siguiente manera:

a. Determinación del número de pernos necesarios para resistir las solicitaciones actuantes sobre la junta, de acuerdo con su capacidad y/o resistencia.

b. Conceptualización de la geometría de la unión, considerando los requisitos normativos en cuanto a separaciones mínimas entre pernos, distancias mínimas a los bordes, distancias que permitan la correcta colocación y apriete de los pernos, etc.

c. Verificación de la capacidad de los perfiles.

d. Verificación de la capacidad de las planchas o elementos de conexión.

e. Verificación, en caso de que aplique, de las capacidades de las soldaduras.

En las siguientes secciones se analizará en detalle cada uno de los requisitos establecidos en las normas para el diseño de conexiones, de acuerdo con el procedimiento de diseño explicado anteriormente.

2. Capacidad de las Conexiones

2.1 Capacidad de los Pernos

En líneas generales, la capacidad de los pernos va a estar determinada por la forma en que los mismos estén trabajando, bien sea por solicitaciones de corte o tracción[6].

2.1.1 Pernos sometidos a Corte por Aplastamiento[7,8]

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad de corte por aplastamiento de los pernos se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$ØR_t = Ø \cdot F_v \cdot A_b \qquad \text{con} \quad Ø = 0{,}75 \qquad \text{(Ec. 2-1)}$$

En la Tabla 1, se indican las tensiones teóricas a corte por aplastamiento de los pernos de uso común.

Tabla 1. *Resistencia Teórica a Corte por Aplastamiento (F_v).*

Tipo de Perno	**F_v (kg/cm^2)**
A307[a]	1.690
A325-N	3.370
A325-X	4.220
A490-N	4.220
A490-X	5.270

Notas:

N: rosca i**N**cluida en el plano de corte.
X: rosca e**X**cluida del plano de corte.
[a] Incluida o no la rosca en el plano de corte.

Fuente: Adaptado de la Tabla 22.6 de la *Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998*.

[6] Para efectos del alcance de este TEG, no se considera el caso de pernos trabajando a corte y tracción simultáneamente.

[7] A efectos del presente TEG, se considerarán todas las juntas como conexiones tipo *Aplastamiento*.

[8] De acuerdo con la *Norma COVENIN-MINDUR 2004:1998*, una conexión tipo aplastamiento es aquella en la cual "las fuerzas cortantes se transmiten por aplastamiento entre las planchas y los conectores, induciendo corte entre éstos. Las planchas pueden deslizar entre sí al ser cargada la conexión" (p. 9.)

2.1.2 Pernos sometidos a Tracción Axial

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad a tracción axial de los pernos se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$ØR_t = Ø \cdot F_t \cdot A_b \qquad \text{con} \quad Ø = 0{,}75 \qquad \text{(Ec. 2-2)}$$

En la Tabla 2, se muestran las tensiones teóricas a tracción axial de los pernos de uso común.

Tabla 2. *Resistencia Teórica a Tracción Axial (F_t).*

Tipo de Perno	**F_t (kg/cm^2)**
A307[a]	3.160
A325	6.330
A490	7.940
F1554 Gr.36[b]	3.058
F1554 Gr.55[b]	3.955
F1554 Gr.105[b]	6.591

Notas:

[a] Sólo deben usarse para cargas estáticas.
[b] Usuales como pernos de anclaje.

Fuente: Adaptado de la Tabla 22.6 de la *Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998 y la Tabla 2.2 de Fisher y Kloiber (2006).*

2.1.3 Aplastamiento

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la resistencia minorada al aplastamiento de una conexión es igual a la suma de las resistencias minoradas al aplastamiento de los pernos individuales. Además, en las uniones de los sistemas resistentes a sismos, esta resistencia minorada no será mayor que $2{,}4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$.

Para un perno en una conexión con agujeros estándar, agujeros agrandados y agujeros de ranura corta independientemente de la dirección de la línea de acción de las fuerzas, o en agujeros de ranura larga donde el eje mayor de la ranura es paralelo a la fuerza de aplastamiento, la resistencia minorada al aplastamiento será igual a $ØR_t$, con un factor de minoración de la resistencia teórica $Ø = 0{,}75$, y la resistencia teórica R_t se determinará de acuerdo con lo indicado a continuación:

a. Cuando la deformación en el agujero del perno sometido a solicitaciones de servicio es una consideración de diseño:

$$R_t = 1{,}2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq 2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \qquad \text{(Ec. 2-3)}$$

b. Cuando la deformación en el agujero del perno sometido a solicitaciones de servicio no es una consideración de diseño:

$$R_t = 1{,}5 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \qquad \text{(Ec. 2-4)}$$

c. Para un perno en una conexión con agujeros de ranura larga, cuyo eje mayor sea perpendicular a la dirección de la línea de acción de la fuerza:

$$R_t = L_c \cdot t \cdot F_u \leq 2 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u \qquad \text{(Ec. 2-5)}$$

En las ecuaciones anteriores, es importante hacer notar que para el cálculo de las distancias libres en la dirección de la fuerza (L_c), entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o al borde del material, el diámetro del agujero a ser considerado será igual al diámetro nominal del perno más 2 mm.

2.2 Capacidad de los elementos conectados

Al igual que para el cálculo de la capacidad de los pernos, la capacidad de los elementos conectados (perfiles y/o planchas), estará determinada por la forma en que los mismos estén trabajando, es decir, sometidos a solicitaciones de corte o de tracción.

2.2.1 Elementos sometidos a Tracción

2.2.1.1 Cedencia en la Sección Total

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad por cedencia en el área de la sección total de los elementos sometidos a tracción, se encuentra determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ø}R_t = \text{Ø} \cdot F_y \cdot A_g \qquad \text{con} \quad \text{Ø} = 0{,}90 \qquad \text{(Ec. 2-6)}$$

2.2.1.2 Rotura en la Sección Efectiva

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad por rotura en el área de la sección efectiva de los elementos sometidos a tracción, se encuentra determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ø}R_t = \text{Ø} \cdot F_u \cdot A_e \qquad \text{con} \quad \text{Ø} = 0{,}75 \qquad \text{(Ec. 2-7)}$$

El área efectiva viene dada por la siguiente expresión:

$$A_e = \text{Ø}_A \cdot A_n \qquad \text{(Ec. 2-8)}$$

En la expresión anterior, A_n representa el área neta de la sección transversal, la cual es igual al área de la sección transversal del elemento conectado, excluyendo el área de los agujeros, en el caso de las conexiones con pernos. Para el caso de las conexiones soldadas, el área neta es igual al área total de la sección transversal.

$$A_n = A_g - \#\text{ agujeros} \cdot d_a \cdot t \qquad \text{(Ec. 2-9)}$$

Adicionalmente, se debe cumplir que:

$$A_n \leq 0{,}85\ A_g \qquad \text{(Ec. 2-10)}$$

En las ecuaciones anteriores, el diámetro del agujero a ser considerado será igual al diámetro nominal del perno más 3 mm.

Si los agujeros de los pernos están dispuestos de forma alternada, formando zigzag o diagonales, el área neta se calcula de la siguiente manera:

$$A_n = \cdot - \cdot \cdot \cdot \cdot \sum \frac{\cdot}{\cdot} \cdot \cdot t \qquad \text{(Ec. 2-11)}$$

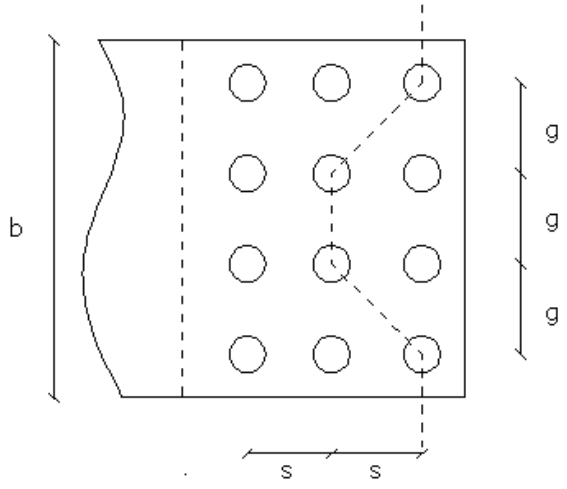

Figura 1. Trayectoria para el Cálculo de Áreas Netas en Diagonal o Zigzag.

Fuente: Adaptado de Fratelli (2004).

Para el cálculo del factor $Ø_A$, la Norma establece la siguiente expresión:

$$Ø_A = \left(1 - \frac{x}{L}\right) \leq 0{,}90 \qquad \text{(Ec. 2-12)}$$

En la expresión anterior, *x* representa la excentricidad de la conexión y *L* la longitud total de la conexión.

Alternativamente, la *Norma COVENIN 1618:1998*, en su comentario, permite el uso de valores simplificados del factor $Ø_A$, de acuerdo con lo indicado a continuación:

a. En perfiles con alas de anchos superiores a 2/3 de la altura y las "T" estructurales cortadas de estos perfiles, siempre que la conexión se haga en las alas y que no tenga menos de 3 medios de unión por línea en la dirección de la fuerza → $Ø_A = 0{,}90$.

b. En perfiles que no cumplan las condiciones del punto anterior, las "T" estructurales cortadas de estos perfiles y cualquier otro perfil, incluyendo los ensamblados, siempre que la conexión no tenga menos de 3 medios de unión por línea en la dirección de la fuerza → $Ø_A = 0{,}85$.

c. En todos los elementos con conexiones empernadas o soldadas, que tengan solamente dos medios de unión por línea en la dirección de la fuerza → $Ø_A = 0{,}75$.

2.2.2 Elementos sometidos a Corte

2.2.2.1 Cedencia en la Sección Total

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad por cedencia en el área de la sección total de los elementos sometidos a corte, se encuentra determinada por la siguiente ecuación:

$$ØR_t = Ø \cdot 0{,}6 \cdot F_y \cdot A_g \quad \text{con} \quad Ø = 1{,}00 \text{ [9,10]} \qquad \text{(Ec. 2-13)}$$

[9] Actualizado de acuerdo a la sección J4.2 de la especificación del AISC del año 2005.

[10] De acuerdo con Winters-Downey y Fadden (2008), las ediciones anteriores del LRFD utilizaban un factor de minoración de la resistencia $\Phi = 0{,}90$, pero a fin de mantener la correspondencia entre el LRFD y ediciones anteriores del ASD, esta fue una de las áreas donde el LRFD fue modificado. Una de las relaciones fundamentales entre el ASD y el LRFD en la especificación del 2005 del AISC es aquella que establece que $\Phi = 1{,}50 / \Omega$ (donde Ω es el factor de seguridad para el diseño por ASD). Las ediciones anteriores del ASD fueron desarrolladas de manera que el factor de seguridad para este estado límite en particular fuera 1,50. Cuando el LRFD fue desarrollado, el factor de minoración $\Phi = 0{,}90$ originaba que el factor de seguridad equivalente para este estado límite se incrementara hasta 1,67 (aproximadamente 10%

2.2.2.2 Rotura en la Sección Neta de Corte

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad por rotura en el área de la sección neta de corte de los elementos, se encuentra determinada por la siguiente ecuación:

$$ØR_t = Ø \cdot 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} \qquad \text{con} \quad Ø = 0,75 \qquad \text{(Ec. 2-14)}$$

2.2.3 Capacidad por Bloque de Corte

Esta falla ocurre a lo largo de una ruta que involucre tracción en un plano y corte en otro plano perpendicular. La falla por cortante ocurre a lo largo de la sección longitudinal paralela a la fuerza de tracción que es aplicada, mientras que la falla por tracción ocurre en la sección transversal. La resistencia total del bloque de corte viene dada por la suma de las resistencias de ambas superficies, la de tracción y la de corte. La Figura 2 muestra un esquema general de este tipo de falla.

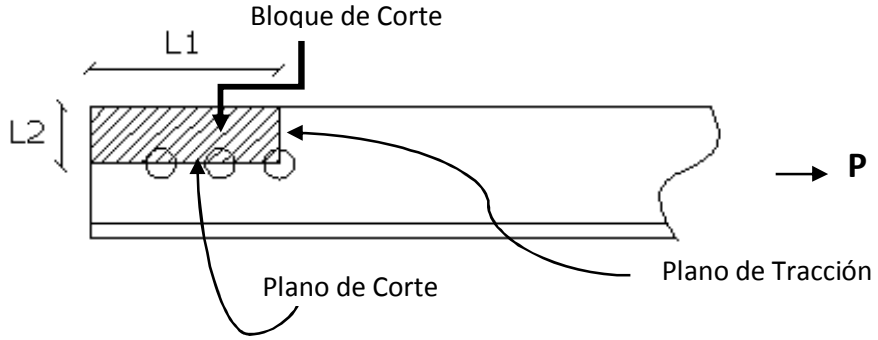

Figura 2. Falla por Bloque de Corte en un Perfil Angular.

Fuente: Adaptado de Fratelli (2004).

La capacidad del bloque de corte viene dada por la siguiente expresión[11,12]

$$ØR_{bs} = 0,75 \cdot \left[U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min\left(0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv};\ 0,60 \cdot F_y \cdot A_v\right)\right] \qquad \text{(Ec. 2-15)}$$

---

adicional). Los comentarios a la especificación del AISC indican que este incremento de 10% aproximadamente era muy conservador, lo cual es soportado por la evidencia histórica del adecuado desempeño de las conexiones tradicionales diseñadas con el ASD, por lo que se justifica su modificación para llevarlo a Φ = 1,00.

[11] Actualizada de acuerdo con la Sección J4.3 de la especificación del AISC del año 2005.

[12] De acuerdo con los ejemplos manuales que se realizaron a fin de validar las hojas de cálculo desarrolladas en este TEG, se encontró que los resultados obtenidos con la aplicación de las fórmulas indicadas en la actualización de la especificación del AISC del año 2005, varían en un rango ubicado entre un 4% y un 8% con respecto a aquellos obtenidos con las ecuaciones indicadas en la *Norma Venezolana COVENIN 1618:1998*.

En la expresión anterior, A_v, A_{nv} y A_{nt} representan el área a corte, el área neta a corte y el área neta a tracción, respectivamente.

Para el factor U_{bs}[13], la especificación del AISC del año 2005 considera lo siguiente:

$U_{bs} = 1{,}00$	En el caso de que las tensiones de tracción sean uniformes
$U_{bs} = 0{,}50$	En el caso de que las tensiones de tracción no sean uniformes

2.3 Capacidad de las Soldaduras

De acuerdo con lo establecido por la *Norma COVENIN 1618:1998*, la capacidad de las soldaduras de filete viene determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ø}F_{\square\square} \square 0{,}75 \square 0{,}60 \square F_{\square\square\square} \square A_{\square} \qquad \text{(Ec. 2-16)}$$

En la expresión anterior, A_e se refiere al área efectiva de la soldadura, que es igual a:

$$\square_{\square} \square \square_{\square} \square \square \qquad \text{(Ec. 2-17)}$$

La variable t_s se refiere al tamaño o garganta efectiva de la soldadura, el cual va a depender del procedimiento de soldadura a utilizar y del tamaño nominal (*D*) de la misma, tal y como se indica en la Tabla 3, y *L* representa la longitud total del cordón de soldadura.

Tabla 3. *Espesores Efectivos de Soldaduras de Filete.*

Proceso de Soldadura	**Tamaño Efectivo (t_s)**
Arco metálico protegido (SAP)	0,707D
Arco metálico sumergido (SAS)	$0{,}707D \square 3mm \square D \square 10mm$

Fuente: Adaptado de la Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998.

Adicionalmente, la Norma establece tamaños máximos y mínimos para las soldaduras de filete, los cuales se muestran en las Tablas 4 y 5.

[13] De acuerdo con Epstein y Aleksiewicz (2008), o bien la definición del factor U_{bs} o las figuras incluidas en el comentario de la Especificación del AISC del año 2005, deberían modificarse a fin de incluir más casos en donde las tensiones no son uniformes. De acuerdo con su trabajo, sugieren por lo menos incluir los casos de angulares conectados a través de dos hileras de pernos, perfiles "T" conectados por las alas y, probablemente, perfiles doble "T" conectados sólo por las alas.

Tabla 4. *Tamaños Mínimos de Soldaduras de Filete.*

Espesor de la pieza más gruesa a unir mm (pulg.)	**Tamaño mínimo de la soldadura de filete D (mm)**
Hasta 6.4 (1/4”) inclusive	3
De 6.4 a 12.4 (1/4”-1/2”)	5
De 12.7 a 19 (1/2” – 3/4”)	6
Mayor a 19 (3/4”)	8

Fuente: Norma COVENIN 1618:1998.

Tabla 5. *Tamaños Máximos de Soldaduras de Filete*.

Espesor del material de la parte más delgada a unir (mm)	**Tamaño máximo de la soldadura de filete D (mm)**
< 6	t
≥ 6	t - 2 mm

Fuente: Norma COVENIN 1618:1998.

3. Detallado de las Conexiones

El detallado de la conexión puede modificar su capacidad resistente, por lo que deben considerarse los siguientes aspectos normativos.

3.1 Tamaño de los Agujeros

Los agujeros son clasificados según su forma y tamaño, de la siguiente manera:

- Estándar
- Agrandados
- De Ranura Corta
- De Ranura Larga

En la Figura 3 se muestran los distintos tipos de agujeros.

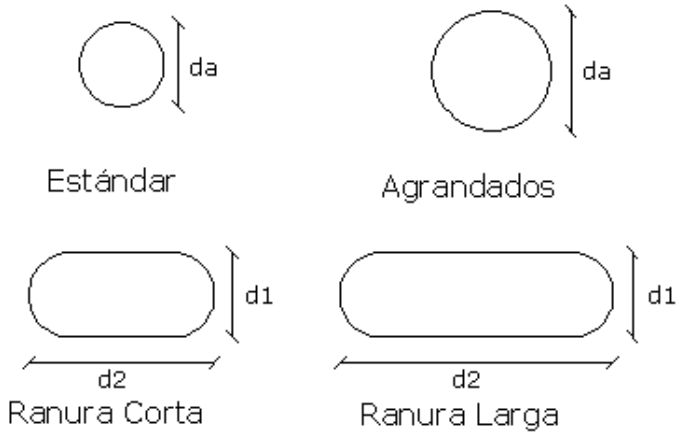

Figura 3. Tipos de Agujeros para Pernos.

Fuente: Adaptado de Fratelli (2004).

La Tabla 6 indica los tamaños de los agujeros para los diámetros usuales de pernos.

Tabla 6. *Dimensiones Nominales de Agujeros*.

Diámetro Nominal del Perno d_b	**Dimensiones Nominales de los Agujeros d_a (mm)**			
	Estándar (diámetro)	Agrandados (diámetro)	Ranura Corta (ancho x largo)	Ranura Larga (ancho x largo)
1/2”	14,3	15,9	14,3 ⊠ 17,5	14,3 ⊠ 31,8
5/8”	17,5	20,6	17,5 ⊠ 22,2	17,5 ⊠ 39,7
3/4”	20,6	23,8	20,6 ⊠ 25,4	20,6 ⊠ 47,6
7/8”	23,8	27,0	23,8 ⊠ 28,6	23,8 ⊠ 55,6
1”	27,0	31,8	27,0 ⊠ 33,3	27,0 ⊠ 63,5
⊠ 1⅛”	d_b + 2mm	d_b + 8mm	(d_b + 2mm) ⊠ d_b + 9,5mm	(d_b + 2mm)⊠2,5d_b

Fuente: Tabla 22.2 de la Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998.

3.2 Separaciones Mínimas entre Pernos y Distancias Mínimas a los Bordes

La Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998, establece requisitos mínimos tanto para las separaciones entre pernos como para las distancias a los bordes.

3.2.1 Separación entre Pernos

La separación mínima centro a centro entre pernos no será menor a 2,67 veces el diámetro nominal del perno, aunque en la práctica es preferible utilizar 3 veces el diámetro nominal del perno.

3.2.2 Distancias al Borde

La mínima distancia entre el centro del perno y el borde de la parte conectada (perfiles y/o planchas), va a depender de lo siguiente:

a. Para bordes cizallados, la mínima distancia al borde será igual a 1,75 veces el diámetro nominal del perno.

b. Para bordes laminados o cortados con soplete, la mínima distancia al borde será igual a 1,25 veces el diámetro nominal del perno.

En la práctica del proyecto usual de estructuras de acero, es común utilizar para todos los casos una distancia mínima al borde de 1,5 veces el diámetro nominal del perno.

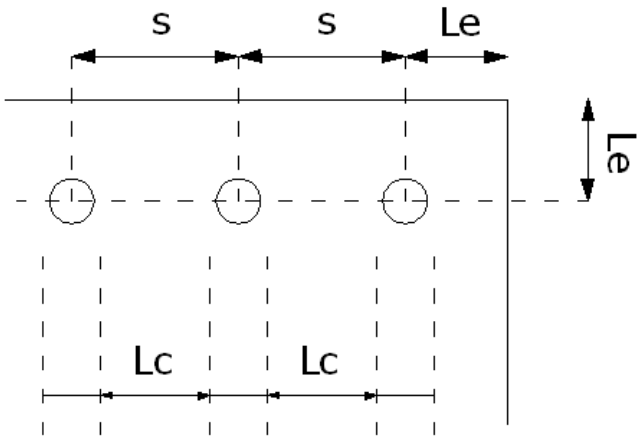

Figura 4. Separaciones entre Pernos, Distancias a los Bordes y Distancias Libres.

Fuente: Elaboración Propia.

4. Desarrollo de los Procedimientos de Diseño

4.1 Consideraciones Generales

Para efectos de las conexiones que forman parte del alcance de este Trabajo Especial de Grado, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- Todas las conexiones fueron diseñadas como tipo aplastamiento con rosca incluida en el plano de corte.
- Se asumió como separación mínima entre pernos un valor igual a 3 veces el diámetro nominal del perno.
- Se asumió como distancia mínima al borde un valor igual a 1,5 veces el diámetro nominal del perno.
- Para el cálculo de la capacidad por aplastamiento, se consideró la deformación de los agujeros.
- Para la determinación del factor $Ø_A$ para el cálculo del área efectiva, se utilizaron los valores alternativos especificados en el comentario de la *Norma COVENIN-MINDUR 1618:1998*.

4.2 Procedimientos de Diseño

4.2.1 Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares

Para el diseño de esta conexión, y de acuerdo con lo explicado en las secciones anteriores, se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Revisión de la capacidad de los pernos trabajando a corte por aplastamiento.
- Verificación de la capacidad del perfil por cedencia en la sección total, rotura en la sección efectiva, rotura por bloque de corte y aplastamiento.
- Verificación de la capacidad de la plancha de conexión por aplastamiento.
- Revisión del detallado de la conexión.

La Figura 5 muestra un esquema general de este tipo de conexión.

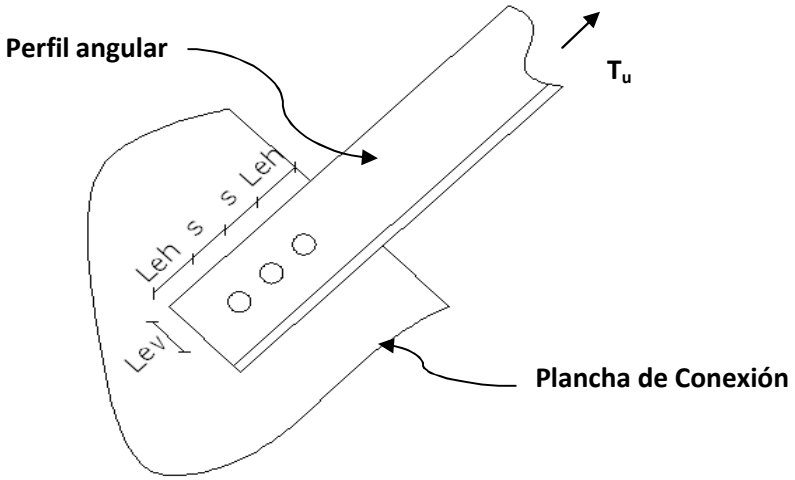

Figura 5. Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.1 Procedimiento Detallado de Diseño

Se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Revisión de la Geometría de la Conexión

  $S \geq 3\ d_b$

  $L_e \geq 1{,}5\ d_b$

- Verificación de la Capacidad de los Pernos

  $\varnothing R_t = \varnothing \cdot F_v \cdot A_b \cdot \#\ \text{pernos}$ con $\varnothing = 0{,}75$

  $\varnothing R_t \geq T_u$

- Verificación de la Capacidad del Perfil

  a. Cedencia en la Sección Total

  $\varnothing R_t = \varnothing \cdot F_y \cdot A_g$ con $\varnothing = 0{,}90$

  $\varnothing R_t \geq T_u$

  b. Rotura en la Sección Efectiva

  $\varnothing R_t = \varnothing \cdot F_u \cdot A_e$ con $\varnothing = 0{,}75$

  $\varnothing_A = 0{,}75$ (sólo 2 pernos)

$Ø_A = 0,85$ (más de 2 pernos)

$Ø\ R_t \geq T_u$

c. Rotura por Bloque de Corte

$ØR_{bs} = 0,75 \cdot (U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min(0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv}\ ;\ 0,60 \cdot F_y \cdot A_v))$

$U_{bs} = 1,00$ (Tensión Uniforme)

$ØR_{bs} \geq T_u$

d. Aplastamiento

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1,2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = L_e - 0,5 \cdot d_a$ ➔ Para Agujeros Cercanos al Borde

$L_c = S - d_a$ ➔ Para el Resto de los Agujeros

$d_a = d_b + 2$ mm

$\sum ØR_t \geq T_u$

- Verificación de la Capacidad de la Plancha de Conexión

a. Aplastamiento

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1,2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = L_e - 0,5 \cdot d_a$ ➔ Para Agujeros Cercanos al Borde

$L_c = S - d_a$ ➔ Para el Resto de los Agujeros

$d_a = d_b + 2$ mm

$\sum ØR_t \geq T_u$

4.2.2 Conexión Arriostramiento con Perfiles "T"

Para el diseño de esta conexión, y de acuerdo con lo explicado en las secciones anteriores, se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Revisión de la capacidad de los pernos trabajando a corte por aplastamiento.
- Verificación de la capacidad del perfil por cedencia en la sección total, rotura en la sección efectiva, rotura por bloque de corte y aplastamiento.
- Verificación de la capacidad de la plancha de conexión por aplastamiento y rotura por bloque de corte.
- Revisión del detallado de la conexión.

La Figura 6 muestra un esquema general de este tipo de conexión.

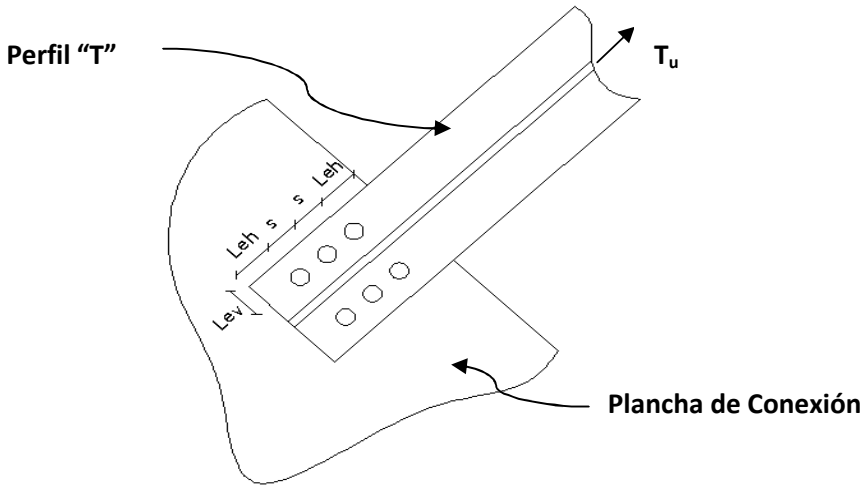

Figura 6. Conexión Arriostramiento con Perfiles "T".

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.1 Procedimiento Detallado de Diseño

Se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Revisión de la Geometría de la Conexión

$S \geq 3\ d_b$

$L_e \geq 1{,}5\ d_b$

- Verificación de la Capacidad de los Pernos

  $Ø\ R_t = Ø \cdot F_v \cdot A_b \cdot \#\ \text{pernos}$ con $Ø = 0{,}75$

  $Ø\ R_t \geq T_u$

- Verificación de la Capacidad del Perfil

  a. Cedencia en la Sección Total

  $Ø\ R_t = Ø \cdot F_y \cdot A_g$ con $Ø = 0{,}90$

  $Ø\ R_t \geq T_u$

  b. Rotura en la Sección Efectiva

  $Ø\ R_t = Ø \cdot F_u \cdot A_e$ con $Ø = 0{,}75$

  $Ø_A = 0{,}75$ (sólo 2 pernos por fila)

  $Ø_A = 0{,}85$ (más de 2 pernos por fila y b_f/d menor que 2/3)

  $Ø_A = 0{,}90$ (más de 2 pernos por fila y b_f/d mayor que 2/3)

  $Ø\ R_t \geq T_u$

  c. Rotura por Bloque de Corte

$$ØR_{bs} = 0{,}75 \cdot \left[U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min\left(0{,}60 \cdot F_u \cdot A_{nv};\ 0{,}60 \cdot F_y \cdot A_v\right)\right]$$

  $U_{bs} = 1{,}00$ (Tensión Uniforme)

  $ØR_{bs} \geq 2 \cdot T_u$

  d. Aplastamiento

  $Ø\ R_t = Ø \cdot 1{,}2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

  $L_c = L_e - 0{,}5 \cdot d_a$ ➔ Para Agujeros Cercanos al Borde

  $L_c = S - d_a$ ➔ Para el Resto de los Agujeros

  $d_a = d_b + 2$ mm

  $\sum ØR_t \geq T_u$

- Verificación de la Capacidad de la Plancha de Conexión

  a. Aplastamiento

$$Ø\ R_t = Ø \cdot 1{,}2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$$

$L_c = L_e - 0{,}5 \cdot d_a$ ➔ Para Agujeros Cercanos al Borde

$L_c = S - d_a$ ➔ Para el Resto de los Agujeros

$d_a = d_b + 2$ mm

$$\sum ØR_t \cdot T_u$$

  b. Rotura por Bloque de Corte

$$ØR_{bs} = 0{,}75 \cdot \left[U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min\left(0{,}60 \cdot F_u \cdot A_{nv};\ 0{,}60 \cdot F_y \cdot A_v\right)\right]$$

$U_{bs} = 1{,}00$ (Tensión Uniforme)

$$ØR_{bs} \cdot T_u$$

4.2.3 Conexión Convencional a Corte Simple con Plancha

Para el diseño de esta conexión, y de acuerdo con lo explicado en las secciones anteriores, se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Revisión de la capacidad de los pernos trabajando a corte por aplastamiento.
- Verificación de la capacidad del perfil por aplastamiento en el alma.
- Verificación de la capacidad de la plancha de conexión por cedencia por corte, rotura por corte, rotura por bloque de corte y aplastamiento.
- Verificación de la capacidad de la soldadura.
- Revisión del detallado de la conexión.

La Figura 7 muestra un esquema general de este tipo de conexión.

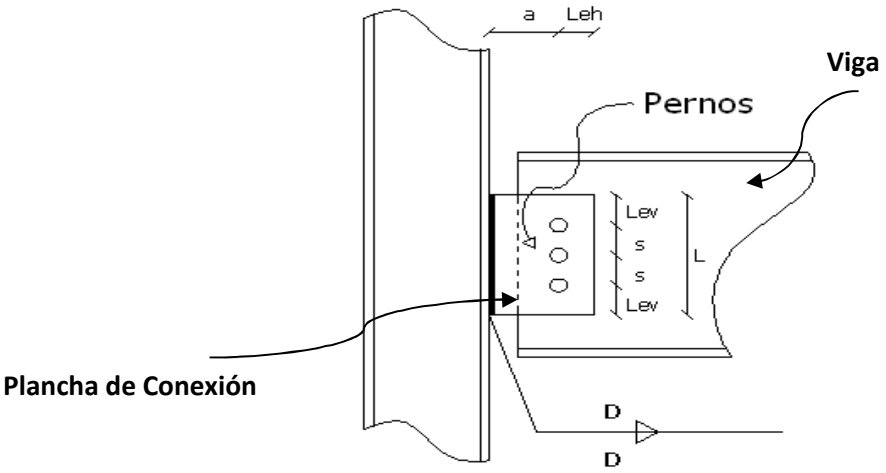

Figura 7. Conexión a Corte Simple con Plancha.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3.1 Procedimiento Detallado de Diseño

Se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Revisión de la Geometría de la Conexión y Limitaciones

  2 # 9

  a ≤ 3½” (89 mm)

$L_{eh} \geq 2\ d_b$

$S \geq 3$

$D_{min} = \frac{5}{8}\ t_p$[14]

$L_{ev} = 1{,}5 d_b$

$t_p \leq (d_b / 2) + 2$ mm[15]

$t_w \leq (d_b / 2) + 2$ mm

$T/2 \leq L \leq T$, donde $T = d - 2 \cdot d_f$

- Verificación de la Capacidad de los Pernos

  $\varnothing R_t = \varnothing \cdot F_v \cdot A_b \cdot$ # pernos con $\varnothing = 0{,}75$

  $\varnothing R_t \geq V_u$

- Verificación de la Capacidad de la Plancha de Conexión

  a. Cedencia por Corte

     $\varnothing R_t = \varnothing \cdot 0{,}60 \cdot F_y \cdot A_g$ con $\varnothing = 1{,}00$

     $\varnothing R_t \geq V_u$

  b. Rotura por Corte

     $\varnothing R_t = \varnothing \cdot 0{,}60 \cdot F_u \cdot A_{nv}$ con $\varnothing = 0{,}75$

     $A_{nv} = [L - n \cdot d_a] \cdot t_p$

     $\varnothing R_t \geq V_u$

---

[14] De acuerdo con Hewitt (2006), la limitación en el tamaño nominal máximo de la soldadura a 5/8 del espesor de la plancha de conexión, se debe a que siendo la fractura de la soldadura un estado límite mejor definido, la plancha debe diseñarse para que ceda antes que ocurra la fractura de la soldadura. Lo adecuado de esta suposición, ha sido comprobado con ensayos en Virginia Tech.

[15] De acuerdo con Hewitt (2006), la limitación en el espesor máximo de la plancha de conexión a la mitad del diámetro de los pernos más 2 mm, tiene como objetivo asegurar una adecuada ductilidad de la conexión antes de que ésta alcance su capacidad elástica. Para esto, tanto la plancha como el alma de la viga deben ser lo suficientemente delgadas para deformarse antes de que la capacidad última a corte de los pernos sea alcanzada.

c. Rotura por Bloque de Corte

$$ØR_{bs} = 0,75 \cdot [U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min(0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv}; 0,60 \cdot F_y \cdot A_v)]$$

$U_{bs} = 1,00$ (Tensión Uniforme)

$ØR_{bs} \geq V_u$

d. Aplastamiento

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1,2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = L_e - 0,5 \cdot d_a$ ➔ Para Agujeros Cercanos al Borde

$L_c = S - d_a$ ➔ Para el Resto de los Agujeros

$d_a = d_b + 2$ mm

$\sum ØR_t \geq V_u$

- Verificación de la Capacidad del Perfil

a. Aplastamiento

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1,2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = L_e - 0,5 \cdot d_a$ ➔ Para Agujeros Cercanos al Borde

$L_c = S - d_a$ ➔ Para el Resto de los Agujeros

$d_a = d_b + 2$ mm

$\sum ØR_t \geq V_u$

- Verificación de la Capacidad de la Soldadura

$Ø\ F_{Rw} = 0,75 \cdot 0,60 \cdot F_{EXX} \cdot A_e$

$Ae = 0,707 \cdot D \cdot L$

$2 \cdot Ø\ F_w \cdot \geq V_u$

4.2.4 Conexión Placa Base Articulada

El diseño de placas base es un tema particular que debe ser tratado con sumo cuidado, ya que representa la interfaz entre la estructura de acero y la respectiva fundación de concreto armado.

A los fines del presente Trabajo Especial de Grado, se tomaron como base los procedimientos de diseño indicados en Fisher y Kloiber (2006), correspondientes a la *Guía de Diseño N° 1 del AISC "Base Plate and Anchor Rod Design"*.

En el caso de la placa base articulada, que es aquella que se diseña para sólo resistir cargas axiales, se deben realizar las siguientes verificaciones:

- Dimensionamiento de la Placa base.
- Verificación de los esfuerzos de aplastamiento sobre el pedestal concreto.
- Cálculo del espesor requerido de la placa base.
- Revisión del detallado de la conexión.

La Figura 8 muestra un esquema general de este tipo de conexión.

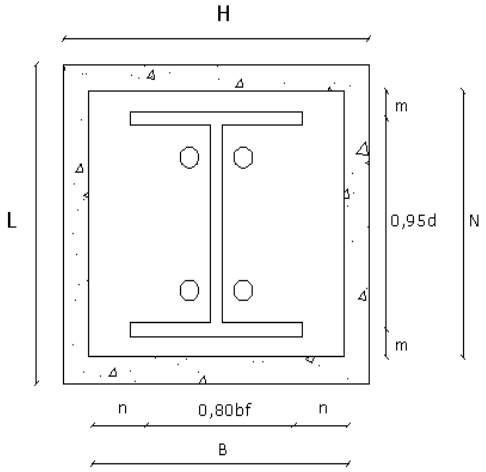

Figura 8. Placa Base Articulada.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4.1 Procedimiento Detallado de Diseño

Se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Estimación de las Dimensiones de la Placa Base

  a. Cálculo del Área Requerida de la Placa Base

$$(A_1)_{req} = \frac{[illegible]}{[illegible]} \cdot \left[\frac{[illegible]}{[illegible]} \right]^{[illegible]} \quad \text{con } Ø_c = 0{,}60 \text{ [16]} \qquad \text{(Ec. 2-18)}$$

  b. Optimización de las dimensione de la Placa Base

$$N = \sqrt{(A_1)_{req}} + \Delta \geq d \qquad \text{(Ec. 2-19)}$$

$$B = \frac{(A_1)_{req}}{N} \geq b_f \qquad \text{(Ec. 2-20)}$$

$$\Delta = \frac{[illegible]}{[illegible]} \qquad \text{(Ec. 2-21)}$$

  c. Verificación de las Dimensiones de la Placa Base

$$B \cdot N \geq (A_1)_{req}$$

- Verificación del Aplastamiento sobre el Concreto

$$ØP_p \geq P_u \qquad \text{con } Ø = 0{,}60$$

$$P_p = 0{,}85 \cdot f'_c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1{,}7 \cdot f'_c \cdot A_1 \qquad \text{(Ec. 2-22)}$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2{,}00 \qquad \text{(Ec. 2-23)}$$

- Calculo del Espesor Requerido de la Placa Base

$$t_{req} = l \cdot \sqrt{\frac{[illegible]}{Ø \cdot [illegible]}} \quad \text{con } Ø = 0{,}90 \qquad \text{(Ec. 2-24)}$$

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

$$m = \frac{[illegible]}{[illegible]} \qquad \text{(Ec. 2-25)}$$

[16] Fisher y Kloiber (2006), recomiendan el uso de un factor Φ = 0,65 en lugar de 0,60 para el diseño de las placas base de columnas (revisión del aplastamiento sobre el concreto), con el objeto de ser consistentes con lo especificado en el ACI 318 en sus últimas revisiones.

$$n = \frac{[illegible]}{[illegible]} \qquad \text{(Ec. 2-26)}$$

$$\lambda n' = \lambda \cdot \frac{\sqrt{[illegible]}}{[illegible]} \qquad \text{(Ec. 2-27)}$$

$$\lambda = \frac{[illegible]\sqrt{[illegible]}}{[illegible]\sqrt{[illegible]}} \cdot 1{,}00 \qquad \text{(Ec. 2-28)}$$

$$x = \left[\frac{[illegible]}{[illegible]}\right] \cdot \frac{[illegible]}{[illegible]} \qquad \text{(Ec. 2-29)}$$

4.2.5 Conexión Placa Base Empotrada

Al igual que para el caso anterior de placas base articuladas, a los fines del presente Trabajo Especial de Grado, se tomaron como base los procedimientos de diseño indicados en Fisher y Kloiber (2006), correspondientes a la *Guía de Diseño N° 1 del AISC "Base Plate and Anchor Rod Design"*.

En el caso de la placa base empotrada, que es aquella que se diseña para resistir tanto cargas axiales como momentos flectores, se deben realizar las siguientes verificaciones:

- Dimensionamiento de la Placa base.
- Cálculo de la excentricidad equivalente y crítica.
- Cálculo de las presiones sobre la placa base y tensión critica en los pernos de anclaje.
- Cálculo del espesor requerido de la placa base.
- Revisión de la capacidad de los pernos de anclaje.
- Revisión del detallado de la conexión.

La Figura 9 muestra un esquema general de este tipo de conexión.

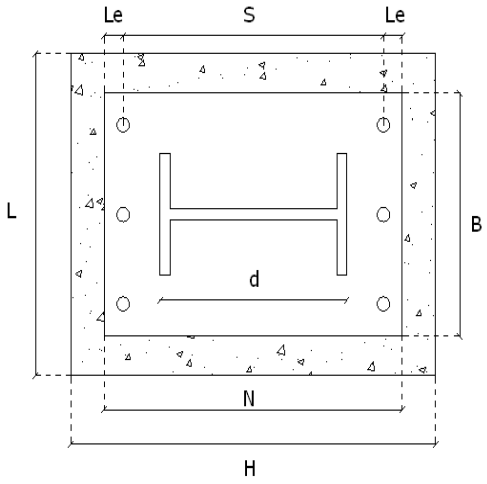

Figura 9. Placa Base Empotrada.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.1 Procedimiento Detallado de Diseño

Se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones:

- Estimación de las Dimensiones de la Placa Base

  $N > d + 15$ cm

  $B > b_f + 15$ cm

- Cálculo de la Excentricidad Equivalente y Excentricidad Crítica

  a. Valores Previos

  $$q_{max} = f_{p\ max} \cdot B \qquad \text{(Ec. 2-30)}$$

  $$f_{p\ max} = Ø_c \cdot 0{,}85 \cdot f'c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \qquad \text{(Ec. 2-31)}$$

  $$A_1 = B \cdot N \qquad \text{(Ec. 2-32)}$$

  $$A_2 = L \cdot H \qquad \text{(Ec. 2-33)}$$

  $$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$$

  b. Excentricidad Crítica y Equivalente

  $$e = \frac{M}{P} \qquad \text{(Ec. 2-34)}$$

  $$e_{crit} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{q_{max} \cdot B} \qquad \text{(Ec. 2-35)}$$

- Cálculo de las Presiones Sobre la Placa Base y Tensión Critica en los Pernos de Anclaje

  - Si $e \leq e_{crit}$

  $$y = N - 2e \qquad \text{(Ec. 2-36)}$$

  $$q = \frac{P_u}{B} + q_{max} \qquad \text{(Ec. 2-37)}$$

- Si e ≤ e_{crit}

$$y = \sqrt{f^2 + \frac{2 \cdot P_u}{q_{max}} \cdot f + \frac{2 \cdot P_u \cdot (f + e)}{q_{max}}} \qquad \text{(Ec. 2-38)}$$

$$f = \frac{2 \cdot P_u \cdot (f + e)}{q_{max}} \qquad \text{(Ec. 2-39)}$$

Donde:

$$f = S/2 \qquad \text{(Ec. 2-40)}$$

$$y \leq N \qquad \text{(Ec. 2-41)}$$

$$T_u = q_{max} \cdot y - P_u \qquad \text{(Ec. 2-42)}$$

- Cálculo del Espesor de la Placa Base

a. Cálculo de las Luces de los Volados

$$m = \frac{N - 0.95 \cdot d}{2}$$

$$n = \frac{B - 0.80 \cdot b_f}{2}$$

b. Espesor Mínimo Requerido

- Si e ≤ e crit

$$f_p = \frac{T_u}{B \cdot N} \qquad \text{(Ec. 2-43)}$$

Si y ≤ m ➔ $t_{p\ req}$ = máximo de

$$1{,}5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \qquad \text{(Ec. 2-44)}$$

$$1{,}5 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \qquad \text{(Ec. 2-45)}$$

Si y < m ➔ $t_{p\ req}$ = máximo de

$$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot y \cdot m \cdot \frac{y}{2}}{F_y}} \qquad \text{(Ec. 2-46)}$$

$$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot y \cdot \left(m - \frac{y}{2}\right)}{F_y}} \qquad \text{(Ec. 2-47)}$$

- Si e > e crit

$$f_p = f_{p\ max}$$

Si y ≥ m ➔ $t_{p\ req}$ = máximo de

$$1{,}5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

$$1{,}5 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

$$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot \left(m - \frac{y}{2}\right)}{F_y}} \qquad \text{(Ec. 2-48)}$$

Si y < m ➔ $t_{p\ req}$ = máximo de

$$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot \left(m - \frac{y}{2}\right)}{F_y}}$$

$$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot y \cdot \left(m - \frac{y}{2}\right)}{F_y}}$$

$$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot m}{F_y}}$$

- Capacidad de los Pernos de Anclaje

  - Si e ≥ e_{crit}

    No existen fuerzas de tensión en los pernos.

    Utilizar mínimo 4 Φ ¾” ASTM F1554 Gr. 36.

- Si $e > e_{crit}$

$$T_{max} = \frac{\text{º}}{} \quad \text{Capacidad del Perno} \qquad \text{(Ec. 2-49)}$$

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se discute el enfoque y la metodología que se seleccionó para el desarrollo de esta investigación, así como también las distintas técnicas para la recolección y procesamiento de datos.

Por otro lado, se discute brevemente las distintas fases que se llevaron a cabo para la consecución de los objetivos planteados al inicio de este proyecto de investigación.

1. Diseño de la Investigación

De acuerdo con los objetivos planteados, la investigación desarrollada tiene como propósito fundamental desarrollar una herramienta que cubra la necesidad del Ingeniero Estructural de poder diseñar, de forma más eficiente, las conexiones típicas en una estructura de acero.

Para resolver el problema de investigación planteado, el diseño que se adoptó para el proceso de investigación fue el definido como *Investigación Documental*, para lo se llevó a cabo una revisión bibliográfica de todos los aspectos relevantes que deben estar presentes en el diseño de conexiones en estructuras de acero.

Para esto, se revisaron en primer lugar los requisitos que establece la normativa vigente en Venezuela para el diseño de estructuras de acero, en este caso la *Norma COVENIN 1618:1998 "Estructuras de Acero para Edificaciones, Método de los Estados Límites"*. También, se revisaron y fueron incorporadas algunas actualizaciones que el AISC[17] ha hecho a sus especificaciones posteriores al año 1998, que fue cuando entró en vigencia la última revisión de la Norma Venezolana. Específicamente, se tomaron en cuenta las actualizaciones indicadas en las especificaciones del AISC del año 2005[18].

Por otro lado, se revisaron las recomendaciones y procedimientos de diseño indicados en las Guías de Diseño del AISC relativas a las conexiones que forman parte del alcance de esta investigación, así como también artículos técnicos y bibliografía especializada en el tema, a fin de poder recopilar los requerimientos necesarios que permitieran formular los procedimientos de diseño de las distintas conexiones, para luego proceder al desarrollo de las hojas de cálculo, lo cual, en definitiva, es el objetivo principal de esta investigación.

---

[17] AISC: American Institute of Steel Construction.

[18] ANSI/AISC 360-05 "Specification for Structural Steel Buildings".

2. Operacionalización de los Objetivos de la Investigación

Con el objeto de poder alcanzar los objetivos planteados en esta investigación, fue necesario definir las variables que fueron analizadas para poder determinar los distintos componentes que conformarán las hojas de cálculo que permitirán la automatización del diseño de un grupo conexiones en estructuras de acero.

La Tabla 7 muestra la operacionalización de los objetivos de la investigación.

Tabla 7. *Operacionalización de Objetivos*.

Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Técnicas	Instrumentos	Fuentes de Información
Desarrollar un grupo de hojas de cálculo en MS Excel® para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD).	Revisión de la bibliografía existente acerca del diseño de conexiones por el Método de los Estados Límites (LRFD).	Normas, Guías de diseño AISC, Libros de texto para el diseño de estructuras metálicas (LRDF)	Análisis documental de fuentes bibliográficas	Citas y notas de referencias bibliográficas, tablas, ecuaciones	Normativa vigente, bibliografía especializada, artículos técnicos, guías de diseño, Internet.
	Desarrollo de la formulación, de acuerdo con la normativa vigente, para el diseño de un conjunto de conexiones típicas en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD).	Requisitos normativos para el diseño de conexiones. (capacidad de los pernos, soldaduras, perfiles y elementos de conexión, etc.)	Análisis documental de fuentes bibliográficas	Citas y notas de referencias bibliográficas, tablas, ecuaciones	Normativa vigente, bibliografía especializada, artículos técnicos, guías de diseño, Internet.
	Desarrollo de las hojas de cálculo en MS Excel® para el diseño del conjunto de conexiones típicas seleccionadas.	Tipo de conexión, procedimientos de diseño	Análisis documental de fuentes bibliográficas	Computador, MS Excel®	Normativa vigente, bibliografía especializada, artículos técnicos, guías de diseño, Internet, Criterio Propio
	Validar, con ejemplos manuales, los resultados obtenidos con las hojas de cálculo desarrolladas.	Tipo de conexión, Procedimientos de diseño	Aplicación de las hojas de cálculo desarrolladas	Hojas de cálculo desarrolladas.	Resultados obtenidos con las hojas de cálculo y ejemplos manuales.
	Comparar los resultados obtenidos con las hojas de cálculo con aquellos obtenidos con los ejemplos manuales.	Tipo de Conexión	Comparación de resultados.	Tablas	Resultados obtenidos con las hojas de cálculo y ejemplos manuales. Criterio Propio.

Fuente: Elaboración Propia.

3. Fases de la Investigación

El proceso de desarrollo de esta investigación estuvo compuesto de cuatro fases: Fase de Planificación, Fase de Ejecución, Fase de Valoración y Fase de Escritura del Reporte Final.

En líneas generales, la Fase de Planificación incluyó el planteamiento del problema de investigación, la descripción de los objetivos, la justificación del trabajo, el desarrollo del marco de referencia conceptual y el planteamiento de la metodología para la resolución del problema de investigación.

La Fase de Ejecución constituyó la parte principal del desarrollo de esta investigación, y comprendió la completación del marco de referencia conceptual y el desarrollo de las hojas de cálculo para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero, siguiendo la metodología establecida.

La Fase de Valoración consistió en la validación de las hojas de cálculo desarrolladas, donde se realizaron ejemplos de cálculos manuales para cada tipo de conexión incluida dentro del alcance, para posteriormente comparar los resultados obtenidos con los de las hojas de cálculo desarrolladas. Igualmente, se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

Finalmente, en la Fase de Escritura del Reporte Final se desarrolló el reporte escrito en su versión final.

La Figura 10 muestra un esquema general de las fases de la investigación.

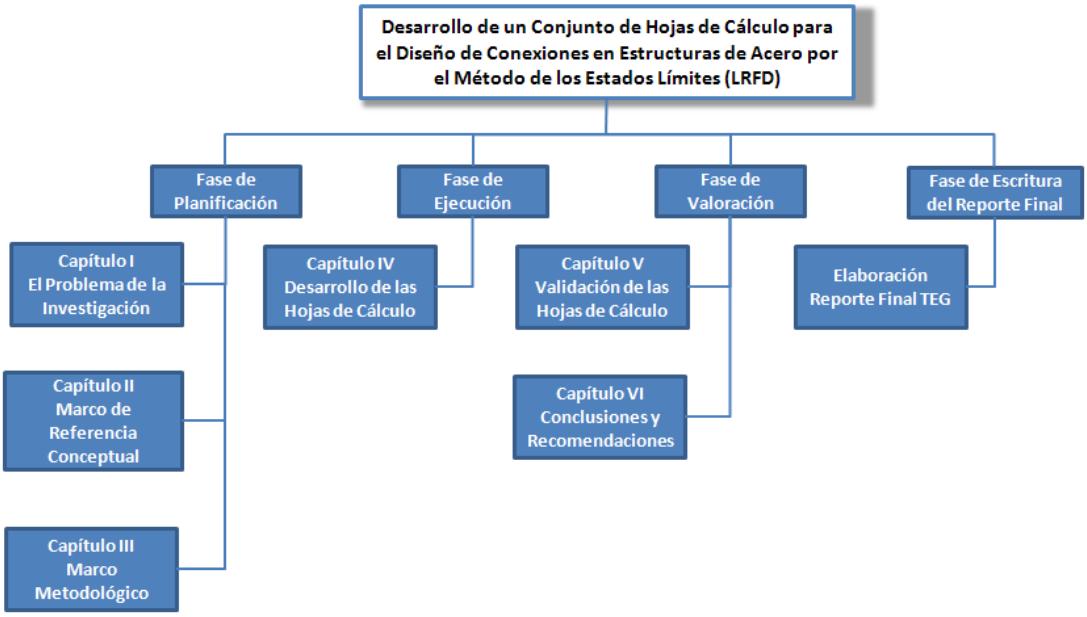

Figura 10. Fases de la Investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de datos.

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos establecidos en esta investigación, se planteó fundamentalmente como técnica para la recolección de datos la técnica de investigación documental.

Tal y como se explicó en la sección correspondiente al diseño de la investigación, esta técnica se refiere a la revisión y análisis de fuentes documentales, bibliografía especializada, normativa vigente, guías de diseño, artículos técnicos e internet, con el fin de determinar todos los aspectos relevantes que deben estar presentes en el diseño de conexiones en estructuras de acero.

A través de esta técnica, se estableció todo lo referente al marco de referencia conceptual de esta investigación, y que a su vez sirvió de base para el desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LAS HOJAS DE CÁLCULO

El presente capítulo presenta las consideraciones generales que se tomaron en cuenta para el desarrollo del conjunto de hojas de cálculo comprendidas dentro del alcance de este TEG. Asimismo, se presenta una breve explicación de los requisitos mínimos que se deben cumplir para que las hojas de cálculo desarrolladas puedan funcionar en cualquier computador personal.

Finalmente, se indican los parámetros de entrada que se deben proveer en cada caso en particular para el uso de las hojas, y se mencionan las advertencias que las mismas hacen en caso de que alguna información no sea correcta o exista algún problema con alguna de las verificaciones que estas herramientas realizan para el diseño de cada una de las conexiones.

1. Generalidades y Requerimientos Mínimos del Sistema

Las hojas de cálculo que forman parte del alcance de este TEG fueron desarrolladas en MS Excel® 2007, de acuerdo con los fundamentos teóricos expuestos en el Capítulo II, utilizando todas las funcionalidades que esta herramienta de escritorio posee para el desarrollo de aplicaciones de ingeniería, en especial la posibilidades de programar funciones, manejar bases de datos, etc.

Sin embargo, es importante hacer notar que para que las mismas funcionen en cualquier computador personal no hace falta disponer de la última versión de MS Excel®, es decir, la versión 2007, ya que las mismas fueron convertidas a un formato compatible con versiones anteriores de MS Excel®, como por ejemplo la versión 2003. Esto se hizo tomando en cuenta que no todos los usuarios han hecho la migración hacia la última versión de la herramienta, por lo que se consideró conveniente generarlas de manera que fueran compatibles con las distintas versiones que manejan los posibles usuarios de este tipo de aplicaciones.

Adicionalmente, se recomienda disponer, como mínimo, de un computador con procesador de 1 GHz de 32 bits o de 64 bits, 512 Mb de memoria RAM, 20 Gb de disco duro con al menos 15 Gb de espacio disponible.

2. Manual de Uso de las Hojas de Cálculo

2.1 Consideraciones Generales

Las hojas de cálculo se diseñaron de manera que su interfaz con el usuario fuera lo más amigable e intuitiva posible, resaltando con una serie de colores aquellos datos, parámetros o mensajes que fueran de relevancia para el uso de las mismas. De esta manera, se tomó en cuenta lo siguiente:

- Se resaltaron en color *azul* aquellos parámetros que el usuario obligatoriamente debe introducir, bien sea de forma manual o a través de la selección mediante listas desplegables, tal y como muestra la Figura 11.

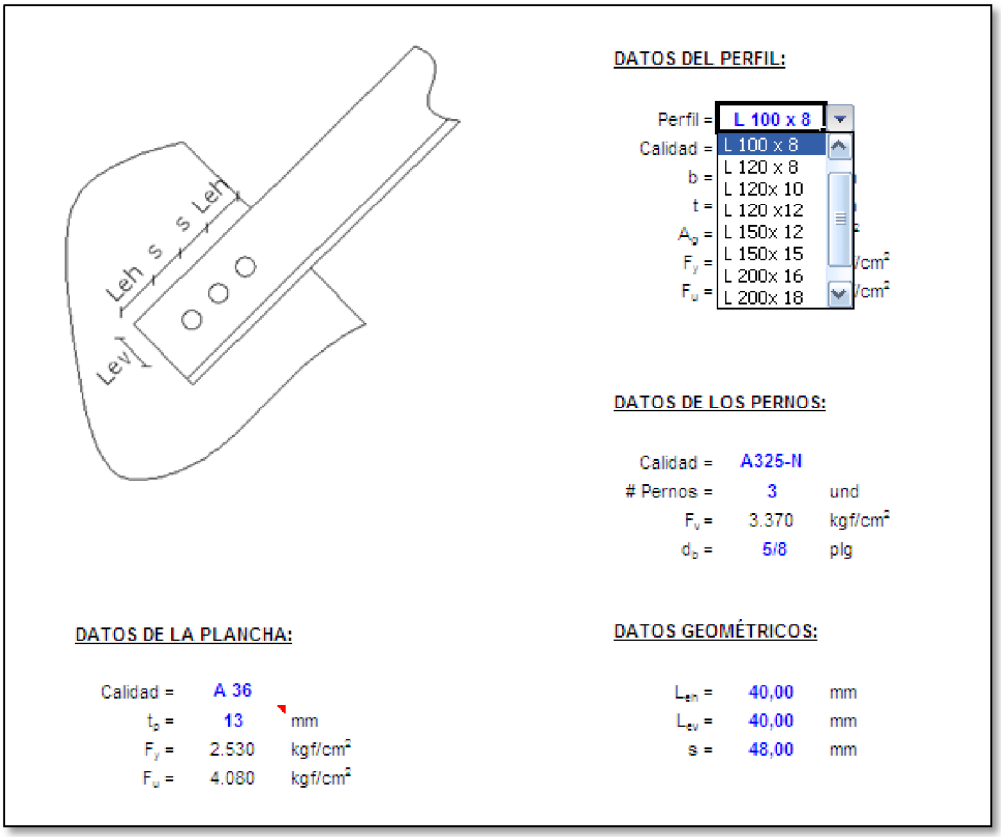

Figura 11. Ejemplo Introducción de Datos de Entrada.

Fuente: Elaboración Propia.

- Se resaltaron en color *rojo* los resultados de las distintas verificaciones y los mensajes de advertencia por posibles errores, inconsistencias o fallas en cualquiera de las verificaciones, de manera que el usuario tome las acciones correspondientes para solventarlas, tal y como se muestra en las Figuras 12 y 13.

DATOS DE LA SOLDADURA:

Electrodo E70-XX

F_{EXX} = 4.920 kgf/cm²

D = 6 mm

CARGAS DE DISEÑO:

T_u = 23.000 kgf

Error: ¡El espesor de la plancha debe ser menor o igual a la mitad del diámetro del perno más 2 mm! Modificar el espesor de la plancha antes de continuar

Figura 12. Ejemplo Mensaje de Advertencia al Usuario.

Fuente: Elaboración Propia.

1-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS PERNOS:

1.1.- Pernos trabajando a corte por Aplastamiento:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) = 0,75

Capacidad total de los pernos $ØR_c$ = **20.074** kgf NO!

2-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PERFIL:

2.1.- Aplastamiento en el Alma del Perfil:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) = 0,75

Capacidad total por aplastamiento $ØR_c$ = **45.073** kgf OK!

Figura 13. Ejemplo Verificaciones del Diseño.

Fuente: Elaboración Propia.

Adicionalmente, se programaron una serie de cuadros o ventanas de advertencia, que le indican al usuario en caso de que no esté cumpliendo con algún requisito normativo en particular, como por ejemplo, el no cumplimiento de la separación mínima entre pernos, tal y como lo muestra la Figura 14.

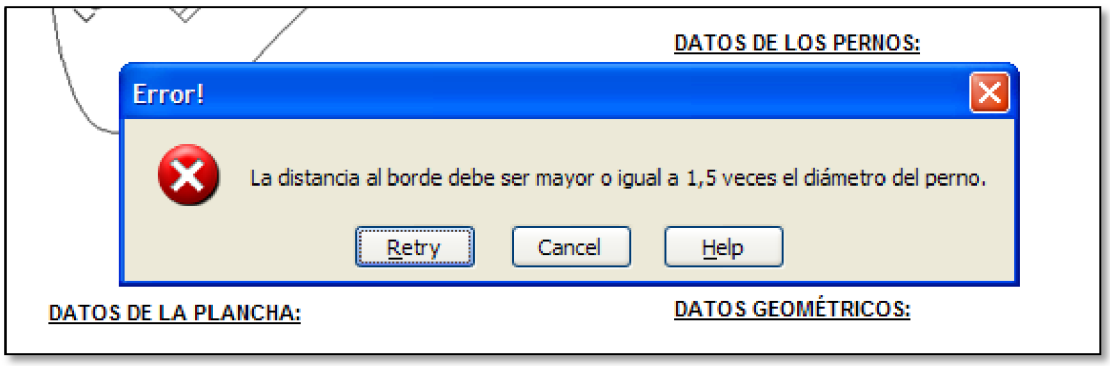

Figura 14. Ejemplo Ventana de Advertencia al Usuario.

Fuente: Elaboración Propia.

Todos los valores en color *negro* representan resultados o información que es calculada automáticamente por la hoja y, por ende, no puede ser modificada por el usuario.

También, es importante destacar que las celdas, con excepción de aquellas donde el usuario debe introducir valores necesarios para el diseño, fueron bloqueadas y protegidas, a fin de evitar que por un error, el usuario modificara la programación interna de la hoja, lo que pudiera ser causa de que las mismas produjeran resultados incorrectos.

En lo relacionado a las verificaciones que realizan las hojas de cálculo, en caso de que todos los chequeos cumplan con los requisitos, irá apareciendo la palabra "ok!" resaltada en color *rojo*, en señal de que la capacidad calculada es igual o mayor a la solicitación actuante sobre la conexión. En caso de que algún chequeo no cumpla, aparecerá, igualmente resaltada en color *rojo*, la palabra "No!", en señal de que el usuario debe modificar los datos de entrada, por ejemplo, aumentar el diámetro de los pernos, cambiar el espesor de la plancha, cambiar el perfil, etc., a fin de que la conexión analizada sea capaz de resistir las cargas de diseño.

Para comodidad del usuario, todas las hojas de cálculo están configuradas de manera que se puedan imprimir directamente, y puedan ser anexadas a la memoria de cálculo de la estructura.

Las siguientes secciones indican, de manera breve, los datos de entrada y los resultados que arrojan cada una de las hojas de cálculo desarrolladas.

2.2 Hoja de Cálculo para el Diseño de Arriostramientos con Perfiles Angulares

Para el uso de esta hoja, el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Información general del proyecto, estructura e ingeniero responsable del cálculo.

- **Tipo de Perfil**, el cual selecciona mediante una lista desplegable de la base de datos que tiene precargada la hoja de cálculo, la cual contiene, en esta primera versión, más de 10 perfiles.

- **Calidad del acero del perfil**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Calidad de los pernos de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de perno de uso común en el proyecto de estructuras de acero.

- **Número y diámetro de los pernos** de conexión.

- **Espesor de la plancha de conexión**. Aquí, la hoja tiene un comentario de ayuda para el usuario, que indica los espesores comerciales de plancha disponibles en el mercado venezolano.

- **Calidad del acero de la plancha de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Carga de diseño**.

- Datos geométricos de la conexión, como **separación entre pernos** y **distancias a los bordes**.

En caso de que no se cumpla algún requisito normativo, como por ejemplo una distancia al borde, la hoja arroja un mensaje de advertencia, a fin de que el usuario haga las modificaciones correspondientes.

Ya con estos datos introducidos, la hoja procede a realizar todos los chequeos y verificaciones, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Capítulo II.

La Figura 15 muestra una salida típica de esta hoja de cálculo.

1-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS PERNOS:

1.1.- Pernos trabajando a corte por Aplastamiento:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
Capacidad total de los pernos $ØR_v$ =	**15.013**	kgf	OK!

2-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PERFIL:

2.1.- Cedencia por tracción en la sección total:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,90		
Capacidad total por cedencia $ØR_t$ =	**34.975**	kgf	OK!

2.2.- Rotura por tracción en la sección efectiva:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
Capacidad total por rotura $ØR_t$ =	**33.959**	kgf	OK!

2.3.- Rotura por Bloque de Corte:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
U_{bs} =	1,00		
Área total a corte (A_v) =	10,88	cm^2	
Área Neta a Corte (A_{nv}) =	7,10	cm^2	
Área Neta a Tracción (A_{nt}) =	2,44	cm^2	
Capacidad total por bloque de corte $ØR_{bs}$ =	**19.866**	kgf	OK!

2.4.- Aplastamiento:

Figura 15. Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Conexión Arriostramientos con Perfiles Angulares.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3 Hoja de Cálculo para el Diseño de Arriostramientos con Perfiles "T"

Para el uso de esta hoja, el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Información general del proyecto, estructura e ingeniero responsable del cálculo.

- **Tipo de Perfil**, el cual selecciona mediante una lista desplegable de la base de datos que tiene precargada la hoja de cálculo, la cual contiene, en esta primera versión, más de 20 perfiles.

- **Calidad del acero del perfil**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Calidad de los pernos de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de perno de uso común en el proyecto de estructuras de acero.

- **Número y diámetro de los pernos** de conexión.

- **Espesor de la plancha de conexión**, la hoja tiene un comentario de ayuda para el usuario, que indica los espesores comerciales de plancha disponibles en el mercado venezolano.

- **Calidad del acero de la plancha de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Carga de diseño**.

- Datos geométricos de la conexión, como **separación entre pernos** y **distancias a los bordes**.

En caso de que no se cumpla algún requisito normativo, como por ejemplo una distancia al borde, la hoja arroja un mensaje de advertencia.

La hoja de cálculo realiza todos los chequeos y verificaciones, una vez que son introducidos todos los datos de entrada de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Capítulo II.

La Figura 16 muestra una salida típica de esta hoja de cálculo.

3-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE PLANCHA:

3.1.- Aplastamiento:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
Para los agujeros cercanos al borde $ØR_t$ =	11.427	kgf/perno	
Para el resto de los agujeros $ØR_t$ =	22.443	kgf/perno	
Capacidad total por aplastamiento $ØR_t$ =	**112.628**	kgf	OK!

3.2.- Rotura por Bloque de Corte:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
U_{bs} =	1,00		
Área total a corte (A_v) =	24,00	cm^2	
Área Neta a Corte (A_{nv}) =	15,16	cm^2	
Área Neta a Tracción (A_{nt}) =	10,86	cm^2	
Capacidad total por bloque de corte $ØR_{bs}$ =	**60.568**	kgf	OK!

Figura 16. Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Conexión Arriostramientos con Perfiles "T".

Fuente: Elaboración Propia.

2.4 Hoja de Cálculo para el Diseño de Conexiones convencionales a Corte Simple con Plancha

Para el uso de esta hoja, el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Información general del proyecto, estructura e ingeniero responsable del cálculo.
- **Tipo de Perfil**, el cual selecciona mediante una lista desplegable de la base de datos que tiene precargada la hoja de cálculo, la cual contiene, en esta primera versión, más de 60 perfiles.
- **Calidad del acero del perfil**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.
- **Calidad de los pernos de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de perno de uso común en el proyecto de estructuras de acero.

- **Número y diámetro de los pernos** de conexión.

- **Espesor de la plancha de conexión**. Aquí, la hoja tiene un comentario de ayuda para el usuario, que indica los espesores comerciales de plancha disponibles en el mercado venezolano.

- **Calidad del acero de la plancha de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Tipo de electrodo para la soldadura,** mediante una lista desplegable que contiene los tipos más usuales de electrodos en el proyecto de estructuras de acero.

- **Tamaño nominal de la soldadura**. Aquí, la hoja presenta un comentario de ayuda al usuario, donde se hace referencia al tamaño mínimo que debe tener la soldadura, de acuerdo con los requisitos normativos y los requerimientos particulares de este tipo de conexión.

- **Carga de diseño**.

- Datos geométricos de la conexión, como **separación entre pernos, distancias a los bordes y distancia de los pernos al perfil de la columna**.

En caso de que no se cumpla algún requisito normativo, como por ejemplo una distancia al borde, tamaño mínimo de la soldadura, etc., la hoja arroja un mensaje de advertencia.

Una vez introducidos todos los datos, la hoja procede a realizar todos los chequeos y verificaciones, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Capítulo II.

La Figura 17 muestra una salida típica de esta hoja de cálculo.

3-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANCHA:

3.1.- Cedencia por Corte:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	1,00		
Capacidad total de la plancha $ØR_t$ =	**45.692**	kgf	OK!

3.2.- Rotura por Corte:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
Capacidad total por aplastamiento $ØR_t$ =	**39.033**	kgf	OK!

3.3.- Rotura por Bloque de Corte:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
U_{bs} =	1,00		
Área total a corte (A_v) =	26,30	cm^2	
Área Neta a Corte (A_{nv}) =	18,57	cm^2	
Área Neta a Tracción (A_{nt}) =	2,70	cm^2	
Capacidad total por bloque de corte $ØR_{bs}$ =	**38.189**	kgf	OK!

3.4.- Aplastamiento de la plancha:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
Para los agujeros cercanos al borde $ØR_t$ =	10.080	kgf/perno	
Para el resto de los agujeros $ØR_t$ =	14.027	kgf/perno	
Capacidad total por aplastamiento $ØR_t$ =	**48.213**	kgf	OK!

4-. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA SOLDADURA:

4.1.- Corte en la soldadura:

Factor de minoración de la resistencia (Ø) =	0,75		
Capacidad total soldadura $ØF_w$ =	**56.539**	kgf	OK!

Figura 17. Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Conexión convencional a Corte Simple con Plancha.

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Hoja de Cálculo para el Diseño de Placas Base Articuladas

Para el uso de esta hoja, el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Información general del proyecto, estructura e ingeniero responsable del cálculo.

- **Tipo de Perfil**, el cual selecciona mediante una lista desplegable de la base de datos que tiene precargada la hoja de cálculo, la cual contiene, en esta primera versión, más de 60 perfiles.

- **Calidad del acero de la placa base**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Carga de diseño**.

- Datos del pedestal de concreto, como la **resistencia del concreto a la compresión** y **dimensiones del pedestal**.

Al igual que en el caso de las hojas anteriores, si no se cumple con algún requisito aparecerá un mensaje de advertencia, como puede ser en este caso el área requerida de la placa base, indicando que las dimensiones de la misma no son suficientes.

La hoja procede a realizar todos los chequeos y verificaciones de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Capítulo II, una vez introducidos la totalidad de los datos.

La Figura 18 muestra una salida típica de esta hoja de cálculo.

2-. VERIFICACIÓN DEL APLASTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO:

2.1.- Capacidad del concreto por aplastamiento:

$Ø\ P_p$ = 321.300 kgf OK!

3-. CÁLCULO DEL ESPESOR REQUERIDO DE LA PLACA BASE:

3.1.- Cálculo de l:

	m =	9,66	cm
l = max (m; n; λn')	n =	12,64	cm
	λn' =	7,90	cm
	l =	12,64	cm

3.2.- Espesor mínimo requerido ($t_{p\ req}$):

$t_{p\ req}$ = **42,25** mm → t = **44** mm

4-. DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA PLACA BASE:

N =	500	mm	
B =	500	mm	
t =	44	mm	OK!

Figura 18. Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Diseño Placas Base Articuladas.

Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Hoja de Cálculo para el Diseño de Placas Base Empotradas

Para el uso de esta hoja, el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Información general del proyecto, estructura e ingeniero responsable del cálculo.
- **Tipo de Perfil**, el cual selecciona mediante una lista desplegable de la base de datos que tiene precargada la hoja de cálculo, la cual contiene, en esta primera versión, más de 60 perfiles.
- **Calidad del acero de la plancha de conexión**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de acero más comunes en Venezuela.

- **Cargas de diseño**, incluyendo la carga axial y momentos flectores mayorados.

- **Calidad de los pernos de anclaje**, mediante una lista desplegable que contiene los tipos de perno de anclaje de uso común en el proyecto de estructuras de acero.

- **Número y diámetro de los pernos** de anclaje.

- **Separación entre pernos de anclaje.**

- Datos del pedestal de concreto, como la **resistencia del concreto a la compresión** y **dimensiones del pedestal**.

Si se presenta el caso de que no se cumpla algún requisito de diseño, como por ejemplo, la capacidad de los pernos de anclaje, la hoja arroja un mensaje de advertencia, a fin de que el usuario haga las modificaciones correspondientes.

Cuando el usuario ha introducido la totalidad de los datos, la hoja de cálculo realiza todos los chequeos y verificaciones, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Capítulo II.

La Figura 19 muestra una salida típica de esta hoja de cálculo.

4-. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA PLACA BASE

4.1.- Cálculo de las luces de los volados:

m =	9,66	cm
n =	12,64	cm

4.2.- Espesor mínimo requerido (t_{req}):

f_p =	171,36	kgf/cm^2				
$t_{p\ req}$ =	49,34	mm	→	t =	50	mm

5-. REVISIÓN DE LOS PERNOS DE ANCLAJE:

5.1.- Capacidad pernos de anclaje:

T_{max} =	78.453	kgf	OK!

6-. DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA PLACA BASE:

N =	500	mm	
B =	500	mm	
t =	50	mm	OK!

Figura 19. Ejemplo Resultados Hoja de Cálculo Diseño Placas Base Empotradas.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

VALIDACIÓN DE LAS HOJAS DE CÁLCULO

En el presente capítulo se presentan los ejemplos manuales correspondientes a cada una de las conexiones que forman parte del alcance de este TEG, con el objeto de validar y comparar los resultados obtenidos entre estos cálculos manuales y aquellos arrojados por las hojas de cálculo desarrolladas.

1. Generalidades

Para cada uno de los ejemplos que se desarrollarán a continuación, en primer lugar se presentará el enunciado, indicando los datos básicos del diseño, tales como tipo de perfil, calidad de los materiales, geometría de la conexión, etc. Luego, se procederá, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo II, a la realización de todos los chequeos para cada una de las conexiones. Finalmente, se presenta una tabla comparativa de los resultados obtenidos, a fin de verificar que las distintas hojas de cálculo produzcan resultados correctos.

2. Desarrollo de Cálculos Manuales

2.1 Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares

Verificar si la conexión mostrada en la Figura 20 es capaz de resistir una carga de tracción T_u = 15.000 kgf. Calidad de planchas y perfiles: ASTM A36. Calidad de los Pernos: ASTM A325-N.

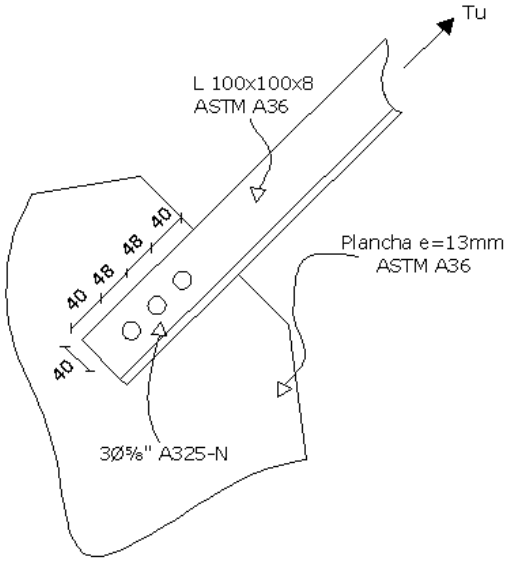

Figura 20. Ejemplo Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares.

Fuente: Elaboración Propia.

2.1.1 Verificación de la Capacidad de los Pernos

$Ø\ R_v = Ø \cdot F_v \cdot A_b \cdot \#$ pernos Con $Ø = 0,75$

Para pernos ASTM A325-N se tiene que: $F_v = 3.370$ kgf/cm^2

Para pernos diámetro 5/8" se tiene que: $A_b = 1,98$ cm^2

Entonces, se tiene que:

$Ø\ R_v = 0,75 \cdot 3.370 \cdot 1,98 \cdot 3 \rightarrow Ø\ R_v = 15.013$ kgf

15.013 kgf ≥ 15.000 kgf ok!

2.1.2 Verificación de la Capacidad del Perfil

2.1.2.1 Cedencia en la Sección Total

$Ø\ R_t = 0,90 \cdot F_y \cdot A_g$

$Ø\ R_t = 0,90 \cdot 2.530 \cdot 15,36 \rightarrow Ø\ R_t = 34.975$ kgf

34.975 kgf ≥ 15.000 kgf ok!

2.1.2.2 Rotura en la Sección Efectiva

$Ø\ R_t = 0,75 \cdot F_u \cdot A_e$

$A_n = A_g - d_a \cdot t \rightarrow A_n = 15,36 - (1,6 + 0,3) \cdot 0,8 = 13,84$ cm^2

$A_n \leq 0,85\ A_g = 0.85 \cdot 15,36 = 13,06$ cm^2

$13,84 > 13,06$ cm$^2 \rightarrow A_n = 13,06$ cm^2

$Ø_A = 0,85$ (conexión larga)

$A_e = Ø_A \cdot A_n \rightarrow A_e = 0,85 \cdot 13,06 = 11,10$ cm^2

$Ø\ R_t = 0,75 \cdot 4.080 \cdot 11,10 \rightarrow Ø\ R_t = 33.966$ kgf

33.966 kgf ≥ 15.000 kgf ok!

2.1.2.3 Bloque de Corte

$ØR_{bs} = Ø \cdot [\ U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min(0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv}\ ;\ 0,60 \cdot F_y \cdot A_v)]$

$A_v = L_1 \cdot t = 13,6 \cdot 0,80 \rightarrow A_v = 10,88$ cm^2

$A_{nv} = [\ L_1 - (n - 0,5) \cdot d_a] \cdot t = [\ 13,6 - (3 - 0,5) \cdot 1,9] \cdot 0,8$

$\rightarrow A_{nv} = 7,08$ cm^2

$A_{nt} = [\ L_2 - 0{,}5 \cdot d_a] \cdot t = [\ 4 - 0{,}5 \cdot 1{,}9] \cdot 0{,}8$

$\rightarrow A_{nt} = 2{,}44\ cm^2$

$0{,}60 \times F_u \times A_{nv} = 0{,}60 \times 4.080 \times 7{,}08 = 17.332$ kgf

$0{,}60 \times F_y \times A_v = 0{,}60 \times 2.530 \times 10{,}88 = 16.516$ kgf ← Controla

$U_{bs} = 1{,}00$ (tensiones uniformes)

$ØR_{bs} = 0{,}75 \cdot [1{,}00 \times 4.080 \times 2{,}44 + 16.516] = 19.853$ kgf

19.853 kgf ≥ 15.000 kgf ok!

2.1.2.4 Aplastamiento

$d_a = d_b + 2\ mm = 1{,}8\ cm$

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1{,}2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = 4 - \frac{2{,}2}{2} = 3{,}1$ cm (para el agujero más cercano al borde)

$L_c = 4{,}8 - 1{,}8 = 3$ cm (para el resto de los agujeros)

Para el agujero más cercano al borde:

$0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 3{,}1 \cdot 0{,}8 \cdot 4.080 \leq 0{,}75 \cdot 2{,}4 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}8 \cdot 4.080$

9.107 kgf ≤ 9.400 kgf ok!

Para el resto de los agujeros:

$0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 3 \cdot 0{,}8 \cdot 4.080 \leq 9.400$

8.813 kgf ≤ 9.400 kgf ok!

Finalmente:

$Ø\ R_t = 9.107 + 2 \cdot 8.813 \rightarrow Ø\ R_t = 26.733$ kgf

26.733 kgf ≥ 15.000 kgf ok!

2.1.3 Verificación de la Capacidad de la Plancha

2.1.3.1 Aplastamiento

$d_a = d_b + 2\ mm = 1{,}8\ cm$

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1{,}2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = 4 - \frac{2{,}2}{2} = 3{,}1$ cm (para el agujero más cercano al borde)

$L_c = 4{,}8 - 1{,}8 = 3$ cm (para el resto de los agujeros)

Para el agujero más cercano al borde:

$0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 3{,}1 \cdot 1{,}3 \cdot 4.080 \leq 0{,}75 \cdot 2{,}4 \cdot 1{,}6 \cdot 1{,}3 \cdot 4.080$

$14.798 \text{ kgf} \leq 15.276 \text{ kgf}$ ok!

Para el resto de los agujeros:

$0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 3 \cdot 1{,}3 \cdot 4.080 \leq 15.276$

$14.321 \text{ kgf} \leq 15.276 \text{ kgf}$ ok!

Finalmente:

$Ø\ R_t = 14.798 + 2 \cdot 14.321 \rightarrow Ø\ R_t = 43.440$ kgf

43.440 kgf ≥ 15.000 kgf **ok!**

2.1.4 Comparación de Resultados

A efectos de comparar los resultados obtenidos en el ejemplo desarrollado manualmente con aquellos obtenidos con la aplicación de la hoja de cálculo, la Tabla 8 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de ambos métodos.

Tabla 8. *Comparación de Resultados – Conexión Arriostramiento con Perfiles Angulares*.

Revisión	Hoja de Cálculo	Cálculo Manual	% de Diferencia
Capacidad Pernos	15.013 kgf	15.013 kgf	0,00%
Cedencia por Tracción en el Perfil	34.975 kgf	34.975 kgf	0,00%
Rotura por Tracción en el Perfil	33.959 kgf	33.966 kgf	0,02%
Bloque de Corte en el Perfil	19.866 kgf	19.853 kgf	0,07%
Aplastamiento en el Perfil	26.806 kgf	26.733 kgf	0,27%
Aplastamiento en la Plancha	43.559 kgf	43.440 kgf	0,27%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar claramente, la diferencia entre los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y el cálculo manual no es mayor a un 0,27%, lo cual es prácticamente despreciable.

Este porcentaje de error es atribuible a los redondeos y aproximaciones que se hacen en los cálculos manuales, por lo que se puede afirmar que la hoja de cálculo desarrollada funciona y produce resultados confiables.

2.2 Conexión Arriostramiento con Perfiles "T"

Verificar si la conexión mostrada en la Figura 21 es capaz de resistir una carga de tracción de T_u = 40.000 kgf. Calidad de planchas y perfiles: ASTM A36. Calidad de los Pernos: ASTM A325-N.

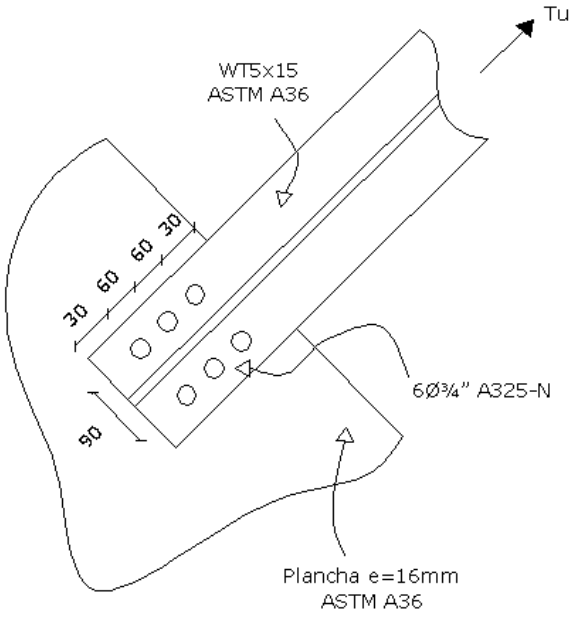

Figura 21. Ejemplo Conexión Arriostramiento con Perfiles "T".

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.1 Verificación de la Capacidad de los Pernos

$Ø\ R_v = Ø \cdot F_v \cdot A_b \cdot$ # pernos Con Ø = 0,75

Para pernos ASTM A325-N se tiene que: F_v = 3.370 kgf/cm^2

Para pernos diámetro 3/4" se tiene que: A_b = 2,85 cm^2

Entonces, se tiene que:

$Ø\ R_v = 0{,}75 \cdot 3.370 \cdot 2{,}85 \cdot 6 \rightarrow Ø\ R_v = 43.220$ kgf

43.220 kgf ≤ 40.000 kgf ok!

2.2.2 Verificación de la Capacidad del Perfil

2.2.2.1 Cedencia en la Sección Total

$Ø\ R_t = 0{,}90 \cdot F_y \cdot A_g$

$Ø\ R_t = 0{,}90 \cdot 2.530 \cdot 28{,}6 \rightarrow Ø\ R_t = 65.122$ kgf

65.122 kgf ≤ 40.000 kgf ok!

2.2.2.2 Rotura en la Sección Efectiva

$Ø\ R_t = 0{,}75 \cdot F_u \cdot A_e$

$A_n = A_g - 2 \cdot d_a \cdot t = 28{,}6 - 2 \cdot (1{,}9 + 0{,}3) \cdot 1{,}3$

$A_n = 22{,}88\ cm^2$

$A_n \leq 0{,}85\ A_g$

$22{,}88 \leq 0{,}85 \cdot 28{,}6 = 24{,}31$ ok!

$Ø_A \rightarrow \frac{\square}{\square\square} = \frac{\square\square\square}{\square\square\square} = 1{,}11 > \frac{\square}{\square} \rightarrow Ø_A = 0{,}90$

$A_e = Ø_A \cdot A_n \rightarrow A_e = 0{,}90 \cdot 22{,}88 = 20{,}59\ cm^2$

$Ø\ R_t = 0{,}75 \cdot 4.080 \cdot 20{,}59 \rightarrow Ø\ R_t = 63.005$ kgf

63.005 kgf ≤ 40.000 kgf ok!

2.2.2.3 Bloque de Corte

$ØR_{bs} = Ø \cdot [\ U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min(0{,}60 \cdot F_u \cdot A_{nv}\ ;\ 0{,}60 \cdot F_y \cdot A_v)]$

$A_v = L_1 \cdot t = 15 \cdot 1{,}3 \rightarrow A_v = 19{,}5\ cm^2$

$A_{nv} = [\ L_1 - \frac{\square}{\square} - 0{,}5 \cdot \square \cdot d_a] \cdot t = [\ 15 - \frac{\square}{\square} - 0{,}5 \cdot \square \cdot 2{,}2\ ] \cdot 1{,}3$

$\rightarrow A_{nv} = 12{,}35\ cm^2$

$A_{nt} = [\ L_2 - 0{,}5 \cdot d_a] \cdot t = [\ 2{,}9 - 0{,}5 \cdot 2{,}2] \cdot 1{,}3 \rightarrow A_{nt} = 2{,}34\ cm^2$

$0{,}60 \times F_u \times A_{nv} = 0{,}60 \times 4.080 \times 12{,}35 = 30.233$ kgf

$0{,}60 \times F_y \times A_v = 0{,}60 \times 2.530 \times 19{,}5 = 29.601$ kgf ← Controla

$U_{bs} = 1{,}00$ (tensiones uniformes)

$ØR_{bs} = 0,75 \cdot 1,00 \times 4.080 \times 2,34 + 29.601 = 29.361$ kgf

Como son 2 bloques de corte, se tiene que:

$2 \cdot 29.361 = 58.772$ kgf

58.772 kgf ≤ 40.000 kgf ok!

2.2.2.4 Aplastamiento

$d_a = d_b + 2$ mm $= 2,1$ cm

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1,2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = 3 - \frac{2,1}{2} = 1,95$ cm (agujeros más cercanos al borde)

$L_c = 6 - 2,1 = 3,9$ cm (para el resto de los agujeros)

Para el agujero más cercano al borde:

$0,75 \cdot 1,2 \cdot 1,95 \cdot 1,3 \cdot 4.080 \leq 0,75 \cdot 2,4 \cdot 1,9 \cdot 1,3 \cdot 4.080$

9.309 kgf ≤ 18.140 kgf ok!

Para el resto de los agujeros:

$0,75 \cdot 1,2 \cdot 3,9 \cdot 1,3 \cdot 4.080 \leq 24.186$

18.617 kgf ≤ 18.140 kgf No!

Usar 18.140 kgf

Finalmente:

$Ø\ R_t = 2 \cdot 9.309 + 4 \cdot 18.140 \rightarrow Ø\ R_t = 91.178$ kgf

91.178 kgf ≤ 40.000 kgf ok!

2.2.3 Verificación de la Capacidad de la Plancha

2.2.3.1 Bloque de Corte

$ØR_{bs} = Ø \cdot [\ U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min(0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv}\ ;\ 0,60 \cdot F_y \cdot A_v)]$

$A_v = L_1 \cdot t = 15 \cdot 1,6 \rightarrow A_v = 24\ cm^2$

$A_{nv} = [\ L_1 - \frac{2}{2} - 0,5 \cdot 2 \cdot d_a] \cdot t = [\ 15 - \frac{2}{2} - 0,5 \cdot 2 \cdot (2,2)] \cdot 1,6$

$\rightarrow A_{nv} = 15,2\ cm^2$

$A_{nt} = [L_2 - d_a] \cdot t = [\ 9 - 2,2] \cdot 1,6$

➔ $A_{nt} = 10{,}88\ cm^2$

$U_{bs} = 1{,}00$ (tensiones uniformes)

$0{,}60 \times F_u \times A_{nv} = 0{,}60 \times 4.080 \times 15{,}2 = 37.210$ kgf

$0{,}60 \times F_y \times A_v = 0{,}60 \times 2.530 \times 24 = 36.432$ kgf ← Controla

$ØR_{bs} = 0{,}75 \times 1{,}00 \times 4.080 \times 10{,}88 + 36.432 = 60.617$ kgf

60.617 kgf ≥ 40.000 kgf ok!

2.2.3.2 Aplastamiento

$d_a = d_b + 2\ mm = 2{,}1\ cm$

$Ø\ R_t = Ø \times 1{,}2 \times L_c \times t \times F_u \leq Ø \times 2{,}4 \times d_b \times t \times F_u$

$L_c = 3 - \frac{2{,}1}{2} = 1{,}95$ cm (agujeros más cercanos al borde)

$L_c = 6 - 2{,}1 = 3{,}9$ cm (para el resto de los agujeros)

Para el agujero más cercano al borde:

$0{,}75 \times 1{,}2 \times 1{,}95 \times 1{,}6 \times 4.080 \leq 0{,}75 \times 2{,}4 \times 1{,}9 \times 1{,}6 \times 4.080$

11.457 kgf ≤ 22.326 kgf ok!

Para el resto de los agujeros:

$0{,}75 \times 1{,}2 \times 3{,}9 \times 1{,}6 \times 4.080 \leq 22.326$

22.913 kgf ≤ 22.326 kgf No!

Usar 22.326 kgf

Finalmente:

$Ø\ R_t = 2 \times 11.457 + 4 \times 22.326$ ➔ $Ø\ R_t = 112.218$ kgf

112.218 kgf ≥ 40.000 kgf ok!

2.2.4 Comparación de Resultados

A efectos de comparar los resultados obtenidos en el ejemplo desarrollado manualmente con aquellos obtenidos con la aplicación de la hoja de cálculo, la Tabla 9 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de ambos métodos.

Tabla 9. *Comparación de Resultados – Conexión Arriostramiento con Perfiles "T".*

Revisión	Hoja de Cálculo	Cálculo Manual	% de Diferencia
Capacidad Pernos	43.220 kgf	43.220 kgf	0,00%
Cedencia por Tracción en el Perfil	65.122 kgf	65.122 kgf	0,00%
Rotura por Tracción en el Perfil	62.940 kgf	63.005 kgf	0,10%
Bloque de Corte en el Perfil	58.683 kgf	58.772 kgf	0,07%
Aplastamiento en el Perfil	91.510 kgf	91.178 kgf	0,36%
Bloque de Corte en la Plancha	60.568 kgf	60.617 kgf	0,08%
Aplastamiento en la Plancha	112.628 kgf	112.218 kgf	0,36%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar claramente, la diferencia entre los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y el cálculo manual no es mayor a un 0,36%, lo cual es prácticamente despreciable.

Este porcentaje de error es atribuible a los redondeos y aproximaciones que se hacen en los cálculos manuales, por lo que se puede afirmar que la hoja de cálculo desarrollada funciona y produce resultados confiables.

2.3 Conexión convencional a Corte Simple con Plancha

Diseñar una conexión a corte simple con plancha entre una viga W16X50 y las alas de una columna W14X90, tal y como se indica en la Figura 22. Las cargas sobre la viga son las siguientes:

CP = 3.600 kgf
CV = 11.500 kgf

Usar Pernos Ø¾" ASTM A325-N con agujeros estándar y electrodos E70-XX. Calidad de la plancha y perfiles ASTM A36.[19]

[19] Adaptado del ejemplo II.A.17 del Manual del AISC (2005).

Datos Geométricos: a = 75 mm; $L_{eh} = L_{ev}$ = 38 mm; S = 75 mm.

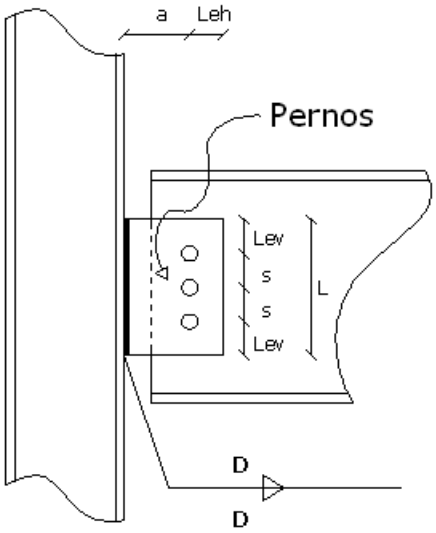

Figura 22. Ejemplo Conexión convencional a Corte Simple con Plancha.
Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1 Cargas de Diseño

$V_u = 1{,}2 \cdot 3.600 + 1{,}6 \cdot 11.500 \rightarrow V_u = 23.000$ kgf

2.3.2 Revisión de la Geometría de la Conexión

2.3.2.1 Distancia al Borde

$L_e \geq 1{,}5 \cdot d_b \rightarrow L_e = 1{,}5 \cdot 19 = 29 \text{ mm} \leq 38 \text{ mm}$ ok!

$L_{eh} \geq 2 \cdot d_b \rightarrow L_e = 2 \cdot 19 = 38 \text{ mm} = 38 \text{ mm}$ ok!

2.3.2.2 Separación entre Pernos

$S \cdot 3 \cdot d_b \rightarrow S = 3 \cdot 19 \cdot 57 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm}$ ok!

2.3.2.3 Excentricidad

$a \leq 89 \text{ mm} \rightarrow a = 75 \text{ mm} \leq 89 \text{ mm}$ ok!

2.3.3 Tamaño Máximo y Mínimo de la Plancha de Conexión

$L = 38 \cdot 2 + 75 \cdot 3 = 301 \text{ mm} \leq T = 346 \text{ mm}$ ok!

$L \geq \frac{\cdot}{\cdot} = \frac{\cdot\cdot\cdot}{\cdot} = 173 \text{ mm} < 301 \text{ mm}$ ok!

2.3.4 Espesor Mínimo de la Plancha de Conexión

$$t_p \leq \frac{\square\square}{\square} + 2 \text{ mm} = \frac{\square\square}{\square} + 2 = 11{,}2 \text{ mm} \Rightarrow \text{Usar } t_p = 10 \text{ mm}$$

2.3.5 Espesor Máximo del Alma de la Viga

$$t_w \leq \frac{\square\square}{\square} + 2 \text{ mm} = 11{,}2 \text{ mm}$$

$$9{,}65 \text{ mm} \leq 11{,}2 \text{ mm} \qquad \text{ok!}$$

2.3.6 Capacidad de los Pernos

$\text{Ø } R_v = \text{Ø} \square F_{tv} \square A_b \square \#$ pernos Con Ø = 0,75

Para pernos ASTM A325-N se tiene que: $F_v = 3.370$ kgf/cm^2

Para pernos diámetro 3/4" se tiene que: $A_b = 2{,}85$ cm^2

Entonces, se tiene que:

$\text{Ø } R_v = 0{,}75 \square 3.370 \square 2{,}85 \square 4 \Rightarrow \text{Ø } R_v = 28.814$ kgf

28.814 kgf □ 23.000 kgf ok!

2.3.7 Verificación de la Capacidad del Perfil

2.3.7.1 Aplastamiento en el Alma de la Viga

$d_a = d_b + 2 \text{ mm} = 2{,}1$ cm

$\text{Ø } R_t = \text{Ø} \square 1{,}2 \square L_c \square t \square F_u \leq \text{Ø} \square 2{,}4 \square d_b \square t \square F_u$

$L_c = 7{,}5 - 2{,}1 = 5{,}4$ cm

$0{,}75 \square 1{,}2 \square 5{,}4 \square 0{,}965 \square 4.080 \leq 0{,}75 \square 2{,}4 \square 1{,}9 \square 0{,}965 \square 4.080$

$19.135 \text{ kgf} \leq 13.465 \text{ kgf}$ No!

Usar 13.465 kgf

Finalmente:

$\text{Ø } R_t = 4 \square 13.465 \Rightarrow \text{Ø } R_t = 53.860$ kgf

53.860 kgf □ 23.000 kgf ok!

2.3.8 Verificación de la Capacidad de la Plancha de Conexión

2.3.8.1 Aplastamiento

$d_a = d_b + 2$ mm = 2,1 cm

$Ø\ R_t = Ø \cdot 1{,}2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u \leq Ø \cdot 2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$

$L_c = 3{,}8 - \frac{2{,}1}{2} = 2{,}75$ cm (agujeros más cercanos al borde)

$L_c = 7{,}5 - 2{,}1 = 5{,}4$ cm (para el resto de los agujeros)

Para el agujero más cercano al borde:

$0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 2{,}75 \cdot 1 \cdot 4.080 \leq 0{,}75 \cdot 2{,}4 \cdot 1{,}9 \cdot 1 \cdot 4.080$

10.098 kgf $\leq$ 13.954 kgf ok!

Para el resto de los agujeros:

$0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 5{,}4 \cdot 1 \cdot 4.080 \leq 13.954$

19.829 kgf $\leq$ 13.954 kgf No!

Usar 13.954 kgf

Finalmente:

$Ø\ R_t = 2 \cdot 10.098 + 2 \cdot 13.954 \rightarrow Ø\ R_t = 48.104$ kgf

48.104 kgf $\geq$ 23.000 kgf ok!

2.3.8.2 Cedencia por Corte

$Ø\ R_t = 1{,}00 \cdot 0{,}60 \cdot F_y \cdot A_g$

$Ø\ R_t = 1{,}00 \cdot 0{,}60 \cdot 2.530 \cdot 30{,}1 \cdot 1 = 45.692$ kg

45.692 kgf $\geq$ 23.000 kgf ok!

2.3.8.3 Rotura por Corte

$Ø\ R_t = 0{,}75 \cdot 0{,}60 \cdot F_u \cdot A_{nv}$

$A_{nv} = (30{,}1 - 4 \cdot 1{,}9 \cdot 0{,}3) \cdot 1{,}00 = 21{,}3\ cm^2$

$Ø\ R_t = 0{,}75 \cdot 0{,}60 \cdot 4.080 \cdot 21{,}3 = 39.107$ kg

39.107 kgf $\geq$ 23.000 kgf ok!

2.3.8.4 Rotura por Bloque de Corte

$ØR_{bs} = Ø \cdot [\ U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} + \min(0{,}60 \cdot F_u \cdot A_{nv}\ ;\ 0{,}60 \cdot F_y \cdot A_v)\ ]$

$A_v = 26{,}3 \cdot 1{,}00 = 26{,}3\ cm^2$

$A_{nv} = (26{,}3 - 3{,}5 \cdot 1{,}9 \cdot 0{,}3) \cdot 1{,}00 = 18{,}6\ cm^2$

$A_{nt} = (3{,}8 - 0{,}5 \cdot 1{,}9 \cdot 0{,}3) \cdot 1{,}00 = 2{,}7\ cm^2$

$0{,}60 \times F_u \times A_{nv} = 0{,}60 \times 4.080 \times 18{,}6 = 45.533$ kgf

$0{,}60 \times F_y \times A_v = 0{,}60 \times 2.530 \times 26{,}3 = 39.923$ kgf ← Controla

$U_{bs} = 1{,}00$ (tensiones uniformes)

$ØR_{bs} = 0{,}75 \cdot (1{,}00 \times 4.080 \times 2{,}7 + 39.923) = 38.205$ kgf

38.205 kgf ≥ 23.000 kgf ok!

2.3.9 Capacidad de la Soldadura

Tamaño mínimo: $\frac{3}{4} t_p$ ó 5 mm (Tabla 23.5 COVENIN 1618:1998)

$\frac{3}{4}(10) = 6.25$ mm ➔ Usar D = 6 mm

$Ø\ F_{Rw} = 0{,}75 \cdot 0{,}60 \cdot F_{EXX} \cdot A_e$

Para electrodos E-70-XX se tiene que: $F_{EXX} = 4.920\ kg/cm^2$

$Ø\ F_{Rw} = 0{,}75 \cdot 0{,}60 \cdot 4.920 \cdot 0{,}707 \cdot 0{,}6 \cdot 30{,}1 = 28.269$ kgf

Como son 2 cordones de soldadura, se tiene que:

$Ø\ F_{Rw} = 28.269 \cdot 2 = 56.538$ kgf

56.538 kgf > 23.000 kgf ok!

2.3.10 Comparación de Resultados

A efectos de comparar los resultados obtenidos en el ejemplo desarrollado manualmente con aquellos obtenidos con la aplicación de la hoja de cálculo, la Tabla 10 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de ambos métodos.

Tabla 10. *Comparación de Resultados – Conexión convencional a Corte Simple con Plancha*.

Revisión	Hoja de Cálculo	Cálculo Manual	% de Diferencia
Capacidad Pernos	28.967 kgf	28.814 kgf	0,53%
Aplastamiento en el Alma del Perfil	54.144 kgf	53.860 kgf	0,53%
Aplastamiento en la Plancha	48.213 kgf	48.104 kgf	0,23%
Cedencia por Corte en la Plancha	45.692 kgf	45.692 kgf	0,00%
Rotura por Corte en la Plancha	39.033 kgf	39.107 kgf	0,19%
Bloque de Corte en la Plancha	38.189 kgf	38.205 kgf	0,04%
Capacidad de la Soldadura	56.539 kgf	56.538 kgf	0,00%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar claramente, la diferencia entre los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y el cálculo manual no es mayor a un 0,53%, lo cual es prácticamente despreciable.

Este porcentaje de error es atribuible a los redondeos y aproximaciones que se hacen en los cálculos manuales, por lo que se puede afirmar que la hoja de cálculo desarrollada funciona y produce resultados confiables.

2.4 Conexión Placa Base Articulada

Determinar las dimensiones de una placa base para una columna W12X96 apoyada sobre un pedestal de concreto de 60x60 cm con una resistencia a los 28 días de $f'_c = 210$ kgf/cm^2, para resistir una carga axial $P_u = 318$ ton. Calidad de la Plancha: ASTM A36.[20]

[20] Adaptado del ejemplo 4.2 de Fisher y Kloiber (2006).

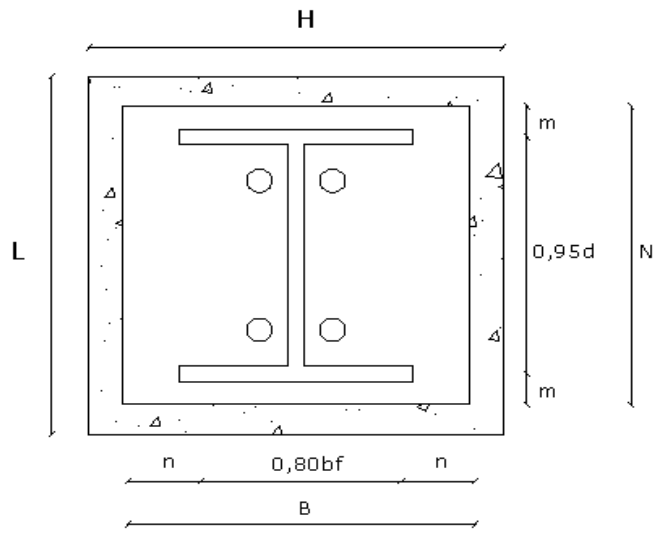

Figura 23. Ejemplo Placa Base Articulada.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.1 Estimación de las Dimensiones de la Placa Base

2.4.1.1 Cálculo del Área Requerida de la Placa Base

$$(A_1)_{req} = \frac{[illegible]}{[illegible]_2} \; [illegible] \; \left[\frac{[illegible]}{Ø[illegible] \; [illegible],[illegible] \; [illegible]}\right]^{[illegible]} \quad \text{con } Ø = 0{,}60$$

$$(A_1)_{req} = \frac{[illegible]}{[illegible]} \; [illegible] \; \left[\frac{[illegible].[illegible]}{[illegible],[illegible] \; [illegible],[illegible] \; [illegible]}\right]^{[illegible]} \sim 2.449 \text{ cm}^2$$

2.4.1.2 Optimización de las Dimensiones de la Placa Base

$$\Delta [illegible] \; \frac{[illegible],[illegible] \; [illegible] \; [illegible],[illegible] \; [illegible]}{[illegible]} = \frac{[illegible],[illegible] \; [illegible] \; [illegible],[illegible] \; [illegible]}{[illegible]}$$

$$\Delta [illegible] \; 29{,}83 \text{ mm} = 2{,}98 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} N [illegible] \; [illegible]\sqrt{A_1 [illegible]_{req}} \; [illegible] \; \Delta \; \geq d \\ B = \frac{[illegible]_1)_{req}}{[illegible]} \; \geq \; b_f \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = \sqrt{2.449} \times 2{,}98 = 52{,}47 \text{ cm} \geq 32{,}3\text{cm} & \text{ok!} \\ B = \dfrac{2.449}{52{,}47} = 46{,}67 \text{ cm} \geq 30{,}9\text{cm} & \text{ok!} \end{cases}$$

Usar B = N = 50cm ➔ $A_1 = 50 \times 50 = 2.500 \text{ cm}^2$

$2.500 \text{ cm}^2 > 2.449\text{cm}^2$ ok!

2.4.2 Verificación del Aplastamiento sobre el Concreto

$P_u \leq Ø\, P_p$ con $Ø = 0.60$

$$P_p = 0{,}85 \times f'_c \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1{,}7 \times f'_c \times A_1$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2{,}00$$

$$\left.\begin{array}{l} A_2 = 60 \times 60 = 3.600 \text{ cm}^2 \\ A_1 = 50 \times 50 = 2.500 \text{ cm}^2 \end{array}\right\} \quad \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 1{,}20 \leq 2{,}00 \qquad \text{ok!}$$

$$P_p = 0{,}85 \times 210 \times 2.500 \times 1{,}20 \leq 1{,}7 \times 210 \times 2.500$$

$$P_p = 535.500 \text{ kgf} \leq 892.500 \text{ kgf} \qquad \text{ok!}$$

$$Ø\, P_p = 0{,}60 \times 535.500 = 321.300 \text{ kgf}$$

$321.300 \text{ kgf} \geq 318.000 \text{ kgf}$ ok!

2.4.3 Cálculo del Espesor Requerido de la Placa Base

Se toma el mayor valor entre m, n y λn':

$$m = \frac{N - 0{,}95 \times d}{2} = \frac{50 - 0{,}95 \times 30{,}9}{2} = 9{,}66 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0{,}80 \times b_f}{2} = \frac{50 - 0{,}80 \times 30{,}9}{2} = 12{,}64 \text{ cm}$$

$$x = \left[\frac{F_u \times d \times b_f}{4 \times F_{pb}}\right] \times \frac{F_u}{Ø\, F_{pb}} = \left[\frac{3.000 \times 30{,}9 \times 30{,}9}{4 \times 2.500}\right] \times \frac{3.000}{0{,}60 \times 2.500} = 0{,}99$$

$$\lambda = \frac{\square\sqrt{\square}}{\square\square\ \sqrt{\square\square\ \square}} = \frac{\square\sqrt{\square,\square\square}}{\square\square\ \sqrt{\square\square\ \square,\square\square}} = 1{,}81 \ \square\ 1{,}00 \rightarrow \lambda = 1{,}00$$

$$\lambda n' \ \square\ \lambda \ \square\ \frac{\sqrt{\square\ \square\ \square\square}}{\square} = 1{,}00 \ \square\ \frac{\sqrt{\square\square,\square\ \square\ \square\square,\square}}{\square} = 7{,}90 \text{ cm}$$

$$l = \max(m, n, \lambda n') \rightarrow l = 12{,}64 \text{ cm}$$

$$t_{req} = l \ \square\ \square\sqrt{\frac{\square\ \square\ \square\square}{\text{Ø}\ \square\square\square\ \ \square\square\ \square\square}} \qquad \text{con } \text{Ø} = 0{,}90$$

$$t_{req} = 12{,}64 \ \square\ \square\sqrt{\frac{\square\ \square\ \square\square\square.\square\square\square}{\square,\square\square\ \square\ \square.\square\square\square\ \ \square\ \square\square\ \square\square}} \rightarrow t_{req} = 4{,}22 \text{ cm} = 42{,}2 \text{ mm}$$

Espesor comercial más cercano ➔ 44 mm

2.4.4 Dimensiones Definitivas Placa Base

Usar Plancha de 500 x 500 x 44 mm.

2.4.5 Comparación de Resultados

A efectos de comparar los resultados obtenidos en el ejemplo desarrollado manualmente con aquellos obtenidos con la aplicación de la hoja de cálculo, la Tabla 11 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de ambos métodos.

Tabla 11. *Comparación de Resultados – Placa Base Articulada*.

Revisión	Hoja de Cálculo	Cálculo Manual	% de Diferencia
Área requerida	2.449 cm^2	2.449 cm^2	0,00%
Aplastamiento sobre el Concreto	321.300 kgf	321.300 kgf	0,00%
Espesor requerido placa base	42,25 mm	42,20 mm	0,12%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar claramente, la diferencia entre los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y el cálculo manual no es mayor a un 0,12%, lo cual es prácticamente despreciable.

Este porcentaje de error es atribuible a los redondeos y aproximaciones que se hacen en los cálculos manuales, por lo que se puede afirmar que la hoja de cálculo desarrollada funciona y produce resultados confiables.

2.5 Conexión Placa Base Empotrada

Diseñar una placa base para resistir unas cargas iguales a P_u = 171ton y M_u = 41,50 ton-m. La flexión es alrededor del eje fuerte de una columna W12X96, que estará apoyada sobre un pedestal de concreto de 60x60 cm con una resistencia a los 28 días de f'_c = 280 kg/cm^2. Calidad de la Plancha ASTM A36. Pernos de Anclaje Ø = 1½" ASTM F1554 Gr. 36.[21]

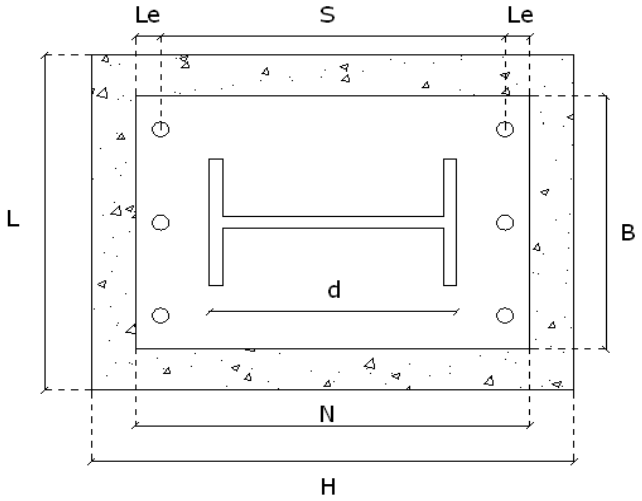

Figura 24. Ejemplo Placa Base Empotrada.

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.1 Estimación de las Dimensiones de la Placa Base

$N \geq d + 15$ cm = 32,3 + 15 = 47,30 cm ➔ Usar 50 cm

$B \geq b_f + 15$ cm = 30,9 + 15 = 45,90 cm ➔ Usar 50 cm

2.5.2 Cálculo de la Excentricidad Equivalente y Excentricidad Crítica

$$\left.\begin{array}{l} A_2 = 60 \times 60 = 3.600 \text{ cm}^2 \\ A_1 = 50 \times 50 = 2.500 \text{ cm}^2 \end{array}\right\} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 1{,}20 \leq 2{,}00 \qquad \text{ok!}$$

[21] Adaptado del ejemplo 4.7 de Fisher y Kloiber (2006).

$$f_{p\ max} = Ø_c \cdot 0{,}85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$= 0{,}60 \cdot 0{,}85 \cdot 280 \cdot 1{,}20 = 171{,}36\ kgf/cm^2$$

$$q_{max} = f_{p\ max} \cdot B = 171{,}36 \cdot 50 = 8.568\ kgf/cm$$

$$e_{crit} = \frac{\square}{\square} \cdot \frac{\square\square}{\square\square\square_{\square\square}} = \frac{\square\square}{\square} \cdot \frac{\square\square\square.\square\square\square}{\square\square\ \square.\square\square\square} = 15{,}02\ cm$$

$$e = \frac{\square\ \square}{\square\square} = \frac{\square\square.\square\square\square\ \square\square\square\square\ \square}{\square\square\square.\square\square\square\ \square\square\square} = 0{,}2427\ m = 24{,}27\ cm$$

2.5.3 Cálculo de las Presiones sobre la Placa Base y Tensión Crítica en los Pernos de Anclaje

$$e = 24{,}27\ cm > e_{crit} = 15{,}02cm$$

$$\square f \cdot \frac{\square}{\square} \cdot \square^{\square} \cdot \frac{\square\ \square\ \square\square\square\ \square\ \square\square\square\ \square\square}{\square\ \square\ \square\square} \rightarrow$$

$$\square f \cdot \frac{\square\square}{\square} \cdot \frac{\square\square}{\square} \cdot \square^{\square} \cdot \frac{\square\ \square\ \square\square\square.\square\square\square\ \square\ \square\square\square,\square\square\square\ \square\square,\square\square}{\square.\square\square\square}$$

$$2.256{,}25 \cdot 1.866{,}87 \qquad \text{ok!}$$

$$y = \square f \cdot \frac{\square}{\square}\square\square \cdot \sqrt{\square f \cdot \frac{\square}{\square}\square^{\square} - \frac{\square\ \square\ \square\square\square\ \square\ \square\square\square\ \square\square}{\square\ \square\ \square\square}}$$

$$y = \square 22{,}5 \cdot \frac{\square\square}{\square}\square\square \cdot \sqrt{2.256{,}25 - 1.866{,}87}$$

$$y = 47{,}50 \cdot 19{,}73 \begin{cases} \nearrow 67{,}23 & \text{NO!!} \\ \searrow 27{,}77 & \Leftarrow \end{cases}$$

$$y \cdot N \rightarrow 27{,}77 \cdot 50 \qquad \text{ok!}$$

$T_u = q_{max} \cdot y - P_u \rightarrow T_u = 8.568 \cdot 27{,}77 - 171.000$

$T_u = 66.933$ kgf

2.5.4 Cálculo del Espesor Requerido de la Placa Base

$m = \frac{\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot}{\cdot}$ ^ $n = \frac{\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot}{\cdot}$

$m = \frac{\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot,\cdot}{\cdot} = 9{,}66$ cm ; $n = \frac{\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot,\cdot}{\cdot} = 12{,}64$ cm

$f_p = f_{p\ max} = Ø_c \cdot 0{,}85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{\cdot_2}{\cdot_1}}$

$\sqrt{\frac{\cdot_2}{\cdot_1}} = \cdot\ 2{,}00$

$f_p = f_{p\ max} = 0{,}60 \cdot 0{,}85 \cdot 280 \cdot 1{,}20 \cdot 1{,}70 \cdot f'_c = 1{,}70 \cdot 280$

$f_p = 171{,}36$ kg/cm^2 $\cdot$ 476 kgf/cm^2 ok!

$x = f \cdot \frac{\cdot}{\cdot} \cdot \frac{\cdot\cdot}{\cdot} = 22{,}5 - \frac{\cdot\cdot,\cdot}{\cdot} \cdot \frac{\cdot,\cdot\cdot}{\cdot} = 7{,}50$ cm

$y = 27{,}77$ cm $\cdot$ $m = 9{,}66$ cm

$t_{p\ req} =$ máximo valor entre:

$1{,}5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot}{\cdot\cdot}} = 1{,}5 \cdot 9{,}66 \cdot \sqrt{\frac{\cdot\cdot\cdot,\cdot\cdot}{\cdot.\cdot\cdot\cdot}} = 3{,}77$cm

$1{,}5 \cdot \cdot\cdot \sqrt{\frac{\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot\cdot}{\cdot\cdot}} = 1{,}5 \cdot 12{,}64 \cdot \sqrt{\frac{\cdot\cdot\cdot,\cdot\cdot}{\cdot.\cdot\cdot\cdot}} = 4{,}93$ cm ⇦

$2{,}11 \cdot \sqrt{\frac{\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot}{\cdot\cdot\ \cdot\cdot}} = 2{,}1 \cdot \sqrt{\frac{\cdot\cdot.\cdot\cdot\cdot\ \cdot\ \cdot,\cdot\cdot}{\cdot\cdot\cdot\ \cdot.\cdot\cdot\cdot}} = 4{,}20$ cm

$t_{p\ req}$ = 49,30 mm ➔ espesor comercial más cercano 50 mm

2.5.5 Revisión Pernos de Anclaje

$T_{max} = \frac{\cdot^{o}\ \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{\cdot} \cdot Ø \cdot R_t \cdot = \frac{\cdot^{o}\ \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{\cdot} \cdot 0{,}75 \cdot F_t \cdot A_b$

Para pernos ASTM F1554 Gr. 36 se tiene que: $F_t = 3.058$ kgf/cm^2

Para pernos diámetro 1-1/2" se tiene que: $A_b = 11{,}40$ cm^2

Entonces, se tiene que:

$$T_{max} = \frac{\phi}{\phi} \cdot 0{,}75 \cdot 3.058 \cdot 11{,}40 = 78.438 \text{ kgf}$$

$$\mathbf{T_u = 66.933 \text{ kgf} \leq 78.438 \text{ kgf} \qquad ok!}$$

2.5.6 Dimensiones Definitivas de la Placa Base

Usar Plancha 500 x 500 x 50 mm.

2.5.7 Comparación de Resultados

A efectos de comparar los resultados obtenidos en el ejemplo desarrollado manualmente con aquellos obtenidos con la aplicación de la hoja de cálculo, la Tabla 12 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de ambos métodos.

Tabla 12. *Comparación de Resultados – Placa Base Empotrada*.

Revisión	Hoja de Cálculo	Cálculo Manual	% de Diferencia
Excentricidad Equivalente	24,27 cm	24,27 cm	0,00%
Excentricidad Crítica	15,02 cm	15,02 cm	0,00%
Presiones sobre la Placa Base	8.568 kgf/cm	8.568 kgf/cm	0,00%
Tensión crítica Pernos de Anclaje	66.901 kgf	66.933 kgf	0,05%
Espesor requerido Placa Base	49,34 mm	49,30 mm	0,08%
Capacidad Pernos de Anclaje	78.453 kgf	78.438 kgf	0,02%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar claramente, la diferencia entre los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y el cálculo manual no es mayor a un 0,08%, lo cual es prácticamente despreciable.

Este porcentaje de error es atribuible a los redondeos y aproximaciones que se hacen en los cálculos manuales, por lo que se puede afirmar que la hoja de cálculo desarrollada funciona y produce resultados confiables.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones a las cuales se llegó, una vez revisado el cumplimiento de los objetivos que se plantearon al principio de este Trabajo Especial de Grado.

Para finalizar, se presentan las recomendaciones que se proponen para trabajos futuros, así como aquellas oportunidades de mejora identificadas a lo largo del desarrollo de esta investigación.

1. Conclusiones

Sin perder de vista los objetivos planteados al inicio de este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- Luego de revisar la normativa vigente en Venezuela para el diseño de estructuras de acero, las actualizaciones hechas a normas internacionales a lo largo de los últimos años, las guías de diseño elaboradas por el AISC y la bibliografía especializada en la materia, y junto con la opinión y ayuda de expertos en el área se logró desarrollar la formulación para el diseño de cada una de las conexiones planteadas dentro del alcance de este trabajo.

- Se logró desarrollar un conjunto de hojas de cálculo para el diseño de conexiones en estructuras de acero, sencillas y fáciles de usar, las cuales le permitirán al Ingeniero Estructural diseñar conexiones de forma más rápida en comparación con los tradicionales métodos manuales.

- Se logró desarrollar una guía sencilla para el usuario, en la cual se indican las instrucciones básicas para el uso de las hojas de cálculo desarrolladas, y las consideraciones básicas que debe tener en cuenta el Ingeniero Estructural durante el proceso de implementación de las mismas.

- Se lograron validar mediante la comparación de los resultados de ejemplos realizados manualmente con aquellos arrojados por las hojas de cálculo, que las mismas funcionan y sus resultados son correctos. Asimismo, se comprobó que el porcentaje de error entre ambos resultados es muy bajo, y se debe principalmente a los redondeos y aproximaciones que se hacen durante los cálculos manuales.

- Las hojas de cálculo desarrolladas para el diseño de un conjunto de conexiones en estructuras de acero por el Método de los Estados Límites (LRFD) funcionan. Se comprobó la utilidad de las mismas, y la disminución notable en la cantidad de tiempo que el Ingeniero Estructural debe invertir para el diseño de las conexiones. Con su uso, sólo le tomará unos minutos

introducir los datos necesarios para realizar el diseño o revisión de cualquiera de las conexiones desarrolladas en este trabajo, por lo que se puede decir que se logró se automatizar el proceso de diseño de este grupo de conexiones en estructuras de acero.

2. Recomendaciones

Una vez estudiados los resultados obtenidos con esta investigación, se presentan las siguientes recomendaciones para futuros trabajos:

- Desarrollar versiones similares a estas hojas de cálculo donde se incorporen otras conexiones típicas en el proyecto de estructuras de acero, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: Conexión a Momento con Plancha Extrema, Conexión a Corte Simple con Angulares, Conexión a Corte Doble con Angulares, Conexión Extendida a Corte Simple con Plancha, Arriostramientos con perfiles doble "T", etc.

- Desarrollar versiones similares de las hojas para el diseño de conexiones de arriostramientos con angulares y perfiles "T", pero utilizando soldaduras en lugar de pernos como medio de unión.

- Considerar en futuras versiones de las hojas desarrolladas, que las distancias al borde de las planchas y al borde de los perfiles puedan tener distintos valores.

- Ampliar la base de datos de perfiles de las hojas de cálculo con un mayor número de secciones, a fin de que el usuario tenga un poco más de libertad al momento de elegir los mismos.

- Incorporar, en las hojas correspondientes al diseño de placas base, la revisión de los pernos de anclaje, de acuerdo con las disposiciones del Apéndice D del ACI 318.

- Continuar el trabajo dentro de esta línea de investigación, no sólo para el desarrollo de aplicaciones para el diseño de elementos en estructuras de acero, sino también para el diseño de elementos de concreto armado o, incluso, en otras áreas de la ingeniería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Institute of Steel Construction (2005). *Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05*. Chicago, Illinois: Autor.

American Institute of Steel Construction (2005). *Steel Construction Manual, 13th Edition*. Chicago, Illinois: Autor.

American Institute of Steel Construction (1999). *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois: Autor.

Astaneh, A., Call, S.M. y McMullin, K.M. (1989). *Design of Single-Plate Shear Connections*. Engineering Journal, 1st Quarter, pp. 21-32. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

Brockenbrough, R.L. y Merrit, F.S. (1999). *Structural Steel Designer's Handbook*. (3era ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.

Castillo, J.G. y Delgado, M.R. (2000). *Algoritmo Computacional para Automatizar el Diseño de Columnas Completas de Acero en Edificios Aporticados*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Epstein, H.I., Aleksiewicz, L.J. (2008). *Block Shear Equations Revisited…Again*. Engineering Journal, 1st Quarter, pp. 5-12. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

Faundes, P. (2002). *Diseño y Detallado de Conexiones para Edificaciones de Acero Estructural*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Ferrel, M.T. (2003). *Designing with Single Plate Connections*. Modern Steel Construction Magazine, Abril. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction. Recuperado en Noviembre 13, 2009, de http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/April_2003/2003_04_ferrell.pdf.

Fisher, J.M. y Kloiber, L.A. (2006). *Steel Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design* (2da ed.). Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

Fratelli, M. (2004). *Diseño de Estructuras Metálicas. Estados Límites LRFD* (1era ed.). Caracas: Autor.

González, T. y Salgado, M. (1984). *Uso de los microcomputadores de Bolsillo al Diseño de Estructuras de Acero*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Gutiérrez, A. (2007). *Tablas de Diseño según la Norma Venezolana 1618:1998* (2da rev). Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.

Hewitt, C.M. (2006). *Simpler Shear Connections*. Modern Steel Construction Magazine, Octubre. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction. Recuperado en Noviembre 13, 2009, de http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/October_2006/30758_shear_conn.pdf.

Honeck, W.C. y Westphal, D. (1999). *Practical Design and Detailing of Steel Columns Base Plates*. Moraga, CA: Structural Steel Educational Council.

Kulak, G. (2002). *Steel Design Guide 17: High Strength Bolts: A Primer for Structural Engineers* (1era ed.). Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

Norma Venezolana COVENIN 1618:1998. *Estructuras de Acero para Edificaciones: Método de los Estados Límites* (1era revisión). Caracas: FONDONORMA.

Norma Venezolana COVENIN 2004:1998. *Terminología de las Normas COVENIN-MINDUR de Edificaciones*. Caracas: FONDONORMA.

Orozco, D. (2009). *Programa para el Diseño y Revisión de Placas Base y Anclas para Columnas de Acero*. Tesis de Grado en Ingeniería Civil, Universidad de las Américas en Puebla, México. Recuperado en Diciembre 20, 2009, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/orozco_l_d/

Pan, P. y Roque, A. (1992). *Elaboración de un Programa Para el Diseño de Conexiones Apernadas Sometidas a Corte y Torsión*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Quintero, A. (1992). *Cálculo, Diseño y Dibujo de Uniones Articuladas en Estructuras Metálicas Mediante el uso del Computador, utilizando el Ambiente Graficador Versacad*. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Peternell, L. (2005). *Programa para el Diseño de Conexiones Viga-Columna en Elementos de Acero de Sección "I" Mediante el Método de la Resistencia Última (LRFD)*. Tesis de Grado en Ingeniería Civil, Universidad de las Américas en Puebla, México. Recuperado en Diciembre 20, 2009, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/peternell_a_le/

Research Council on Structural Connections (2004). *Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*. Chicago, Illinois: Autor.

Ruby, D.I. (2003). *All About Bolts*. Modern Steel Construction Magazine, Mayo. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction. Recuperado en Noviembre 13, 2009, de http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/May_2003/2003_05_steelwise.pdf.

Santalla-Peñaloza, Z.R. (2006). *Guía para la Elaboración formal de reportes de investigación* (1era ed.). Caracas: Publicaciones UCAB.

Segui, W.T. (2000). *Diseño de Estructuras de Acero con LRFD* (2da ed.). México: International Thomson Editores.

Swiatek, D., Whitbeck, E. y Shneur, V. (2004). *Anchor Rods: Can't live with 'em, can't live without 'em*. Modern Steel Construction Magazine, Diciembre. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction. Recuperado en Noviembre 13, 2009, de http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/December_2004/30736_anchor_rods.pdf.

Winters-Downey, E. y Fadden, M. (2008). *Simple Shear Connection Limit States*. Modern Steel Construction Magazine, Febrero. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction. Recuperado en Noviembre 13, 2009, de http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/February_2008/022008_30774_steelwise.pdf.