



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

TEMA:

**“COMPARATIVA DEL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO
(IMCA Y LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL EN ESTRUCTURAS
METÁLICAS (NTCGDF)**

TESIS:

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTAN:

**JESÚS GUERRERO VERA
FERNANDO RAMIREZ GODINEZ**

JURADO

| | |
|--------------------|---|
| PRESIDENTE: | ING. PASCUAL GARCÍA CUEVAS |
| VOCAL: | ING. GUSTAVO ADOLFO JIMÉNEZ VILLEGAS |
| SECRETARIO: | DR. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ |
| SUPLENTE: | ING. RICARDO HERAS CRUZ |
| SUPLENTE: | ING. ARTURO MACIAS FERREIRA |

FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JESÚS GUERRERO VERA

DEDICATORIA

Para mis Padres:

No tengo palabras para agradecerles, su ejemplo, apoyo y comprensión en este nuevo logro conseguido, con sacrificios, desvelos y preocupaciones, por lo que solo me queda decirles que este es su día, gracias por su amor.

Para mis hermanos y familiares:

Gracias por el apoyo, amor y comprensión que me han demostrado durante estos años de estudio, y como un reconocimiento de gratitud al haber finalizado esta carrera.

Pero gracias principalmente, por tener en ustedes a mis mejores amigos. Por todo esto, mi eterno y sincero agradecimiento.

Para mis amigos:

No hay mejor regalo en la vida que un buen abrazo y un buen hombro a tu lado y al igual que no hay mejor regalo que este gracias por confiar en mí.

Para mi Director de Tesis y Profesores en general:

De corazón les agradezco el brindarme parte de su sabiduría, la cual rindió sus frutos este día, pues gracias a ella y a que supe encausarla a beneficio propio, este es un logro compartido entre ustedes y yo.

Pero en especial para mi hijo Daniel.

Gracias hijo mío, por toda tu comprensión, apoyo y sobre todo por tu cariño, ya que tú fuiste un gran aliciente, si no es que el más importante, para que hoy vea culminada mi carrera, por todos esos momentos juntos que tuvimos que sacrificar para llegar hasta esta meta, acuérdate que tu no formas parte de mi vida, pues eres mi vida misma, sin ti no hubiera tenido fuerzas para llegar hasta donde estoy.

FERNANDO RAMÍREZ GODÍNEZ.

DEDICATORIA

Para mi madre y mi Abuelita:

No tengo palabras para decirles que hoy es su día el verme realizado, logre mi sueño el cual también es suyo, sé que no fue fácil pero su amor me ayudo y hoy este es mi mejor regalo, las amo.

Para mis Tías:

Para ustedes que han estado a mi lado se que el tiempo a veces nos distancia pero también me consta que de corazón están a mi lado compartiendo este sueño conmigo hoy hecho realidad gracias.

Para mis amigos y en general:

No hay mejor regalo en la vida que un buen abrazo y un buen hombro a tu lado y al igual que no hay mejor regalo que este gracias por confiar en mí.

Para mi director de tesis y Profesores en general:

De corazón les agradezco el brindarme parte de su sabiduría yo humildemente supe escucharlos y seguir por un buen camino puesto que no fue fácil pero gracias a su apoyo se logro este gran sueño.

Para mi Tío y mi Abuelo:

Con su forma de ser de uno y otro desde donde esta se que me cuidan y guían ambos siendo mi apoyo paterno, gracias yo les regreso un poco de cariño con este pequeño obsequio puesto que fueron el motor de este gran sueño.

INDICE:

| | |
|---|----|
| Objetivo. | 1 |
| Introducción | 1 |
| CAPÍTULO I (IMCA) ACERO ESTRUCTURAL | 2 |
| Requisitos de Tensión | 2 |
| Composición química | 2 |
| Tubos de Acero NOM-B-177-1989 | 3 |
| Tubos tipo “F” soldadura continua | 3 |
| Tubos tipo “E” soldadura por resistencia eléctrica | 3 |
| Tubos tipo “S” sin soldadura | 3 |
| Requisitos de Tensión | 3 |
| Tubos de Acero al carbono ASTM-A500 | 4 |
| Tubos de Acero al carbono ASTM-A501 | 4 |
| Acero Estructural ASTM-A36 | 4 |
| Lamina de Acero baja aleación y alta resistencia | 5 |
| Composición química | 5 |
| Requisitos de tensión para la lamina laminizada en frio | 5 |
| Acero Estructural baja aleación y alta resistencia | 5 |
| Acero Estructural alta resistencia y baja aleación al manganeso | 6 |
| Planchas y barras | 6 |
| Tensión | 6 |
| Cortante | 7 |
| Compresión | 9 |
| Flexión | 10 |
| Aplastamiento | 11 |
| Soldadura | 11 |
| CAPÍTULO I (NTCGDF) ACERO ESTRUCTURAL | 14 |
| ASTM-53 | 14 |
| ASTM-500 | 14 |
| ASTM-501 | 14 |
| Estructuras Tipo I | 14 |
| Estructuras Tipo II | 15 |
| Propiedades Geométricas | 15 |
| Conexiones y remaches atornilladas | 16 |
| Conexiones soldadas | 16 |
| Miembros en flexión | 17 |
| Diseño en flexión | 17 |
| Aplastamiento | 18 |
| Soldadura | 19 |
| Juntas traslapadas | 20 |
| Resistencia al diseño | 20 |
| Combinación de soldaduras | 20 |

| | |
|---|----|
| CAPITULO II (IMCA) ESFUERZOS COMBINADOS | 22 |
| Compresión axial y flexión (Flexo compresión) | 22 |
| Tensión axial y flexión (Flexo tensión) | 23 |
| CAPITULO II (NTCGDF) ESFUERZOS COMBINADOS | 25 |
| Flexo compresión | 25 |
| Flexo tensión | 26 |
| CAPITULO III (IMCA) MIEMBROS Y CONEXIONES SOMETIDOS A VARIACIONES REPETIDAS DE ESFUERZO (FATIGA) | 28 |
| Fatiga | 28 |
| Construcción compuesta | 28 |
| Conectores de cortante | 28 |
| Laminas acanaladas orientadas perpendicularmente a las vigas de acero | 30 |
| Laminas acanaladas orientadas horizontalmente a las vigas de acero | 30 |
| Conexiones | 30 |
| Conexiones excéntricas | 31 |
| Colocación de remaches, tornillos y soldaduras | 31 |
| Miembros con extremos restringidos a la rotación | 31 |
| Placas de relleno | 32 |
| Miembros en compresión con uniones de apoyo por aplastamiento | 33 |
| CAPITULO III (NTCGDF) ALMAS Y PATINES CON CARGAS CONCENTRADAS | 34 |
| Pandeo en compresión del alma | 35 |
| Fuerza cortante del alma | 35 |
| Atiesadores | 35 |
| Placas adosadas al alma | 36 |
| CAPITULO IV (IMCA) TRABES ARMADAS Y VIGAS LAMINADAS | 37 |
| Alma | 37 |
| Pandeo del alma | 37 |
| Patines | 38 |
| Reducción del esfuerzo del patín | 39 |
| CAPITULO IV (NTCGDF) ALMA | 39 |
| Patines | 40 |
| Unión alma-patín | 41 |
| Reducción del momento resistente por esbeltez del alma | 42 |
| CAPITULO V (IMCA) REMACHES Y TORNILLOS | 43 |
| Área efectiva del aplastamiento | 43 |
| Separación mínima | 44 |
| Distancia mínima al borde | 45 |
| CAPITULO V (NTCGDF) TORNILLOS, BARRAS ROSCADAS Y REMACHES | 46 |
| Área efectiva del aplastamiento | 48 |
| Separación mínima | 50 |
| Distancia mínima al borde | 50 |

| | |
|--|----|
| CAPITULO VI (IMCA) SOLDADURA | 51 |
| Tamaño mínimo y máximo de la soldadura de filete y soldaduras de penetración parcial | 51 |
| Longitud de soldadura de filete | 52 |
| Remaches en extremos de la soldadura | 53 |
| Soldadura en agujeros y cajas | 53 |
| Soldaduras de tapón y de caja | 53 |
| CAPITULO VI (NTCGDF) SOLDADURA | 54 |
| Tamaño mínimo y máximo de la soldadura de filete y soldaduras de penetración parcial | 54 |
| Resistencia de diseño | 55 |
| CONCLUSIONES | 56 |

OBJETIVO

El objetivo general del trabajo de tesis es hacer ver al lector que el acero es el material estructural ideal, ya que lo podemos encontrar en edificios, puentes, torres y en una infinidad de estructuras de acero, En este trabajo se realizará la comparativa entre el Manual del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA) y las Normas Técnicas Complementarias del Gobierno del Distrito Federal en materia de Estructuras Metálicas (NTCGDF).

Así mismo se ha plasmado en lenguaje sencillo tratando que sea más comprensible para el constructor o estudiante que apenas se inicia en el análisis y diseño en Acero Estructural.

INTRODUCCION.

El diseño de estructuras que soportan cargas calculadas a esfuerzos especificados se basa en la suposición de que pueda depender de ciertas propiedades mecánicas de los materiales estructurales para cumplir con los requerimientos definidos.

Las normas más usadas para materiales estructurales son las de la AMERICAN FOR TESTING AND MATERIALS (PRUEBAS, MATERIALES Y TESTIMONIOS USADOS EN AMERICA) ASTM (por sus siglas en ingles).

Por otro lado se ha obtenido lo mejor de las dos publicaciones analizadas significativamente con los capítulos:

1. Esfuerzos Permisibles
2. Esfuerzos Combinados
3. Miembros y Conexiones Sometidos a Variaciones Repetidos de Carga (Fatiga)
4. Trabes Armadas de Alma Llena y Vigas Armadas
5. Remaches y Tornillos
6. Soldadura.

Ya que en el acero encontramos ventajas como pueden ser; alta resistencia, uniformidad, elasticidad, durabilidad, ductilidad, sin dejar de lado sus desventajas como son; costo de mantenimiento, susceptibilidad al pandeo, fatiga, por nombrar algunas.

El propósito principal ha sido interesar al lector por el tema que se desarrollará ya que lo más importante para cultivar la habilidad de desempeñarse en cualquier tema, es llegar a despertar el interés de una persona en el tema interesado.

El lector necesita entender que este trabajo solo presenta los conocimientos básicos en acero Estructural actualmente disponibles, ya que una persona que trabaja en este campo deberá estudiar mucho, tanto para familiarizarse con esta información, así como mantenerse al tanto de los últimos adelantos, puesto que las investigaciones del acero están siendo llevadas a un ritmo siempre creciente para avanzar progresivamente

CAPITULO I (IMCA)

ACERO ESTRUCTURAL

En el Manual IMCA (Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C.) se trabaja con las siguientes normas mexicanas en su última edición.

NMX-B-099-1986 “Acero estructural de 29.5 kg/cm² y un espesor máximo de 12.7 mm. Esta norma establece cumplir con que el acero al carbón ya sea planchas o barras estén dentro de un diámetro máximo de 12.7 mm. Para una calidad estructural que se usara en edificios y construcciones similares, las cuales pueden ser remachadas, atornilladas y que se indica en la siguiente tabla según la NOM-B-252”

NMX-B-252

| TIPO DE PERFIL | GRUPO I |
|----------------|-----------------|
| W | W4X13 |
| | 45X16Y19 |
| | W6X9 HASTA 25 |
| | X8X10 HASTA 48 |
| | W10X12 HASTA 45 |
| | W12X14 HASTA 58 |
| | W14X22 HASTA 53 |
| | W16X26 HASTA 57 |
| | W18X35 HASTA 71 |
| | W21X44 HASTA 57 |
| | W24X55 HASTA 62 |
| S | 5 HASTA 52 Kg/M |
| C | 30.8 Kg/M |
| L | 13.00MM |

REQUISITOS DE TENSION

Las tolerancias en el análisis de producto para barras y perfiles estructurales debe de ser hasta 0.90%, 0.03%; + de 0.90% hasta 2.20% ±0.06%

COMPOSICION QUIMICA

| ELEMENTO | COMPOSICION % |
|-----------|---------------|
| CARBONO | 0.27 MAX |
| MANGANESO | 1.20 MAX |
| FOSFORO | 0.04 MAX |
| AZUFRE | 0.05 MAX |
| COBRE | 0.20 MAX |

| | |
|---------------------------------|---|
| RESISTENCIA A LA TENSION | 42 A 60 kg/mm ² |
| LIMITE DE FLUENCIA MINIMO | 29 kg/mm ² |
| ALARGAMIENTO EN 200 mm MINIMO % | Menos de 6.45 cm ² con espesor De diámetro hasta 12.7 no están sujetas a requisitos de tensión |

**TUBOS DE ACERO CON O SIN COSTURA, NEGROS Y GALVANIZADOS POR
INMERSION EN CALIENTE, NOM-B-177-1989**

En tamaños nominales de 1/8" hasta 26" en los espesores de pared nominal de promedio.

Los tubos pueden suministrarse de los diferentes tipos y grados:

Tipo "F" TUBO SOLDADO EN HORNO (SOLDADURA CONTINUA)

Tubos producidos en tramos continuos en rollo y cortados subsecuentemente en tramos individuales, teniendo una junta a tope nominal.

Tipo "E" TUBO SOLDADO POR RESISTENCIA ELECTRICA

Tubos producidos en tramos individuales o tramos continuos, es producido por el calor de la resistencia del tubo y por la aplicación de presión.

Tubo tipo "S" TUBO SIN COSTURA

Es fabricado en caliente, por un acabado en frío para obtener la forma y propiedades deseadas hechos sin cordón

REQUISITOS DE TENSION

| | Tipo F | Tipo E y S | |
|--|--|------------|---------|
| | Horno de hogar abierto de arco eléctrico, o básico al oxígeno | Grado A | Grado B |
| Resistencia a la tensión mínima en kg/mm ² | 310 (32) | 331(34) | 414(42) |
| Resistencia de fluencia mínimo en kg/mm | 172 (18) | 207(21) | 241(25) |
| Alargamiento mínimo de una probeta de 50 mm calibrada en % | Debe de determinarse mediante la siguiente ecuación. $a=249.036A^{0.2}/U^{0.9}$ | | |

Donde:

A= área de la sección transversal en mm.

U= resistencia a la tensión (Kg/mm²)

a= alargamiento mínimo de una probeta

TUBOS DE ACERO AL CARBONO PARA USOS ESTRUCTURALES EN FRÍO CON O SIN COSTURA ASTM-A500

Esta especificación indica tubos de acero al carbono en frío, electro soldados y sin costura, de forma circular, cuadrada o rectangular para construcción electro soldada, remachada o atornillada de puentes y edificaciones generales en estructura.

En tamaño de una periferia de 1630 mm. o menos, un espesor de pared de 16 mm o menos.

Los productos fabricados según esta especificación pueden ser apropiadas como elementos con carga inmensas en estructura.

TUBO DE ACERO AL CARBONO FORMADOS AL CALIENTE ASTM A-501

Esta especificación indica tubos de acero al carbono en frío, electro soldados y sin costura, de forma circular, cuadrada o rectangular para construcción electro soldada, remachada o atornillada de puentes y edificaciones generales en estructura.

En tamaño de una periferia de 1630 mm. o menos, un espesor de pared de 16 mm o menos.

Los productos fabricados según esta especificación pueden ser apropiadas como elementos con carga inmensas en estructura.

Los tubos cuadrados y rectangulares son suministrados en tamaños de 25.4 a 813 mm a través de sus dados planos con espesor de paredes de 2.41 a 76 mm.

Los tubos redondos son suministrados en tamaños de 2.77 a 55.4 mm. Dependiendo del tamaño se permite suministrar tubos de especiales y tubos con otras dimensiones.

ACERO ESTRUCTURAL ASTM-A36

Nos indicas sobre placas y vigas al carbono para construcciones atornilladas, soldadas o remachadas para estructuras en general.

Cuando el acero vaya a ser soldado tiene que ser un procedimiento de soldadura adecuada para el grado de acero.

Los productos de acero se someterán a tratamientos térmicos llevando acabo análisis químicos y pruebas de tensión como resistencia a la tracción, limite elástico.

Dividiéndolo, en un diámetro nominal de grado A y B;

Grado A Límite de fluencia mínimo de 250 Mpa.
 Grado B Límite de fluencia mínimo de 345 Mpa.

LÁMINA DE ACERO BAJA ALEACIÓN Y ALTA RESISTENCIA, LÁMINA EN CALIENTE Y EN FRIO RESISTENTE A LA CORROSIÓN.

Es adecuada para emplearse en estructuras y en otros usos, este acero tiene una resistencia a la corrosión atmosférica y se suministra en dos clases A y B.

Clase A. Tiene una resistencia a la corrosión como mínimo dos veces mas que el acero al carbono y la de clase B una corrosión mínima de cuatro veces mas que el acero al carbón.

El fabricante debe de usar elementos de aleación los cuales al combinarse con el carbono, manganeso y azufre.

Dichos elementos deben incluirse en el informe del análisis. Cuando el comprador lo solicite el fabricante debe de suministrar los datos para comprobar la resistencia al al corrosión.

COMPOSICION QUIMICA

| ELEMENTOS | CONTENIDO MAXIMO EN % | |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| | ANALISIS DE COLADA | ANALISIS DE PRODUCTO |
| CARBONO | 0.22 | 0.26 |
| MANGANESO | 1.25 | 1.30 |
| AZUFRE | 0.05 | 0.06 |

REQUISITOS DE TENSION PARA LA LÁMINA LAMINADA EN FRIO

| | EN HOJA O EN ROLLO |
|---|--|
| RESISTENCIA A LA TENSION MÍNIMA (Kg/mm ²) | 441(45) |
| LIMITE DE FLUENCIA MINIMA (Kg/mm ²) | 304 (831) |
| ALARGAMIENTO 50 mm. MINIMO EN % | 22 (EN ESPESORES DE 1.14 Y MENORES DE 20%) |

ACERO ESTRUCTURAL BAJA ALEACION Y ALTA RESISTENCIA ASTM A242

Trata sobre perfiles, placas y barras de alta resistencia para construcción electro soldada, remachada o atornillada, donde los ahorros en peso o la durabilidad son importantes, estas especifican como se limitan al material hasta 100 mm de espesor.

**ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION AL
MANGANESO/VANADIO NOM-B-284-1987**

Debe de cumplir con los requisitos, de planchas y barras de acero de alta resistencia y baja aleación de calidad estructural.

Estos materiales se usan en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas pero principalmente en puentes y edificios soldados donde es importante el ahorro en masa y el aumento de la durabilidad.

Esta norma cubre a materiales con espesores hasta de 230 mm.

Cuando se va a soldar el acero, se usará el proceso de soldadura mas adecuado para el grado de acero, y el uso o servicio a que se destine.

PLANCHAS Y BARRAS

| | PARA ESPESORES HASTA 20mm | DE 20 HASTA 40mm | DE 40 A 100mm | DE 100 A 200mm |
|--|--|------------------------|------------------|-------------------|
| RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN kg/mm ² | 481(49) | 461 (47) | 432(44) | 412(42) |
| LÍMITE DE FLUENCIA EN kg/mm ² | 343(359) | 316(38) | 288(29) | 275(28) |
| ALARGAMIENTO EN 200mm. CALIBRADA EN % | NO SE REQUIERE DETERMINAR EL ALARGAMIENTO PARA PLANCHAS MAYORES DE 600mm. | | | |
| ALARGAMIENTO EN 50 mm CALIBRADA EN % | NO SE REQUIERE DETERMINAR EL ALARGAMIENTO PARA PLANCHAS MAYORES DE 600mm. | | | |

TENSIÓN

Los miembros conectados con esfuerzos de tensión axial permisible (Ft) en kg/cm², no excederán de 0.60 de Fy (esfuerzo de fluencia), mínimo especificado del acero en kg/cm², en el área total, ni de 0.50 de Fu, resistencia mínima a la ruptura por tensión en kg/cm², en el área neta efectiva.

Esta concentración es llamada redistribución al cortante, cuando un ángulo se conecta por uno solo de sus lados, por otro lado se aumenta la longitud (Δe) de la conexión y disminuye la intensidad de la redistribución del cortante expresándose:

$$C_t = 1 - \frac{X}{L}$$

Donde:

C_t.- es el coeficiente de reducción de longitud neta efectiva en tensión axial

X.- Plano de corte

L.- Longitud de conexión

Para tensión en partes roscadas se usa la tabla de esfuerzos permisibles en sujetadores, en kg/cm²

CORTANTE

El área efectiva para resistir cortante podrá calcularse como el producto del peralte total por el espesor del alma, en las conexiones en vigas, donde el patín superior esta cortado puede ocurrir la falla por cortante a lo largo de un plano, que pase a través de los conectores en el área efectiva para resistir la falla por desgarramiento.

$$F_v = 0.30 F_u$$

F_u = Resistencia mínima a la ruptura para tensión en el acero en kg/cm²

F_v = Esfuerzo cortante permisible en kg/cm²

En los atiesadores el esfuerzo cortante promedio máximo permisible debe ser calculado con una carga completa o parcial no excediendo el valor de:

$$F_v = \frac{F_y}{289C_v} \leq 0.40F_y$$

En donde

$$C_v = \frac{3160000}{F_y \left(\frac{h}{t}\right)^2}, \text{ cuando } C_v \leq 0.8$$

$$C_v = \frac{1590}{\frac{h}{t}} \sqrt{\frac{R}{F_y}}, \text{ cuando } C_v \geq 0.8$$

$$R = 4.00 + \frac{5.34}{\left(\frac{A}{h}\right)^2} \text{ cuando } \frac{A}{h} \leq 1.0$$

$$R = 5.34 + \frac{4.00}{\left(\frac{A}{h}\right)^2} \text{ cuando } \frac{A}{h} > 1.0$$

Donde;

t = Espesor del área en cm.

A = Distancia libre entre atiesadores, en cm.

h = Distancia libre entre patines en cm.

Si se colocan atiesadores intermedios en vigas que no sean híbridas y si $C_v \leq 1$ podrá usarse el esfuerzo cortante permisible dado en:

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[\frac{C_v + (1 - C_v)}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{A}{h}\right)^2}} \right] \leq 0.40 F_y$$

En el área transversal de un atiesador o de un par de atiesadores intermedios será mayor o igual a:

$$A_{st} = 1 - \frac{C_v}{2} \left[\frac{\frac{A}{h} - \left(\frac{A}{h}\right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A}{h}\right)^2}} \right] YD(ht)$$

En donde:

t = Espesor del área en cm.

A = Distancia libre entre atiesadores, en cm.

h = Distancia libre entre patines en cm.

Y = Cociente entre el esfuerzo de fluencia del acero del alma y es esfuerzo de fluencia del acero del atiesador.

D = 1.0 para un par de atiesadores

D = 1.8 para atiesadores por ángulo

D = 2.4 para atiesadores por placa

Exceptuando lo estipulado anteriormente el área efectiva de la sección transversal que resiste es esfuerzo cortante.

$$F_v = 0.40 F_y$$

COMPRESIÓN

Los miembros cargados en compresión axial cuya sección transversal cumpla con los elementos en compresión al ancho de las placas no atiesadas, así como el alma de sección se tomará como la sección total normal cuando:

$$K \frac{l}{r}$$

La relación de esbeltez de miembros en compresión no exceda de 200

Para miembros principales 240

Para laterales y secundarios 300

El factor de longitud efectivo en K será para miembros a compresión de armaduras, al menos de que un estudio demuestre que puede manejarse un valor menor:

$$-Fa = \left[\left(\frac{1 - \left(\frac{K}{r} \right)^2}{\frac{5}{3}} \right) + \left(\frac{3 \frac{K}{r}}{8Cc} \right) - \left(\frac{\frac{Kl}{r^3}}{8Cr^3} \right) \right]$$

En donde:

$$Cc = \frac{\sqrt{2\pi^2 E}}{F_y}$$

Cuando $K \frac{l}{r}$ excede Cc será:

$$Fa = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(K \left(\frac{l}{r} \right)^2 \right)}$$

En los miembros secundarios cargados axialmente cuando $\frac{l}{r}$ excede de 120.

$$Fas = \frac{Fa}{1.6 - \frac{L}{200r}}$$

$$Fa = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{Kl}{r} \right)^2}$$

El área total de atiesadores de traves armadas de alma llena:

$$F_a = 0.60 F_y$$

El alma de perfiles laminados unión alma-patín debido a cargas concentradas

$$F_a = 0.5 F_y$$

Las almas de traves armadas de alma llena y de vigas, se diseñará la unión de filetes alma-patín que resulte de cargas concentradas no soportadas por atiesadores.

$$\text{Cargas Interiores: } \frac{R}{t(n+2r)} \leq 0.75 F_y.$$

$$\text{Para reacciones extremas } \frac{R}{t(n+r)} \leq 0.75 F_y$$

En donde:

R = carga concentrada en kg

t = espesor del alma en cm.

N = Longitud de apoyo (no menor de R)

r = distancia de la cara externa del patín hasta la unión de soldadura alma-patín.

FLEXIÓN

Para que un miembro se califique con flexión debe de cumplir:

- 1.- Los patines deben de estar unidos o soldados al alma
- 2.- La relación ancho-espesor no excederá de $545/\sqrt{F_y}$
- 3.- La relación ancho-espesor del patín en compresión no excederá de $1590/\sqrt{F_y}$
- 4.- La relación peralte-espesor del alma no excederá a:

$$\frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y \left(1 - 3.74 \frac{fa}{F_y}\right)}}, \text{ cuando } \frac{fa}{F_y} \leq 0.16$$

$$\frac{d}{t} = \frac{2150}{\sqrt{F_y \left(1 - 3.74 \frac{fa}{F_y}\right)}} \text{ cuando } \frac{fa}{F_y} > 0.16$$

- 5.- La longitud entre soportes de sección transversal rectangular no es mayor a seis veces el ancho y el patín no es mayor de dos veces el espesor del alma, no excederá de:

$$\left[137000 + 84400 \frac{m1}{m2} \right] \left(\frac{b}{F_y} \right)$$

6.- las relaciones de secciones circulares no excederá de:

$$\frac{232000}{F_y}$$

Excepto para vigas híbridas, o en apoyos que estén rígidamente unidos a columnas por medio de remaches, tornillos o soldadura cuando exceda de $\frac{545}{\sqrt{F_y}}$ pero menor de $\frac{797}{\sqrt{F_y}}$ se diseñaran con un esfuerzo de flexión permisible de:

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.000239 \left(\frac{bf}{2tf} \right) \sqrt{F_y} \right]$$

APLASTAMIENTO

En el área de contacto en los extremos de los atiesadotes de carga, ajustar las proyectadas de agujeros barrenados para pasar el alma se utilizará:

$$F_p = 0.90F_y$$

Cuando las partes en contacto tengan distintos esfuerzos de fluencia (F_y)

El área proyectada en los tornillos o remaches en juntas a cortante no será menor que tres veces el diámetro nominal del sujetador ni menor a la requerida estipulada a continuación.

$$\frac{2p}{Fu(T) + \frac{d}{2}}$$

Donde:

P.- Es la fuerza transmitida por un sujetador en Kg.

Fu.- Es el esfuerzo de tensión mínimo en Kg/cm²

T.- Espesor de la parte crítica en cm.

SOLDADURA

En casos de inversión de esfuerzos el intervalo debe considerarse como la suma de esfuerzos máximos en direcciones opuestas que resultan de diferentes distribuciones de las cargas vivas, en construcciones comunes son pocos los miembros que necesitan ser diseñadas por fatiga. Las cargas de diseño totales de viento y sismo se presentan con tan poca frecuencia que no ameritan consideración alguna para diseñarlas por fatiga.

Sin embargo, los carriles de grúas, puentes y estructuras de apoyo de maquinaria y equipo a veces están sujetos a cargas y deberán diseñarse de acuerdo a la tabla de soldadura siguiente.

| TIPO DE SOLDADURA Y ESFUERZO | ESFUERZO PERMISIBLE | RESISTENCIA DE LA SOLDADURA |
|--|---|--|
| SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACION COMPLETA | | |
| Tensión perpendicular al área efectiva | Igual a la del metal base | Debe usarse metal de soldadura compatible |
| Compresión perpendicular al área efectiva | Igual a la del metal base | Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor de la soldadura compatible |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | Igual a la del metal base | |
| Cortante en el área efectiva | 30% de la resistencia nominal a la tensión del metal de soldadura, en kg/cm^2 , excepto que el esfuerzo cortante en el metal base no excederá el 40% del esfuerzo de fluencia del metal base | |
| SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACION PARCIAL | | |
| Compresión perpendicular al área efectiva | Igual a la del metal base | Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor de la soldadura compatible |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | Igual a la del metal base | |
| Cortante paralelo al eje de la soldadura | 30% de la resistencia nominal a la tensión del metal de soldadura, en kg/cm^2 , excepto que el esfuerzo cortante en el metal base no excederá el 40% del esfuerzo de fluencia del metal base | |
| Tensión perpendicular al área efectiva | 30% de la resistencia nominal a la tensión del metal de soldadura, en kg/cm^2 , excepto que el esfuerzo cortante en el metal base no excederá el 60% del esfuerzo de fluencia del metal base | |
| Cortante en el área efectiva | 30% de la resistencia nominal a la tensión del metal de soldadura, en kg/cm^2 , excepto que el esfuerzo cortante en el metal base no excederá el | Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor de la soldadura compatible |

| | | |
|--|---|--|
| | 40% del esfuerzo de fluencia del metal base | |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | Igual a la del metal base | |
| SOLDADURA DE FILETE | | |
| Cortante en el área efectiva | 30% de la resistencia nominal a la tensión del metal de soldadura, en kg/cm ² , excepto que el esfuerzo cortante en el metal base no excederá el 40% del esfuerzo de fluencia del metal base | Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor de la soldadura compatible |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | Igual a la del metal base | |
| SOLDADURA DE TAPÓN Y EN AGUJEROS ALARGADOS | | |
| Cortante paralelo a las superficies de contacto, en el área efectiva | 30% de la resistencia nominal a la tensión del metal de soldadura, en kg/cm ² , excepto que el esfuerzo cortante en el metal base no excederá el 40% del esfuerzo de fluencia del metal base | Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor de la soldadura compatible |

CAPITULO I (NTCGDF)

ACERO ESTRUCTURAL

Además de las normas mencionadas en el IMCA las NTCDDF se trabaja también con las siguientes normas de la ASTM.

ASTM 53

Esta especificación trata sobre tubos de acero galvanizado por inmersión en caliente, negro, soldado y sin costura; estos tubos se destinan para usos a presión y mecánicas en líneas de vapor, agua, gas y aire, son adecuadas para la formación de bridas, su valor esta en el sistema internacional de pulgada-libra.

ASTM 500

Esta especificación trata sobre tubos estructurales de acero al carbono conformados en frío, electro soldados, sin costura, de forma circular, cuadrada o rectangular las más comunes de 64" (1630mm) y un espesor de pared de 0.625" (16mm).

Estos elementos no son recomendados para cargas dinámicas en estructuras electro soldadas donde puedan ser importantes las propiedades en las uniones a baja temperatura, sus unidades están en el sistema internacional en pulgadas-libra.

ASTM 501

Esta especificación trata sobre tubos estructurales de acero al carbono conformados en caliente, electro soldados y sin costura, pueden ser de forma circular, cuadrada o rectangular, utilizados para construcciones electro soldadas, remachadas en puentes y uso general en estructuras, a diferencia de las demás especificaciones los tubos cuadrados y rectangulares son suministrados de 1 a 32" (25.4 a 813mm) con una pared de 0.095 a 3" (2.41 a 76mm) y los tubos redondos son suministrados de ½ a 24" y una pared de 0.109" a 1" o en su defecto tubos en formas especiales siempre y cuando cumplan con los requisitos de esta especificación.

Según el criterio en el estado límite de falla las estructuras deben dimensionarse con un momento interno que actúe en ella una fuerza axial, una fuerza cortante, un momento flexionante y un aumento de tensión o la combinación de ambas incluyendo un factor de resistencia y un factor de carga correspondiente a los valores calculados bajo acciones nominales.

ESTRUCTURAS TIPO I

Comúnmente designadas en marcos rígidos y estructuras continuas teniendo rotaciones relativas entre los extremos de cada nodo, pueden analizarse y diseñarse utilizando métodos elásticos con un valor mínimo de esfuerzo correspondiente al limite inferior de fluencia del

acero F_y de 4550 kg/cm^2 teniendo una zona de deformación creciente bajo esfuerzo prácticamente constante.

Cuando los efectos sísmicos no son críticos los miembros contra vientos, la resistencia de diseño de flexión de una viga o trabe será la siguiente

$$M_R = F_R Z F_Y M_p \leq F_R (1.5 M_y)$$

Donde:

Z = Es el modulo de sección plástico

$M_p = Z F_Y$ Es el momento plástico resistente nominal de la sección

$$M_R = F_R S F_Y = F_R (M_y)$$

S = Modulo de la sección elástica

$M_y = S F_Y$, momento nominal correspondiente a la iniciación de la fluencia.

Además se colocarán atiesadores dobles en los dos lados del alma en los miembros que reciben cargas con entradas en las que aparezcan articulaciones plásticas.

ESTRUCTURAS TIPO II

Pueden utilizarse en elementos secundarios y se aceptan en muros o marcos rígidos y otros diafragmas horizontales como lozas, en estructuras principales de edificios cuya altura no exceda de ocho pisos o 30 metros de altura.

PROPIEDADES GEOMETRICAS

AREA NETA EFECTIVA DE MIEMBROS EN TENSIÓN O COMPRESION

Cuando las cargas son transmitidas directamente por medio de remaches, tornillos o soldaduras en proporción a su área transversal, el área neta efectiva (A_e) es igual al área neta (A_n), cuando la carga retransmite por medio de tornillos o remaches colocados en algunas partes, no en toda el área de la sección será igual a:

MIEMBROS EN TENSIÓN

$$A_e = U A_n$$

MIEMBROS EN COMPRESIÓN

$$A_e = U A_t$$

Donde:

U .- es un coeficiente de reducción del área

$$U = 1 - \frac{X}{L} \leq 0.9$$

X .- es la excentricidad de la conexión

L .- longitud de la conexión en dirección de la carga

CONEXIONES REMACHADAS ATORNILLADAS

$U=0.90$ en las secciones laminadas o soldadas en estructuras H o I con patines de ancho no menos de $2/3$ del peralte además con tres o mas conectores en cada línea en la dirección de los esfuerzos

$U=0.75$ todos los miembros que tengan solo dos conectores en cada línea en dirección de los esfuerzos

$U=0.80$ todos los miembros que tengan cuatro o mas conectores en dirección de los esfuerzos

CONEXIONES SOLDADAS

Cuando la fuerza de tensión o compresión se transmite a una placa por medio de soldaduras se utilizan los siguientes valores:

| | | |
|----------|----|-----------------------|
| $U=1.0$ | si | $l \geq 2d$ |
| $U=0.87$ | si | $2d \geq l \geq 1.5d$ |
| $U=0.75$ | si | $1.5d > l \geq d$ |

Donde:

l es la longitud de la soldadura

d ancho de la placa (distancia entre soldaduras)

TENSIÓN O CORTANTE

La resistencia de diseño de remaches, tornillos y barras roscadas que trabajen en tensión o cortante es igual al producto del factor de resistencia, FR por el área nominal de la sección transversal de la parte no roscada del vástago A_b , y por la resistencia nominal que corresponde a esta parte del vástago F_n

Tamaños máximos de agujeros para remaches y tornillos 1

Dimensiones de los Agujeros

| Diámetro nominal del remache o tornillo, d | | Estándar (Diámetro) | | Sobredimensionados 2 (Diámetro) | | Alargados Cortos 2 (Ancho × Longitud) | | Alargados Largos 2 (Ancho × Longitud) | |
|--|---------|---------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------|
| mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. |
| 12.7 | 1/2 | 14.3 | 9/16 | 15.9 | 5/8 | 14.3 × 17.5 | 9/16 × 11/16 | 14.3 × 31.8 | 9/16 × 1 1/4 |
| 15.9 | 5/8 | 17.5 | 11/16 | 20.6 | 13/16 | 17.5 × 22.2 | 11/16 × 7/8 | 17.5 × 39.7 | 11/16 × 1 9/16 |
| 19.1 | 3/4 | 20.6 | 13/16 | 23.8 | 15/16 | 20.6 × 25.4 | 13/16 × 1 | 20.6 × 47.6 | 13/16 × 1 7/8 |
| 22.2 | 7/8 | 23.8 | 15/16 | 27.0 | 1 1/16 | 23.8 × 28.6 | 1 5/16 × 1 1/8 | 23.8 × 55.6 | 15/16 × 2 3/16 |
| 25.4 | 1 | 27.0 | 1 1/16 | 31.8 | 1 1/4 | 27.0 × 33.3 | 1 1/16 × 1 5/16 | 27.0 × 63.5 | 1 1/16 × 2 1/2 |
| ≥ 28.6 | ≥ 1 1/8 | d +1.5 | d +1/16 | d +7.9 | d +5/16 | (d+1.5)×(d+9.5) | (d+1/16)×(d+3/8) | (d+1.5)×(2.5d) | (d+1/16)×(2.5d) |

Los tamaños son nominales.

No se permiten en conexiones remachadas.

Distancia mínima del centro de un agujero estándar¹ al borde de la parte conectada²

| Diámetro nominal del remache o tornillo | | Bordes cortados con cizalla | | Bordes laminados de perfiles, placas o soleras, o bordes cortados con soplete ³ | |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------|--|-------|
| mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. |
| 12.7 | 1/2 | 22.2 | 7/8 | 19.1 | 3/4 |
| 15.9 | 5/8 | 28.6 | 1 1/8 | 22.2 | 7/8 |
| 19.1 | 3/4 | 31.8 | 1 1/4 | 25.4 | 1 |
| 22.2 | 7/8 | 38.1 | 1 1/2 (4) | 28.6 | 1 1/8 |
| 25.4 | 1 | 44.5 | 1 3/4 (4) | 31.8 | 1 1/4 |
| 28.6 | 1 1/8 | 50.8 | 2 | 38.1 | 1 1/2 |
| 31.8 | 1 1/4 | 57.2 | 2 1/4 | 41.3 | 1 5/8 |
| mayor que 31.8 | mayor que 1 1/4 | 1.75 × Diámetro | | 1.25 × Diámetro | |

MIEMBROS EN FLEXION

En las Normas Técnicas Complementarias del Gobierno del Distrito Federal son aplicables a vigas laminadas, vigas formadas con lámina y traveses soldados en sección I, cuadradas o rectangulares, teniendo un estado limite.

- 1) Formación de mecanismo con articulaciones
- 2) Resistencia a la flexión en la sección crítica
- 3) Pandeo lateral por la flexo torsión
- 4) Pandeo local del patín comprimido
- 5) Pandeo del alma producida por la flexión
- 6) Pandeo del alma producida por cortante
- 7) Flexión y fuerza cortante o combinadas

DISEÑOS EN FLEXIÓN

La resistencia en diseño en flexión M_R , de una viga o trabe de eje recto ya sea sección 1 (H,I) o sección 2 transversales o de cualquier forma en donde, el pandeo lateral no es

critico ($L \leq L_u$), la resistencia de diseño en miembros en flexión cuyo patín comprimido está soportado lateralmente con separación L no mayor de L_u tanto para la sección 1° 2 se utilizará.

$$M_R = F_R Z F_Y = F_R M_P \leq F_R (1.5 M_Y)$$

Donde:

Z =Modulo de sección plástico

$M_P = Z F_Y$, momento plástico resistente de la sección en consideración

L = distancia entre sección de la viga

L_u = longitud máxima no soportada donde no existe capacidad de rotación calculándose con la siguiente formula,

$$L_u = \sqrt{\frac{2\pi}{X_U}} \sqrt{\frac{E C_a}{G J}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_U^2}}$$

Miembros de sección transversal rectangular, maciza o hueca

$$L_u = 0.91 \frac{E}{C_Z F_Y} \sqrt{I_Y J}$$

Donde para la primera formula:

L_u .-longitud

X_u .- coeficiente que se utiliza para determinar las longitudes (L_u , L_x)

E .- Módulo de elasticidad del acero (200000 Mpa, equivalente a 2040,000Kg/cm²)

C_a .- Constante de tensión por alabeo (cm⁶)

G .- Módulo de elasticidad al esfuerzo cortante del acero 77200Mpa equivalente a 784000 kg/cm²

J .- constante de tensión en cm⁴

Para la segunda formula

F_y .- limite fluencia del acero

C .- coeficiente del momento flexionante a lo largo de una barra en flexión o flexo compresión

Z .- Modulo de sección plástica (cm³)

I_y .- momento de inercia (cm⁴)

APLASTAMIENTO

La resistencia al aplastamiento esta en F_R y R_N se toma igual a 0.75 de F_R y R_N (resistencia nominal). La resistencia al aplastamiento debe de revisarse en los dos tipos de conexiones con tornillos de alta resistencia.

Para un tornillo en una conexión con agujeros estándar, sobredimensionados, independientemente del al dirección de la carga y si la deformación alrededor bajo cargas de servicio se considerará de diseño.

$$R_n = 1.2L_{ct}F_u \leq 2.4dtF_u \text{ y si no lo es}$$

$$R_n = 1.2L_{ct}F_u \leq 3.0dtF_u$$

Para tornillos en una conexión con agujeros alargados perpendiculares a la misma fuerza.

$$R_n = 1.2L_{ct}F_u \leq 2.0dtF_u$$

Por lo tanto la resistencia total por el aplastamiento de una conexión es igual a la suma de las resistencias al aplastamiento de los tornillos que hay en ella.

SOLDADURA

SOLDADURA DE FILETE

El tamaño de esta soldadura queda determinado por la gruesa de las partes unidas pero no es necesario que exceda el grueso de la parte más delgada

Tamaños mínimos de soldaduras de filete

| Espesor de la más gruesa de las partes unidas mm (pulg.) | | Tamaño mínimo del filete mm (pulg.) |
|---|----------------|--|
| menor o igual que 6.3 | ($\leq 1/4$) | 3.2 (1/8) |
| más de 6.3 hasta 12.7 | (1/4 a 1/2) | 4.8 (3/16) |
| más de 12.7 hasta 19.1 | (1/2 a 3/4) | 6.3 (1/4) |
| mayor que 19.1 | (> 3/4) | 7.9 (5/16) |

i Dimensión de la pierna del filete de soldadura. Deben usarse soldaduras depositadas en un solo paso.

TAMAÑO MAXIMO

El tamaño máximo de las soldaduras de filete colocada a lo largo de los bordes de placas o perfiles, en los bordes de material de grueso ≥ 6.3 mm (1/4"), el grueso del material menor a 1.5mm(1/16"). La distancia del borde de la soldadura depositada y el de la placa puede ser menor a 1.5mm.

LONGITUD

La longitud mínima efectiva de una soldadura de filete será no menor que cuatro veces su tamaño nominal, la separación transversal de filetes longitudinales utilizadas en conexiones en extremos de los miembros no debe exceder de los 200mm. Para evitar una flexión transversal excesiva.

La longitud efectiva de la soldadura de filete paralelas a la dirección de la fuerza es igual a la longitud total que no exceda de 100 veces el tamaño de su pierna, si es así la longitud efectiva se obtiene multiplicando la real por un factor de reducción β que vale:

$$\beta = 1.2 - 0.002(L/a) \leq 1$$

Donde:

L.- longitud real de la soldadura

a.- tamaño de la pieza de la soldadura en mm (cm)

si L es mayor a 300a $\beta=0.60$

JUNTAS TRASLAPADAS

El traslape no será menor de cinco veces el grueso de la más delgada de las partes que se están uniendo con un mínimo de 25 mm.

RESISTENCIA DE DISEÑO

La resistencia de diseño de las soldaduras es igual al menor de los productos $F_R F_{MB} A_{MB}$ y $F_R F_S A_S$, donde F_{MB} y F_S son, respectivamente, las resistencias nominales del metal base y del metal del electrodo, y A_{MB} y A_S , son el área de la sección transversal del metal base y el área efectiva de la soldadura, y F_R factor de resistencia.

La resistencia de diseño de soldaduras lineales a través del centro de gravedad del grupo es, $F_R F_S A_S$, donde:

$$F_S = 0.60 f_{EXX} (1.0 + \sin^{1.5} \theta)$$

Donde:

F_R se toma el valor de 0.75

F_S es la resistencia nominal de la soldadura

f_{EXX} es el número de clasificación del electrodo

θ es el ángulo entre la línea de acción de la carga y el eje longitudinal de la soldadura en grados

COMBINACION DE SOLDADURAS

Si en una junta se combinan una o más soldaduras de tipos diferentes, la resistencia de diseño de la combinación se determinará calculando por separado la resistencia de cada una.

Resistencias de diseño de soldaduras

| Tipos de soldaduras y forma de trabajo ¹ | Material | Factor de resistencia F _R | Resistencia nominal F _M B o F _S | Requisitos del metal de aportación |
|--|-------------------------|---|---|---|
| Soldaduras de penetración completa | | | | |
| Tensión normal al área efectiva | | | | Debe usarse metal de aportación compatible con el metal base. Puede usarse metal de aportación de resistencia igual o menor que la del metal de aportación compatible con el metal base |
| Compresión normal al área efectiva | Metal base | | | |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | Metal base | 0.90 | F _y | |
| Cortante en el área efectiva | Soldadura | 0.90 | 0.60F _{EXX} | |
| Soldaduras de penetración parcial | | | | |
| Tensión normal al área efectiva | Metal base | 0.90 | F _y | Puede usarse metal de aportación de resistencia igual o menor que la del metal de aportación compatible con el metal base |
| Compresión normal al área efectiva | Soldadura Metal base | 0.80 | 0.60F _{EXX} | |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | Metal base | 0.90 | F _y | |
| Cortante paralelo al eje de la soldadura | Soldadura | 0.75 | 0.60F _{EXX} | |
| Soldaduras de filete | | | | |
| Cortante en el área efectiva | Metal base ⁶ | 0.75 | F _y | Puede usarse metal de aportación de resistencia igual o menor que la del metal de aportación compatible con el metal base. |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura ⁵ | Soldadura Metal base | 0.90 | 0.60F _{EXX} | |
| Soldaduras de tapón o de ranura | | | | |
| Cortante paralelo a las superficies de falla (en el área efectiva) | Metal base ⁶ | | | Puede usarse metal de aportación de resistencia igual o menor que la del metal de aportación compatible con el metal base. |
| | Soldadura | 0.75 | 0.60F _{EXX} | |

CAPITULO II (IMCA)

ESFUERZOS COMBINADOS

COMPRESIÓN AXIAL Y FLEXIÓN (FLEXOCOMPRESIÓN)

Para diseñar bajo estos esfuerzos combinados es recomendable satisfacer lo siguiente

$$1) \frac{fa}{Fa} + \frac{Cmxf}{\left(1 - \frac{fa}{F'ex}\right)F_{bx}} + \frac{Cmxf_{bx}}{\left(1 - \frac{fa}{F'ey}\right)F_{by}} \leq 1.0$$

$$2) \frac{fA}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Cuando $\frac{fa}{Fa} \leq 1.0$ se utilizará la siguiente fórmula

$$\frac{fA}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Donde:

Los índices x y y combinados con los subíndices b, m y e indican el eje de flexión en el cual se aplica un esfuerzo o una propiedad de diseño.

Fa= Esfuerzo de compresión axial si lo existiera en kg/cm²

Fb= Esfuerzo de compresión por flexión si lo existiera en kg/cm²

$$F'e = \frac{12\pi^2}{23 \left(\frac{K_{lb}}{r_b} \right)^2}$$

Esfuerzo de Euler dividido entre un factor de seguridad en kg/cm²

F'e, l_b, en la formula anterior es la longitud en arriostramiento y r_b es el radio de giro, K es el factor de longitud efectiva.

fa= esfuerzo axial calculado en Kg/cm²

fb= esfuerzo de compresión por flexión en Kg/cm²

Cm=coeficiente cuyos valores serán:

- 1) miembros sujetos a compresión a desplazamiento lateral Cm=0.85
- 2) miembros en marcos arriostrados y no sujetos a carga transversal entre apoyos en el plano de flexión Cm=0.6-0.4 $\frac{M_1}{M_2}$ pero no menor de 0.4

En donde; $\frac{M_1}{M_2}$ es una relación del momento menor al mayor en los extremos de la parte del miembro no arriostrado en el plano de flexión

- 3) para miembros cuyos extremos están restringidos $C_m=0.85$
- 4) para miembros cuyos extremos no están restringidos $C_m=1.0$

TENSIÓN AXIAL Y FLEXIÓN (FLEXOTENSIÓN)

Los miembros sometidos a esfuerzos de tensión axial y a flexión deben de estar diseñados bajo las condiciones de;

$$\frac{fA}{0.60F_Y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Para que un miembro califique bajo esta condición debe de cumplir con una serie de condiciones

- 1) los patines siempre estarán unos al alma
- 2) la relación ancho/espesor en elementos no atiesados, siendo aquellos que tienen un borde libre paralelo a la dirección del esfuerzo de compresión y la cara ó sección correspondiente al alma y no excediendo de:

$$\frac{545}{\sqrt{F_Y}}$$

- 3) la relación peralte/espesor del alma no exceda el ó los siguientes valores dados:

$$a) \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_Y \left(1 - 3.74 \frac{fa}{F_Y} \right)}}$$

$$\text{Cuando } \frac{fa}{F_Y} \leq 0.16$$

$$b) \frac{d}{t} = \frac{2150}{\sqrt{F_Y}}, \text{ cuando } \frac{fa}{F_Y} > 0.16$$

Donde:

d= peralte de una viga formada por tres placas en cm

t= espesor del alma de una viga ó columna, espesor de un ángulo en cm

fa= esfuerzo axial calculado en kg/cm^2

- 4) longitud entre soportes laterales del patín en compresión que no sean circulares o miembros en cajón, no excederá de los valores:

$$\frac{637bf}{\sqrt{F_Y}} \text{ ni de } \frac{1410,000}{(dAf)\sqrt{F_Y}}$$

Donde:

Af.- área del patín en compresión, en cm^2

bf.- Ancho del patín de una viga formada por tres placas.

- 5) Longitud entre soportes laterales del patín de miembros en cajón, sección transversal y rectangular no excederán el valor de

$$137,000 + 84,400 \frac{M_1}{M_2} \left(\frac{b}{F_Y} \right)$$

Donde;

b= Ancho real de elementos en compresión atiesados ó no atiesados dado en cm.

- 6) La relación diámetro/espesor de secciones circulares huecas no excederá de:

$$\frac{232,222}{F_Y}$$

Los miembros que cumplan con los requisitos salvo que $\frac{b_F}{2t_F}$ exceda $\frac{545}{\sqrt{F_Y}}$, pero menor de $\frac{797}{\sqrt{F_Y}}$, podrá ser diseñado sobre la base de un esfuerzo de flexión permisible;

$$F_b = F_Y \left[0.79 - 0.000239 \frac{b_F}{F_Y} \sqrt{F_Y} \right]$$

Donde:

F_b = esfuerzo de flexión permisible en miembros prismáticos en ausencia de fuerzas axiales en kg/cm^2

T_F = espesor del patín en cm.

Las secciones tubulares, rectangulares, con respecto a su eje de menor resistencia y además que cumplan con los párrafos 1 y 3 podrán ser diseñadas con base en un esfuerzo permisible de flexión

$$F_b = 0.66 F_Y.$$

CAPITULO III (IMCA) MIEMBROS Y CONEXIONES SOMETIDOS A VARIACIONES REPETIDAS DE ESFUERZO (FATIGA)

FATIGA.- Se entiende como el daño que después de un cierto número de esfuerzos, puede terminar en fractura. En construcciones comunes son pocas las conexiones que son diseñadas por fatiga, ya que las cargas de diseño totales de viento o de sismo se presentan con tan poca frecuencia y no ameritan ser diseñados por fatiga, solo algunas están sujetas a cargas que soportan fatiga, como los carriles de grúas y las estructuras de apoyo, o maquinaria pesada móvil o vibratoria, si algunos miembros de acero están sujetos a carga que se aplican y luego se remueven pueden aparecer en ellos grietas que se propagan tanto que llega a ocurrir la grieta por fatiga.

Estas grietas tienden a presentarse en lugares en donde existe una concentración de esfuerzos como agujeros, bordes o en soldaduras mal hechas. Además que es más probable que estas ocurran en miembros a tensión.⁽¹⁾

CONSTRUCCIÓN COMPUESTA

La construcción compuesta se da con vigas o trabes de acero que soportan una losa de concreto reforzado de tal manera que la viga y losa actúan en conjunto para resistir la flexión.

Cuando las vigas se encuentran totalmente ahogadas en el concreto de la losa con no menos de cinco centímetros de espesor en sus lados, se considera que están conectadas con el concreto por adherencia, sin necesidad de anclaje adicional.

Para que esta condición se cumpla, el patín superior de la viga debe de quedar cuatro centímetros abajo del nivel superior y cinco centímetros arriba del nivel inferior de la losa, además, el concreto deberá tener refuerzo de acero adecuado por ambos lados de la viga para evitar el desprendimiento del concreto.

Se puede calcular el espesor de las vigas usando en espesor total de la losa.

CONECTORES DE CORTANTE

En este caso la viga de acero y la losa de concreto serán colocadas por conectores de cortante soldados al patín superior de la viga y ahogados en concreto, y el concreto estará sometido a compresión por flexión, el cortante horizontal total se tomara como el menor de los valores obtenidos en las siguientes formulas.

$$V_h = 0.85f'_c A_c / 2$$

$$V_h = A_s F_y / 2$$

Donde.

f'_c .- Resistencia a la compresión del concreto en kg/cm^2

A_c .- Área real del patín en cm^2

A_s .- Área de la viga de acero en cm^2

Para obtener una acción compuesta total, el número de conectores que resistan la fuerza cortante horizontal de V_h a cada lado del punto del momento máximo no será menor que el determinado por la relación V_h/q , en donde “q” es la carga del cortante permisible.

El valor de q se muestra en la tabla siguiente.

Fuerza cortante horizontal permisible en un conector (q) en Kg.

| Conector ^a | Resistencia a la compresión especificada del concreto (f'c) en Kg/cm ² | | |
|--|---|-------------------|--------------------|
| | 210 | 250 | ≥ 280 |
| Perno de 13 mm de diám. X 50 mm, con gancho o cabeza | 2300 | 2500 | 2700 |
| Perno de 16 mm de diám. X 65 mm, con gancho o cabeza | 3600 | 3900 | 4200 |
| Perno de 19 mm de diám. X 76 mm, con gancho o cabeza | 5200 | 5700 | 6000 |
| Perno de 22 mm de diám. X 90 mm, con gancho o cabeza | 7100 | 7600 | 8200 |
| Perfil CE de 76x6.10 | 770 w ^b | 840w ^b | 890w ^b |
| Perfil CE de 102x8.04 | 820w ^b | 890w ^b | 950w ^b |
| Perfil CE de 127x9.97 | 870w ^b | 950w ^b | 1000w ^b |

a.- las fuerzas cortantes horizontales permisibles tabuladas también pueden usarse para pernos más largos que los indicados
w^b.- longitud del perfil CE en cm.

El momento de inercia efectivo para la deformación será determinada por.

$$I_{ef} = I_s + \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}} (I_{tr} - I_s)$$

En donde.

I_s.- momento de inercia de la viga de acero en cm⁴

I_{tr}.- momento de inercia de la sección compuesta en cm⁴

El número de conectores necesarios para una carga concentrada no será menor que el obtenido de la siguiente formula.

$$N_2 = \frac{N_1 \left[\frac{M\beta}{M_{max}} - 1 \right]}{\beta - 1}$$

Donde.

M.- momento en el punto de carga

N₁.-numero de conectores requeridos

$$\beta = \frac{S_{tr}}{S_s} \text{ ó } \frac{S_{ef}}{S_s}$$

Los conectores deberán tener un recubrimiento de concreto mínimo de 2.5 centímetros y el diámetro de los pernos no será mayor de 2.5 veces el espesor del patín, solamente que sean soldados por el patín.

LAMINAS DE ACERO ACANALADAS ORIENTADAS PERPENDICULARMENTE A LAS VIGAS DE ACERO

El concreto situado por debajo de la lámina de acero no se tomará en cuenta para determinar la propiedad de la sección.

La separación de los pernos a lo largo de la longitud de la viga no deberá exceder a 800 cm.

La fuerza por perno conector (q) mostrada en la tabla de fuera cortante horizontal permisible en un conector, será multiplicado por el siguiente factor de reducción;

$$\left(\frac{0.85}{\sqrt{N_R}} \right) \left(\frac{W_r}{h_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0$$

En donde.

h_r .- altura nominal de la enervadura en cm.

H_s .- longitud en mm del perno conector soldado.

N_R .- número de pernos conectores sobre una viga

W_r .- ancho promedio en mm de la nervadura de concreto.

La losa de concreto se unirá a la viga de acero por medio de pernos no mayores de 20 mm.

Para evitar el desprendimiento, será anclada la cimbra a todas las vigas de acero de una separación no mayor a 400 mm.

LAMINAS DE ACERO ACANALADAS ORIENTADAS HORIZONTALMENTE A LAS VIGAS DE ACERO.

El concreto de la lámina de acero acanalada se tomará en cuenta las propiedades de la sección.

Cuando la cimbra de acero tenga una altura nominal de 40 mm o más, el ancho promedio de la enervadura (W_r), no será menor de 50 mm por conector, solo cuando haya más de una pila transversal de pernos, se aumentará 4 veces el diámetro por fila adicional de pernos.

Lo estipulado en la tabla de fuerza cortante horizontal permisible (q), será multiplicado por el siguiente factor de reducción.

$$0.6 \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0$$

CONEXIONES

Existen dos tipos de conexiones, una siendo de conexión mínima en la cual está nos indica que las conexiones que transmiten esfuerzos calculados excepto para las barras de celosías, tirantes se diseñarán para soportar no menos de 300 kg.

CONEXIONES EXCENRICAS

Los ejes de gravedad deberán concurrir en un punto y estarán sometidos a un esfuerzo axial, de no ser así se tomará en cuenta los esfuerzos de flexión debido a la excentricidad.

COLOCACIÓN DE REMACHES, TORNILLOS Y SOLDADURAS

En el grupo de remaches, tornillos y soldaduras especifica que en los extremos de cualquier miembro tendrán su centro de gravedad en el eje de gravedad del miembro a menos que se tome en cuenta el efecto de la excentricidad resultante, siendo esta la gravedad total de los miembros y la gravedad total de las conexiones. Excepto en los miembros sometidos a variaciones repetidas de esfuerzo (FATIGA).

No es necesaria la aplicación de soldadura de filete para equilibrar las fuerzas alrededor de los ejes neutros, ya sea esta en ángulos simples, ángulos dobles, o miembros de tipo similar, podrá despreciarse en miembros cargados estáticamente pero siempre se deberá tomar en cuenta en miembros que producen fatiga.

MIEMBROS CON EXTREMOS RESTRINGIDOS A LA ROTACIÓN

En este subtema hablaremos de las armaduras que serán diseñadas para el efecto de combinación de fuerzas resultantes de momento y cortante, cuando los patines o placas de conexión de momento para conexiones extremas de vigas sean soldadas a un patín de una columna se colocarán un par de atiesadores en el alma siempre y cuando tengan un área transversal (A_{st}) mayor o igual al resultado de la siguiente formula.

$$A_{st} = \frac{P_{vf} - F_{yc} t(t_b + 5R)}{F_{yst}}$$

Donde:

F_{yc} - Esfuerzo de fluencia de la columna en Kg/cm²

F_{yst} - esfuerzo de fluencia del atiesador en Kg/cm²

R.- Distancia entre la cara exterior del patín y el pie de su filete del alma si la columna es un perfil soldado en cm.

P_{vf} - fuerza calculada por el patín o placa de conexión de momento multiplicada por 5/3 en Kg.

t.- Espesor del alma de la columna en cm.

t_b - Espesor del patín o de la placa de conexión de momento que transmite la fuerza concentrada en cm.

Los atiesadores en el alma opuestos a los patines del miembro conectado rígidamente dependerán básicamente de las dimensiones de esta columna, la ecuación mencionada nos da el área requerida por cada atiesador cuando se necesita ya que no siempre son requeridos.

Para colocar los atiesadores deberán estar opuestos al patín de conexión siempre y cuando el peralte libre del alma entre filetes de una columna (d_c) sea mayor que el alma.

$$\frac{34400t^2 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}$$

Principalmente nos indica y limita la relación de esbeltez del alma sin atiesar con el objetivo de evitar en lo posible un pandeo.

Y para colocar un par de atiesadores opuestos al patín en tensión se suministrarán siempre y cuando el espesor del patín (t_f) sea menor que;

$$0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}}$$

Esta expresión limita al esfuerzo de flexión en el patín del miembro soportante.

Las formulas mencionadas son un conjunto de resultados para la seguridad en la construcción, porque los atiesadores se diseñan basando sus fuerzas mayores que las reales, ya que utilizan la fuerza real multiplicada por un factor de carga debiendo de cumplir los siguientes requisitos.

El ancho de cada atiesador mas la mitad del espesor del alma no será menor a 1/3 del ancho del patín o de la placa.

El espesor de los atiesadores no será menor que la mitad del espesor del patín.

Cuando la fuerza es aplicable a solamente un lado del patín de la columna, la longitud del atiesador no necesita ser mayor que la mitad del peralte de la columna.

La soldadura que une a los atiesadores al alma deberá diseñarse para soportar la fuerza en el atiesador producida por momentos no equilibrados.

PLACAS DE RELLENO

Cuando remaches o tornillos que transmitan fuerzas, pasan a través de las placas de relleno con espesor mayor de 6 mm., las placas de relleno deberán prolongarse más allá de la unión para destruir el esfuerzo total de la sección compuesta fijándose con remaches o tornillos.

En construcción soldada las placas mayores de 6 mm., de espesor se prolongan mas allá de los bordes de la placa de unión y se soldarán al elemento que conecta utilizando suficiente soldadura para transmitir la fuerza en la placa de unión teniendo suficiente longitud para no sobrecargar la placa de relleno, a lo largo del cordón de soldadura. Cuando la placa de relleno sea menor a 6 mm., de espesor tendrá su bordes al ras con los bordes de la placa de unión y la soldadura será la necesaria para soportar la fuerza de la placa de unión, mas el espesor de la placa de relleno.

El requisito de fijar las placas de relleno mediante conexiones adicionales, es que estas se conviertan en parte del elemento conectado por cortante.

MIEMBROS EN COMPRESIÓN CON UNIONES DE APOYO POR APLASTAMIENTO.

Las columnas apoyadas en placas por aplastamiento deberán tener suficientes remaches, tornillos o soldaduras (sea la unión que se esté manejando) para mantener la posición relativa de todas las partes y diseñadas para poder transmitir el 50% de las cargas calculadas.

Todas las conexiones anteriores serán diseñadas para resistir cualquier tensión, sismo o viento que pudiera producirse con fuerzas laterales actuando todas conjuntamente con el 75% del esfuerzo calculado por cargas muertas pero sin cargas vivas.

El área efectiva del aplastamiento de remaches y tornillos será el diámetro multiplicado por la longitud de aplastamiento, excepto para remaches y tornillos avellanados, debe de reducirse la mitad de la profundidad avellanada.

CONEXIONES COMPUESTAS

Para las siguientes conexiones se emplearan remaches, tornillos de alta resistencia o de soldaduras.

En partes de columnas en todas las estructuras de pisos múltiples de 60 mts, o más de altura.

En partes de columnas de estructuras de pisos múltiples de 30 a 60 mts, o más de altura, cuando la menor dimensión horizontal es de 40% de altura.

En partes de columnas en estructuras de varios pisos menores a 30 mts, de altura cuando la menor dimensión horizontal es menor de 25% de altura.

Conexiones de todas las vigas o columnas y de cualquier otra viga de la cual depende el arriostramiento de columnas, en estructuras de más de 40 mts, de altura.

En estructuras que soportan grúas de más de 5 toneladas de capacidad, los empates en las armaduras de techo y conexiones de armaduras a columnas, empates de columnas y armaduras o trabes y ménsulas para grúas.

Conexiones para soportes de maquinaria en operación, o de otras cargas vivas que producen impacto o inversión de esfuerzos.

Cualquier otra conexión así estipulado en los planos de diseño.

En otros casos las conexiones de campo pueden hacerse con tornillos A37 (que soportan una tensión permisible de 1410 Kg/cm^2) para esta sección la altura de un edificio de varios pisos se tomará como la distancia vertical desde el nivel de la acera hasta el punto más elevado de las vigas del techo. En el caso de techos con pendiente mayor del 20% se tomará la altura media del techo.

Cuando el nivel de la acera no se ha fijado, o la estructura no sea adyacente a una estructura se usará el nivel medio del terreno en que se desplanta la estructura y nunca se tomará en cuenta la altura de las casetas, de los elevadores y de los cubos de las escaleras para determinar la altura de una estructura.

CAPITULO III (NTCGDF)

ALMAS Y PATINES CON CARGAS CONCENTRADAS

Las almas de las vigas en las cuales van a actuar cargas en un solo patín que producen compresión en el alma deberá satisfacer;

Una región crítica en el alma en los que efectuarán una carga concentrada que producen tensiones o compresiones en el alma $F_R R_n$, donde;

$$F_R = 1.0$$

R_n .- se determina con la siguiente formula.

$$R_N = (5K + N) F_y t_a$$

Donde:

F_y .- Esfuerzo de fluencia especificado del acero

N .- Longitud del apoyo o grueso de la placa que aplica la fuerza lineal.

K .- Distancia de la carga exterior del patín a la región crítica del alma

T_a .- Grueso del alma.

Cuando las fuerzas están aplicadas en el extremo del elemento o a una distancia del extremo menor a su peralte, se aplicará la siguiente formula;

$$R_N = (2.5K + N) F_y t_a$$

Las ecuaciones mencionadas serán aplicadas a los apoyos de vigas o trabes a conexiones rígidas a columnas por el patín en tensión, y en el caso que la fuerza exceda el valor obtenido en las ecuaciones anteriores, se sugiere aumentar la longitud del apoyo, reforzar el alma por medio de placas o atiesadores en los dos lados del alma o se ajustan al patín para que la soldadura que los une al alma transmita la fuerza de resistencia al atiesador.

Cuando la compresión producida en el alma aplicada a través del patín y a su vez no está sujetado por los atiesadores $F_R R_N$, se tomará $F_R = 0.75$ y el valor de R_N se calcula con la siguiente ecuación.

$$R_N = 0.80 t_a^2 \left[1 + 3 \frac{N}{d} \left(\frac{t_a}{t_p} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_p}{t_a}}$$

Donde;

d .- Parte total del miembro

t_p .- Grueso de sus patines

Si no se cumple la condición anterior se colocarán un par de atiesadores unidos con el alma y los patines con soldadura, para repartir la fuerza de los atiesadores.

Cuando el desplazamiento del patín en compresión y el patín en tensión no están restringidos por medio de atiesadores a cargas concentradas de compresión $F_R R_N$, se toma; $F_R=0.85$ y R_N se calcula con la siguiente ecuación;

$$R_N = \frac{C_r t_a^3 t_p}{d_c^2} \left[1 + 0.4 \left(\frac{d_c / t_a}{L/b} \right)^3 \right]$$

Donde;

$$C_r = 67500000 \text{ Kg/cm}^2$$

d_c .- Es el peralte del alma entre las regiones críticas.

L .- Zona donde está aplicada la carga, medida a lo largo de cualquiera de los patines.

b .- Ancho y grueso del patín.

Si se requiere una resistencia del alma mayor $F_R R_N$, los dos patines se soportarán en la sección en donde está la carga.

PANDEO EN COMPRESIÓN DEL ALMA.

La resistencia en el diseño en partes del alma no atiesadas en miembros en donde actuarán cargas concentradas en los dos patines será $F_R=0.9$, y R_N se calcula con la siguiente expresión.

$$R_N = \frac{24 t_a^3 \sqrt{E F_y}}{d_c}$$

El valor R_N puede incrementarse por un par de atiesadores soldados al alma desarrollando la fuerza que les corresponde y la soldadura debe de transmitir la fuerza en el atiesador.

FUERZA CORTANTE EN EL ALMA

La resistencia en la cortante del alma comprendida en los extremos de las conexiones rígidas cuyas almas se ubican en un mismo plano $F_R R_V$, donde $F_R=0.9$ y R_V se calcula con las siguientes restricciones.

Cuando no se tome en cuenta la deformación del alma con estabilidad de la estructura.

$$R_V = 0.60 F_y d_c t_a \left(1.4 - \frac{P_u}{P_y} \right)$$

Cuando se tiene en cuenta la deformación del alma y la inestabilidad de la estructura.

$$R_V = 0.60 F_y d_c t_{ac} \left(1 + \frac{3 b p_c t_{pc}^2}{d_v d_c t_{ac}} \right) \left(1.9 - \frac{1.2 P_u}{P_y} \right)$$

Donde;

t_{ac} .- Grueso del alma y grueso y ancho del patín.

P_u .- Fuerza de compresión.

d_v .- peralte de la sección (generalmente una viga).

P_y .- fuerza axial del área de su sección transversal por el esfuerzo de fluencia.

Si se requiere una resistencia del alma mayor $F_R R_V$, se reforzará con un par de atiesadores con soldadura.

ATIESADORES.

Se colocarán atiesadores en los dos lados del alma en extremos libremente apoyados de vigas y trabes, estos atiesadores ocuparan el peralte completo del alma de manera que se cuide la deformación de la sección transversal.

En trabes, armaduras de cajón o columnas no pueden, deberán usarse diafragmas para que trabajen como atiesadores de apoyo.

Los atiesadores deben de ser simétricos respecto al alma, y dar apoyo a los patines de la trabe o en su defecto lo más cerca de ellos que sea posible, diseñándose con un ancho del alma no mayor de 25 veces su grueso. Cuando el atiesador es intermedio no será mayor de 12 veces su grueso.

Los atiesadores, pueden soldarse al patín en tensión o compresión, en trabes sujetas a cargas dinámicas revisándose en condiciones de fatiga, y en trabes remachadas se colocarán placas de relleno que sean necesarias para un ajuste correcto con los ángulos y por ningún motivo se doblarán los atiesadores.

Cumpliendo con los siguientes requisitos.

Los atiesadores que trabajan en compresión se dimensionarán para que no fallen por pandeo local.

La suma del ancho de cada atiesador más la mitad del grueso sobre el que actúa la carga concentrada no será menor que $1/3$ del ancho del patín o de la placa de conexión.

El grueso de los atiesadores no será menor a la mitad del grueso del patín o placa a través de la que se aplica la carga concentrada.

Cuando la carga concentrada actúa en un solo patín del elemento que la recibe basta con que los atiesadores lleguen a la mitad del peralte del alma.

La soldadura que une a los atiesadores con el alma en que actúan las cargas concentradas debe dimensionarse para que transmita la fuerza en los atiesadores.

Cuando la carga se aplica al patín en tensión, los atiesadores deben soldarse al patín cargado, cuando se utiliza soldadura debe dimensionarse para que transmita al atiesador la totalidad de la fuerza aplicada al patín.

PLACAS ADOSADAS AL ALMA

Se emplearán especificando lo siguiente;

El grueso y el tamaño de la placa o placas serán los necesarios para proporcionar el material requerido y no exceda la demanda de resistencia.

Las soldaduras de las placas transmitirán la fuerza total que les corresponda. Pueden colocarse dos placas a uno y a otro lado del alma o a uno solo.

CAPITULO IV (IMCA)

TRABES ARMADAS Y VIGAS LAMINADAS.

Las dimensiones de las traves armadas remachadas o soldadas y vigas laminadas se diseñarán tomando como base el momento de inercia de su sección total, no se harán reducciones por barrenos para tornillos o remaches de taller. Y se calculará reduciendo su ancho total con la suma de los diámetros y sumándole la cantidad;

$$\frac{S^2}{4g}$$

En donde;

S.- será la separación longitudinal de centro a centro en cm.

g.- es la separación transversal de centro a centro (gramil) entre los mismos agujeros de centro a centro en cm.

Y que no exceda del 15% de la sección total del patín.

Para considerar una viga como híbrida sus patines deberán tener la misma área y estar hechos del mismo tipo de acero, por lo tanto el acero del alma será diferente.

Las vigas híbridas podrán diseñarse con el momento de inercia según su sección total, no estableciendo ningún límite de los esfuerzos en el alma producidos por el momento de flexión, siempre y cuando no se necesite una fuerza axial mayor de $0.15F_y$ veces el área de la sección total.

ALMA

La distancia entre los patines, entre el espesor del alma no será mayor de;

$$\frac{984000}{\sqrt{F_y(F_y + 1160)}}$$

A excepción de cuando se usen atiesadores.

PANDEO DEL ALMA.

Las almas de traves armadas y vigas laminadas se diseñarán tal que el esfuerzo de compresión entre la unión alma-patín no soportada por atiesadores no excederá de $0.75F_y$, utilizando la fórmula para cargas interiores y cargas externas.

Para cargas interiores;

$$\frac{R}{t(N + 2\kappa)} \leq 0.75F_y$$

Y para cargas externas;

$$\frac{R}{t(N + \kappa)} \leq 0.75F_y$$

Donde;

R.- carga concentrada en Kg.

t.- Espesor del alma en cm.

N.- Longitud de apoyo (no menor que R para reacciones del alma) en cm.

κ .- Distancia desde la cara externa del patín hasta el paño de la unión con el alma.

Las almas de traves armadas se diseñarán tal que la suma de los esfuerzos resultantes de carga concentrada y cargas distribuidas que se aplican directamente sobre la placa del patín en compresión y no cuente con atiesadores no excederá de los siguientes valores.

Cuando el patín esta restringido a la rotación;

$$\left[2 + \frac{4}{\left(\frac{A}{h}\right)^2} \right] \frac{703000}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} \text{ Kg / cm}^2$$

Este esfuerzo se calculará a través de que la carga distribuida en Kg/cm, se dividirá entre el espesor del alma.

PATINES

Las soldaduras que unen al patín serán diseñadas para resistir el cortante horizontal que produce la flexión en la viga y la soldadura se hará en proporción a la magnitud del cortante no excediendo la máxima permitida para miembros en compresión siendo la adecuada para poder transmitir los esfuerzos calculados. Cuando un elemento está sometido a una compresión con soldaduras intermitentes, la separación máxima de los sujetadores o de la soldadura no excederá de $\frac{1060}{\sqrt{F_y}}$ veces el espesor de la placa más delgada ni excederá de 300 mm.

Los miembros a tensión formados por dos o más placas separadas entre sí se conectarán entre placas de relleno a intervalos en relación de su componente no siendo mayor de 240. Además la soldadura que une el patín con el alma será diseñada para transmitir al alma cualquier carga directamente al patín al menos que se diseñen otras medidas para transmitir dichas cargas mediante apoyo directo.

Los cubre placas en las vigas, pero sin atiesadores podrán utilizarse en secciones en patines para evitar el pandeo inelástico debido a la flexión, depende de la deformación del patín y la longitud parcial, se prolongarán más allá del punto de corte y se fijarán a través de remaches, tornillos de alta resistencia o a su vez con soldadura, y se diseñarán para no exceder los esfuerzos permisibles.

Cuando los cubre placas son soldados se prolongarán más allá del punto teórico a' (longitud parcial para desarrollar el esfuerzo, en cm.) la cual será

Igual al ancho de la cubre placa, cuando hay una soldadura continua, la soldadura será igual o mayor que las $\frac{3}{4}$ partes del espesor de la cubre placas al igual que la soldadura en sus bordes.

Igual a 1 $\frac{1}{2}$ veces el ancho de la cubre placa, cuando hay una soldadura continua será menor que las $\frac{3}{4}$ partes del espesor de la cubre placa en el extremo de está y con soldadura igual en sus bordes.

Igual a 2 veces el ancho de la cubre placa, cuando no hay soldadura transversal en el extremo de la misma, pero si soldadura continua en sus bordes.

REDUCCIÓN DEL ESFUERZO DEL PATÍN

Cuando la relación Altura/Espesor del alma exceda de, $\frac{6370}{\sqrt{F_b}}$ el esfuerzo de flexión

máxima del patín de compresión no será mayor de:

$$F_b' \leq F_b \left[1.0 - 0.0005 \left(\frac{A_w}{A_f} \right) \left(\frac{h}{t} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right) \right]$$

En donde:

F_b .- Esfuerzo de flexión en Kg/cm²

A_w .- Área del alma en cm², de la sección que se analiza.

A_f .- Área del patín en compresión, en cm²

F_b' .- Esfuerzo de flexión permisible en el patín en compresión en vigas compuestas por tres placas, reducido por ser la viga híbrida en Kg/cm².

CAPITULO IV (NTCGDF)

ALMA

La relación h/t, donde (h), es el peralte del alma de una viga, distancia entre patines, en secciones hechas con placas y soldadas. Y (t) es el grueso del alma de una viga ó trabe armada. No debe ser mayor que:

$$\frac{0.48E}{\sqrt{F_y(F_y + 1150)}} \text{ en Kg/cm}^2$$

Pero cuando en el diseño de la viga hay atiesadores transversales con separaciones no mayores de 1 $\frac{1}{2}$ veces el peralte del alma puede aumentarse en la formula anterior

$$11.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

En secciones laminadas (h) es la distancia entre patines menos las curvas de unión con el alma.

Si h/t no es mayor que $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ y la fuerza cortante sobre la trabe no es mayor que su resistencia dada por las ecuaciones;

$$V_R = V_N F_R$$

En donde:

V_R .- resistencia de diseño al cortante

F_R .- Factor de resistencia igual a 0.9

V_N .- Resistencia nominal.

$V_N = 0.66 F_y A_a$ (Falla del alma por cortante)

$$V_N = \frac{0.65 \sqrt{E F_y K}}{\frac{h}{t}} A_a \text{ (Falla del alma por plastificación)}$$

Donde:

a.- separación entre atiesadores.

A_a .- Área del alma.

K.- Coeficiente sin dimensiones y se calcula con;

$$K = 5.0 + \frac{5.0}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

K se toma igual a 5.0 cuando la relación a/h es mayor que 3.0 ó que $\left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} \right]$ y cuando no se

recomiende emplear atiesadores.

No es necesario reforzar el alma, excepto en las secciones que reciban fuerzas exteriores y se requieran atiesadores.

En el caso que la relación h/t, no es mayor que $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, pero la fuerza cortante sobre la

trabe es mayor que las ecuaciones anteriores, el exceso debe de tomarse mediante placas apoyadas al alma o a su vez atiesadores verticales y en diagonal que trabajen en forma similar a la que trabajan los montantes de una armadura. Debiendo tomar en cuenta que el almas no atiesadas siempre $K=5.0$ y se dice que el alma está reforzada.

Cuando (h/t) es mayor que $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ deberá revisarse si es necesario reforzar el alma por

medio de atiesadores ó palcas según el criterio del diseñador.

PATINES

Los patines de las vigas armadas, soldadas serán preferentemente de una placa, está placa puede estar formada por varios tramos según su longitud, de distintos gruesos ó anchos unidos por medio de un bisel y soldadura de penetración completa.

Este empate en cada uno de los componentes se hace antes de que se una a otros componentes.

En estructuras con carga cíclica, los empates se harán, preferentemente en un mismo plano transversal, estos empates se realizarán antes de que los patines y almas se unan entre sí, en todos los casos se tendrá en cuenta la posibilidad de una falla por fatiga.

En el caso de las cubre placas, el área total de la sección de travesaños, remachadas o atornilladas no excederá el 70% del área total del patín.

Si se utilizan cubre placas de longitud parcial debe exceder más allá de una longitud que permita colocar el número de remaches o tornillos o la soldadura necesarios para desarrollar la parte de la fuerza normal, debido a la flexión que corresponde a las cubre placas, esta sección es calculada con la sección completa, incluida la cubre placa.

La soldadura que une a los patines con las cubre placas deben de ser las adecuadas para resistir la fuerza ocasionada por la flexión de la cubre placa (mm).

La longitud medida desde el extremo de la cubre placa es;
Una distancia igual al ancho de la cubre placa cuando hay soldadura continua de tamaño igual o mayor que $\frac{3}{4}$ del grueso de la cubre placa en el extremo de está, continuada con soldadura del mismo tamaño a lo largo de los bordes.

Una distancia igual a $1\frac{1}{2}$ veces el ancho de la cubre placa, pero de tamaño menor que $\frac{3}{4}$ del grueso de la cubre placa.

Una distancia igual a 2 veces el ancho de la cubre placa no hay soldadura en los extremos pero si cordones continuos en ambos bordes.

UNION DE ALMA Y PATINES

Los remaches, tornillos ó soldaduras que unen los patines y el alma, los cubre placas a los patines deben de proporcionarse para resistir la fuerza cortante de diseño en consideración por la flexión de la trabe.

La separación entre remaches, tornillos o longitud de la soldadura deberá diseñarse a la intensidad de la fuerza cortante pero su separación longitudinal no deberá de exceder a la máxima distancia del centro de un tornillo o remache al borde más cercano de las partes en contacto siendo está doce veces el grueso de la parte conectada sin exceder de 150 mm.

La separación longitudinal entre conectores colocados en elementos en contacto continuo, consistentes en una placa y un perfil será la siguiente;

Elementos pintados o sin pintar, no sujetos a corrosión, no excederá de 24 veces el grueso de la placa más delgada, o 300 mm.

Para miembros no pintados intemperizables, sujetos a corrosión, no será mayor que 14 veces el grueso de la placa más delgada, o 180 mm.

Y en soldadura se maneja la siguiente tabla;

Espesor de las partes unidas.

Tamaño efectivo mínimo de penetración

| mm. | pulgadas | | mm | pulgadas |
|------------------------|-------------------|--|------|----------|
| Menor o igual 6.3 | $\leq 1/4$ a | | 3.4 | 1/8 |
| Más de 6.3 hasta 12.7 | $1/4$ a $1/2$ | | 4.8 | 3/16 |
| Más de 12.7 hasta 19.1 | $1/2$ a $3/4$ | | 6.3 | $1/4$ |
| Más de 19.1 hasta 38.1 | $3/4$ a $1 1/2$ | | 7.9 | 5/16 |
| Más de 38.1 hasta 57 | $1 1/2$ a $2 1/4$ | | 9.5 | 3/8 |
| Más de 57 hasta 152 | $2 1/4$ a 6 | | 12.7 | $1/2$ |
| Mayor de 152 | >6 | | 15.9 | 5/8 |

La longitud mínima de una soldadura de filete para transmitir fuerzas será no menor que cuatro veces su tamaño nominal. En caso contrario se considerará que el tamaño de la soldadura no excede de un cuarto de la longitud efectiva para miembros a tensión o en compresión.

Además de que los remaches, tornillos y soldaduras que conectan los patines al alma deben ser diseñados y ser capaces de transmitir todas las cargas aplicadas directamente a los patines, al menos de que esas cargas puedan transmitirse por apoyo directo en atiesadores.

La unión patines-alma debe desarrollar la resistencia total de cada uno de ellos, o la requerida para transmitir 1.25 veces las fuerzas internas de diseño.

En vigas o trabes armadas y soldadas sometidas a cargas que pueden transmitir o producir fallas por fatiga, las uniones de los patines con el alma será preferentemente de soldadura de penetración completa, tomándose en cuenta la posible disminución de la resistencia debida a fenómenos de fatiga.

REDUCCIÓN DEL MOMENTO RESISTENTE POR ESBELTEZ DEL ALMA.

En la relación h/t del peralte, el grueso del alma excede de $5.60 \sqrt{\frac{ES}{M_R}}$ y el patín cumple las relaciones ancho/grueso por tipo I, II y III.

Tipo I.- diseño plástico y diseño sísmico con $Q=3$ ó 4 , $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Tipo II.- diseño plástico y diseño sísmico con $Q \leq 2$. $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Tipo III.- No compactos. $1.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

La resistencia de diseño en flexión, reducida por esbeltez de alma (M'_R) se calcula con la siguiente formula;

$$M'_R = M_R \left[1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r} \left(\frac{h}{t} - 5.60 \sqrt{\frac{ES}{M_R}} \right) \right] \leq M_R$$

Donde;

a_r .- Cociente de las áreas del alma y del patín comprimido ($a_r \leq 1.0$)

S.- Módulo de sección completa, respecto al patín comprimido.

M_R .- Resistencia de diseño en flexión calculada de acuerdo a $M_R = F_R M_U$.

Cuando sobre nuestra trabe o viga armada actúa una fuerza de compresión (P_u), además de

la flexión, la constante 5.60 de la ecuación analizada se multiplicará por $\left(1 - 0.65 \frac{P_u}{P_y} \right)$.

En cajones debe de tomarse en cuenta dos almas.

CAPITULO V (IMCA)

REMACHES Y TORNILLOS

El uso de tornillos de alta resistencia para juntas estructurales se hará bajo las especificaciones de la norma ASTM A-490, las cuales son las siguientes;

Una aleación de acero pesado, pernos estructurales a la tracción de 150 a 175 K_{si}.

Los tornillos destinados a ser usados en las conexiones estructurales, son aprobados por el Instituto de Construcción en Acero.

Son designados para en tipo de la composición química de tipo I y tipo II

Tipo I.- Media de aleación de acero al carbono

Tipo II.- atmosféricos, acero

Esta norma no pretende quitar toda la responsabilidad del usuario para establecer las prácticas adecuadas de limitaciones reglamentarias antes de su uso.

Cuando se requiere apretar los tornillos a más del 50% de resistencia mínima a la tensión, cuando trabajan a tensión y en las conexiones a cortante, en aplastamiento, se recomienda utilizar rondanas instaladas debajo de la cabeza del tornillo, sin olvidar que las fuerzas deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM A-490, descrita anteriormente.

ÁREA EFECTIVA DEL APLASTAMIENTO

El área efectiva de aplastamiento de remaches y tornillos será el diámetro multiplicado por la longitud de aplastamiento excepto para remaches y tornillos avellanados, debe reducirse la mitad de la profundidad del avellanado.

En el caso de remaches y tornillos A37 estos cumplirán;

Sujetadores estándar de acero al bajo carbono roscados interna o externamente.

Tornillos de alta resistencia de acero estructural incluyendo tuercas y rondanas adecuadas.

Tornillos espárragos de acero templado y endurecido, estos se utilizarán solamente en conexiones para aplastamiento que requerirán un diámetro mayor de 38 mm. Aceptándose también para anclajes de alta resistencia.

Todas estas partes mencionadas tendrán una tensión permisible de $0.33F_u^{a,c,h}$ y una conexión por aplastamiento de 700^b y una tensión permisible de 1410^a .

Donde;

F_u .- Es la resistencia mínima de ruptura por tensión especificada para el acero en Kg/cm^2 .

a.- Para cargas plásticas

b.- Roscas permitidas en los planos de cortante.

c.- La capacidad de tensión de la parte roscada de una barra de rosca sobre puesta, con un diámetro mayor de rosca, siendo mayor que el área del cuerpo nominal de la barra multiplicada por $0.60 F_y$.

h.- Esfuerzos permisibles.

Estos resisten esfuerzos calculados y cuyo agarre excede de 5 veces su diámetro, se aumentará su número en 1% que el agarre exceda de los 5 diámetros.

SEPARACIÓN MÍNIMA

La distancia entre los centros de los agujeros estándar sobre dimensionados no será menor de 3 veces el diámetro nominal del sujetador a lo largo de una línea de fuerza transmitida, la distancia entre centros de agujeros no será menor de:

$$\frac{2P}{F_u + d/2}$$

En donde;

P.- Fuerza transmitida por un sujetador a la parte crítica conectada.

t.- Espesor de la parte crítica conectada, en cm.

La distancia entre centros de agujeros sobredimensionados o alargados se hará conforme a lo estipulado anteriormente, más el incremento aplicable a C_1 (incremento de separación), dado en la siguiente tabla.

| Diámetro nominal del sujetador en mm. | Agujeros alargados | | | |
|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | Agujeros sobre dimensionados | Perpendicular a la línea de fuerza | Paralelo a la línea de fuerza | |
| | | | Alargado corto | Alargado largo |
| ≤ 22 | 3 | 0 | 5 | 1.5d-1.6 |
| 25 | 5 | 0 | 6 | 37 |
| ≥ 29 | 6 | 0 | 8 | 1.5d-1.6 |

Para la distancia libre entre agujeros no será menor que un diámetro de tornillo.

DISTANCIA MÍNIMA AL BORDE

La distancia desde el centro de un agujero estándar al borde de una parte conectada no será menor que la que se indica en la siguiente tabla.

Distancia mínima al borde, en mm (desde el centro del agujero estándar^a al borde de la parte conectada)

| Diámetro nominal del remache o tornillo en mm. | Bordes cizallados en mm | Bordes laminados de placas, perfiles, o bordes cortados con gas ^b , en mm. |
|--|-------------------------|---|
| 13 | 22 | 19 |
| 16 | 29 | 22 |
| 19 | 32 | 25 |
| 22 | 38 ^c | 29 |
| 25 | 44 ^c | 32 |
| 29 | 51 | 38 |
| 32 | 57 | 41 |
| Más de 32 | 1.75d | 1.25d |

a.- para agujeros sobredimensionados o alargados
b.- todas las distancias al borde en esta columna podrán reducirse en 3 mm cuando el agujero se encuentre en una zona donde el esfuerzo no excede el 25% del máximo permisible en el elemento
c.- estos valores pueden ser de 32 mm en los extremos de ángulos de conexión de vigas.

Ni menor que los valores de una fuerza lineal transmitida en dirección de la misma, la distancia desde el centro de un agujero y la parte conectada al borde no siendo menor que

$$\frac{2P}{F_u t}$$

La distancia desde el centro de un agujero sobredimensionado o alargado al borde de una parte conectada no será menor que la ya mencionada más el incremento de C_2 aplicable de acuerdo con la siguiente tabla.

Valores de C_2 , incremento de la distancia al borde, en mm.

| Diámetro nominal del sujetador, en mm. | Agujeros sobre dimensionados | Agujeros alargados | | |
|--|------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|
| | | Perpendicular al borde | | Paralelo al borde |
| | | Alargados cortos | Alargados largos ^a | |
| ≤ 22 | 1.6 | 3 | 0.75d | 0 |
| 25 | 3 | 3 | | |
| ≥ 29 | 3 | 5 | | |

a.- cuando el alargamiento del agujero es menor que el máximo permisible, C_2 puede disminuirse en la mitad de la diferencia entre la longitud máxima y la real del agujero alargado.

Y las distancias máximas al borde se diseñarán desde el centro de cualquier remache o tornillo al borde más próximo de las partes en contacto, siendo esta igual a 12 veces el espesor de la parte conectada pero sin exceder de 150 mm.

CAPITULO V (NTCGDF)

TORNILLOS, BARRAS ROSCADAS Y REMACHES.

Estas recomendaciones se complementan con las del ASTM A-490, al igual que el Manual del IMCA. Los tornillos que se consideran aquí deben de satisfacer estos requisitos, dependiendo del tipo de conexión, siendo o no necesario que los tornillos instalados sean apretados hasta que haya una tensión especificada mínima no menor a lo estipulado en la siguiente tabla.

Tensión mínima en tornillos de alta resistencia, kN (kg) ¹

| Diámetro del tornillo, mm (pulg.) | Tornillos A325 | Tornillos A490 |
|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 12.7 (1/2) | 53 (5400) | 67 (6800) |
| 15.9 (5/8) | 84 (8600) | 107 (10900) |
| 19.1 (3/4) | 125 (12700) | 156 (15900) |
| 22.2 (7/8) | 174 (17700) | 218 (22200) |
| 25.4 (1) | 227 (23100) | 284 (29000) |
| 28.6 (1 1/8) | 249 (25400) | 356 (36300) |
| 31.8 (1 1/4) | 316 (32200) | 454 (46300) |
| 34.9 (1 3/8) | 378 (38600) | 538 (54900) |
| 38.1 (1 1/2) | 458 (46700) | 658 (67100) |

¹ Igual a 0.7 veces la resistencia mínima de ruptura en tensión de los tornillos, de acuerdo con las especificaciones ASTM para tornillos A325 y A490.

Los tornillos de alta resistencia pueden utilizarse en todas las conexiones, para diseñar tornillos apretados al contacto deben de utilizarse las resistencias normales para conexiones por aplastamiento indicadas en la siguiente tabla.

| Elementos de unión | Resistencia en tensión | | Resistencia al cortante en conexiones por aplastamiento | |
|---|-----------------------------|--|---|--|
| | Factor de resistencia F_R | Resistencia nominal, MPa (Kg/cm ²) | Factor de resistencia F_R | Resistencia nominal, MPa (Kg/cm ²) |
| Tornillos A307 | | 310 (3160) ¹ | | 165 (1690) ^{2,3} |
| Tornillos A325, cuando la rosca no está fuera de los planos de corte | | 620 (6330) | | 330(3380) ³ |
| Tornillos A325, cuando la rosca está fuera de los planos de corte | | 620 (6330) | | 414(4220) ³ |
| Tornillos A490, cuando la rosca no está fuera de los planos de corte | | 775 (7900) | | 414(4220) ³ |
| Tornillos A490, cuando la rosca está fuera de los planos de corte | 0.75 | 775 (7900) | 0.75 | 518 (5280) ³ |
| Partes roscadas, cuando la rosca no está fuera de los planos de corte | | 0.75 F_u^1 | | 0.4 F_u^1 |
| Partes roscadas, cuando la rosca está fuera de los planos de corte | | 0.75 F_u^1 | | 0.5 F_u^1 |
| Remaches A502. Grado 1, colocados en caliente | | 310 (3160) ¹ | | 172 (1760) ³ |
| Remaches A502. Grado 2y3, colocados en caliente | | 412 (4200) ¹ | | 228 (2320) ³ |

1.- Carga estática únicamente

2.- Se permite que la rosca esté en los planos de corte

3.- Cuando para unir los miembros en tensión se empleen conexiones por aplastamiento con tornillos o remaches colocados en una longitud, medida paralelamente a la dirección de la fuerza, mayor que 1.25m, los valores tabulados se reducirán en un 20%.

La nomenclatura para designar tornillos y remaches es de la ASTM.

En conexiones en donde exista deslizamiento dirigido hacia el borde de una carga concentrada deberán utilizarse tornillos de alta resistencia pre tensionados en;

- a) Empates de columnas en todas las estructuras de 60 m, de altura o más.
- b) Empates en columnas de estructuras comprendidas entre 50 y 60 m, de altura si su dimensión horizontal más pequeña es menor que el 40% de la altura.
- c) En todas las conexiones entre vigas y columnas en las que depende el contra venteo de las columnas de más de 40%.

- d) En las conexiones en las que no se admite el deslizamiento relativo como las sujetas a fatiga o las que forman parte de estructuras sensibles a la flexión.
- e) Estructuras que soportan grúas de 5 toneladas de capacidad unidas entre los elementos que los soportan y cargan.
- f) Conexiones para soportes de maquinas, cargas vivas que producen impacto.
- g) Conexiones en las que se usen agujeros sobre dimensionados o alargados.
- h) Cualquier otra conexión indicada en los planos.

El diseño por cortante de tornillos de alta resistencia y por aplastamiento en juntas es igual al producto del factor de resistencia (F_R) por el área nominal de la sección transversal (A_b), los tornillos y remaches combinados con tensión y cortante se diseñarán tal que la tensión no sea mayor que la resistencia de diseño, $F_R F_t A_b$.

Donde;

F_t .- esfuerzo nominal de tensión en remaches a tornillos en cm^2 .

A_b .- área nominal de la parte del vástago en mm.

El diseño por cortante de tornillos de alta resistencia con deslizamiento critico debe de ser igual o mayor que las resistencias dadas por $F_{R_{str}}$, donde;

r_{str} .- es igual a $1.13 \mu T_b N_s$

T_b .- Tensión mínima por tornillo

N_s .- Número de planos de deslizamiento.

μ .- Coeficiente de deslizamiento.

Donde $\mu=0.33$ para superficies de acero sin pintar, $\mu=0.50$, sobre acero limpiado sobre chorros de arena y $\mu=0.35$ para superficies galvanizadas con superficie rugosa.

$F_R=1.0$ para agujeros estándar

$F_R=0.85$ para agujeros sobredimensionados

$F_R=0.70$ para agujeros alargados transversalmente a la carga

$F_R=0.60$ para agujeros alargados paralelos a la dirección de la carga.

ÁREA EFECTIVA DE APLASTAMIENTO

El área en el aplastamiento sobre agujeros para tornillos debe de revisarse en los dos tipos de conexiones con tornillos de alta resistencia, por aplastamiento y diseño critico.

Los agujeros sobre dimensionados y alargados pueden utilizarse en conexiones de acuerdo a;

a) Indicado a continuación en la siguiente tabla.

Tamaños máximos de agujeros para remaches y tornillos ¹

| Diámetro Dimensiones de los Agujeros nominal del remache o tornillo, d | | Dimensiones de los agujeros | | | | | | | |
|---|---------|-----------------------------|---------|--|---------|---|--------------------|---|-------------------|
| | | Estándar (Diámetro) | | Sobredimensiona dos ² (Diámetro) | | Alargados Cortos ² (Ancho × Longitud) | | Alargados Largos ² (Ancho × Longitud) | |
| mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. | mm | pulg. |
| 12.7 | 1/2 | 14.3 | 9/16 | 15.9 | 5/8 | 14.3 × 17.5 | 9/16 × 11/16 | 14.3 × 31.8 | 9/16 × 1 1/4 |
| 15.9 | 5/8 | 17.5 | 11/16 | 20.6 | 13/16 | 17.5 × 22.2 | 11/16 × 7/8 | 17.5 × 39.7 | 11/16 × 1 9/16 |
| 19.1 | 3/4 | 20.6 | 13/16 | 23.8 | 15/16 | 20.6 × 25.4 | 13/16 × 1 | 20.6 × 47.6 | 13/16 × 1 7/8 |
| 22.2 | 7/8 | 23.8 | 15/16 | 27.0 ¹ | 1 1/16 | 23.8 × 28.6 | 1 5/16 × 1 1/8 | 23.8 × 55.6 | 15/16 × 2 3/16 |
| 25.4 | 1 | 27.0 ¹ | 1 1/16 | 31.8 | 1 1/4 | 27.0 × 33.3 ¹ | 1 1/16 × 1 5/16 | 27.0 × 63.5 | 1 1/16 × 2 1/2 |
| ≥ 28.6 | ≥ 1 1/8 | d +1.5 | d +1/16 | d +7.9 | d +5/16 | (d+1.5) × (d+9.5) | (d+1/16) × (d+3/8) | (d+1.5) × (2.5d) | (d+1/16) × (2.5d) |

¹ Los tamaños son nominales.
² No se permiten en conexiones remachadas.

- b) Se utilizará siempre en agujeros estándar excepto cuando el diseñador lo especifique, en conexiones pre aumentadas no se permite el uso de agujeros sobre dimensionados o alargados
- c) Los agujeros sobre dimensionados pueden utilizarse en cualquiera de las partes unidas en conexión y su empleo está prohibido en conexiones por aplastamiento, si en las partes exteriores tienen agujeros sobre dimensionados se recomienda la utilización de roldanas.
- d) En agujeros cortos podrán utilizarse en todas las partes unidas a una conexión por fricción o aplastamiento, en conexiones por fricción los agujeros podrán tener cualquier dirección, por aplastamiento su dimensión mayor deberá ser perpendicular a la dirección de la carga, si las partes exteriores tienen agujeros entonces deberán colocarse roldanas.
- e) Los agujeros alargados podrán usarse solo en partes comunes a cada superficie de la falla individual, tanto en juntas de fricción o de aplastamiento. Cuando se usan en partes exteriores deberá utilizarse una solera continua, con agujeros estándar de tamaño suficiente para cubrir por completo el agujero alargado. La solera será de acero de no menos de 8 mm de grueso.

Cuando la longitud del agujero es menor que la permitida puede disminuirse en la mitad de la diferencia de la longitud máxima permisible y la longitud real del agujero.

Si la deformación alrededor de los agujeros bajo cargas de servicio se considera;
 $R_N = 1.2L_c t F_u \leq 2.4 dt F_u$, y para tornillos en una conexión con agujeros alargados perpendiculares a la línea de fuerza es;

$$R_N = 1.0 L_c t F_u \leq 2.0 dt F_u$$

Donde:

L_c .- Distancia libre en la dirección de la fuerza entre los bordes de los agujeros.

d .- Diámetro nominal del tornillo.

F_u .- Esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del material.

t .- Grosor de la parte conectada.

La resistencia total al aplastamiento es igual a la resistencia de las sumas totales de los tornillos individuales.

SEPARACIÓN MÍNIMA

La distancia entre centros de agujeros para remaches o tornillos, ya sean estándares, sobre dimensionados o alargados no será menor que 3 veces el diámetro nominal del conector, de ser necesario esta distancia puede disminuirse a $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro nominal.

DISTANCIA MÍNIMA AL BORDE

La distancia mínima del centro del agujero estándar al borde no será menor que la indicada en la siguiente tabla.

Distancia mínima del centro de un agujero estándar¹ al borde de la parte conectada²

| Diámetro nominal del remache o tornillo | | Bordes cortados con cizalla | | Bordes laminados de perfiles, placas o soleras. O bordes cortados con soplete ³ | |
|---|-----------------|-----------------------------|----------------------|---|-------|
| mm | Pulg. | mm | Pulg. | mm | Pulg. |
| 12.7 | 1/2 | 22.2 | 7/8 | 19.1 | 3/4 |
| 15.9 | 5/8 | 28.6 | 1 1/8 | 22.2 | 7/8 |
| 19.1 | 3/4 | 31.8 | 1 1/4 | 25.4 | 1 |
| 22.2 | 7/8 | 38.1 | 1 1/2 ⁽⁴⁾ | 28.6 | 1 1/8 |
| 25.4 | 1 | 44.5 | 1 3/4 ⁽⁴⁾ | 31.8 | 1 1/4 |
| 28.6 | 1 1/8 | 50.8 | 2 | 38.1 | 1 1/2 |
| 31.8 | 1 1/4 | 57.2 | 2 1/4 | 41.3 | 1 5/8 |
| mayor que 31.8 | mayor que 1 1/4 | 1.75 × Diámetro | | 1.25 × Diámetro | |

¹ Pueden utilizarse distancias menores

² Para agujeros sobredimensionados o alargados los valores de esta tabla se incrementarán en las cantidades C_1

³ Todas las distancias al borde de esta columna pueden reducirse en 3 mm (1/8 pulg.) cuando el agujero está en un punto en el que los esfuerzos no exceden del 25 por ciento del esfuerzo máximo permisible en el elemento.

⁴ Pueden reducirse a 31.8 mm (1 1/4 pulg.) en los extremos de ángulos y placas de cortante de conexión de vigas.

Si el agujero es sobre dimensionado o alargado la distancia del centro al borde no será menor que la indicada anteriormente más el incremento que nos especifica la siguiente tabla.

Valores del incremento de la distancia al borde, C₁

| Diámetro nominal del tornillo, d | | Agujeros sobre dimensionados | | Agujeros alargados | | | |
|----------------------------------|---------|------------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------|---|
| | | | | Perpendiculares al borde | | Paralelos al borde | |
| | | | | Cortos | | | |
| mm | Pulg. | mm | Pulg. | mm | Pulg. | | |
| ≤ 22.2 | ≤ 7/8 | 1.5 | 1/16 | 3.2 | 1/8 | | |
| 25.4 | 1 | 3.2 | 1/8 | 3.2 | 1/8 | 0.75d | 0 |
| ≥ 28.6 | ≥ 1 1/8 | 3.2 | 1/8 | 4.8 | 3/16 | | |

¹ Cuando la longitud del agujero es menor que la máxima permisible, C₁ puede disminuirse en la mitad de la diferencia entre la longitud máxima permisible y la longitud real del agujero.

La distancia máxima de un agujero al borde más cercano será de 12 veces el grueso de la parte conectada pero sin exceder de 150mm, la separación longitudinal de conectores en contacto continuo será la siguiente.

- a) Para elementos pintados o sin pintar, no sujetos a corrosión no excederá de 300 mm.
- b) Para miembros no pintados de acero intemperizable sujetos a corrosión no excederá de 180 mm.

CAPITULO VI (IMCA)

SOLDADURA

TAMAÑO MÍNIMO Y MÁXIMO DE LA SOLDADURA DE FILETE Y SOLDADURAS DE PENETRACIÓN PARCIAL

El tamaño mínimo de la soldadura de filetes será mostrado en la tabla a continuación.

Tamaño mínimo de las soldaduras de filete en mm.

| Espesor más grueso de las partes unidas, en mm. | Tamaño ^a mínimo de la soldadura de filete, en mm. |
|---|--|
| Hasta 6 inclusive | 3 |
| Más de 6 a 13 | 5 |
| Más de 13 a 19 | 6 |
| Más de 19 | 8 |

a.- dimensión del cateto de la soldadura de filete.

El espesor mínimo de la garganta para la penetración de la soldadura se muestra a continuación.

Espesor mínimo efectivo de garganta de soldaduras de penetración parcial, en mm.

| Espesor más grueso de las partes unidas en mm. | Espesor mínimo efectivo de garganta, en mm. |
|--|---|
| Hasta 6 inclusive | 3 |
| Más de 6 a 13 | 5 |
| Más de 13 a 19 | 6 |
| Más de 19 a 38 | 8 |

| | |
|-----------------|----|
| Más de 38 a 57 | 10 |
| Más de 57 a 150 | 13 |
| Más de 150 | 16 |

El tamaño de una soldadura es establecida por la más gruesa de las uniones, siendo no necesario, que el tamaño de la soldadura exceda el espesor de la parte unida. La menos que el diseño calculado requiera de mayor aportación de soldadura, recomendando para este caso suministrar precalentamiento a nuestra estructura para obtener una soldadura de alta calidad.

Para el tamaño máximo de soldadura en filete no será que el espesor de nuestros materiales unidos cuando el espesor sea menor de 6 mm. Para espesores mayores, será de 1.6 mm menos que el espesor al no ser que en el plano se indique mayor tamaño.

LONGITUD DE SOLDADURA DE FILETE

La longitud mínima efectiva, será el área efectiva de la soldadura de filete y se tomará como el producto de su longitud por el espesor efectivo de garganta, excepto en agujeros redondos agujeros alargados. El espesor de la garganta en soldaduras de filetes será la distancia entre la parte más corta de la raíz y la cara de la soldadura en una sección transversal a excepción de las hechas por arco sumergido, cuando su tamaño es igual o menor de 10 mm y para las mayores a esta medida la garganta efectiva será igual a la garganta teórica más 3 mm.

Para soldaduras de filete en agujeros la longitud efectiva será la longitud del eje de la soldadura en el centro del plano que atraviesa la garganta y en el caso de filetes traslapados, el área efectiva no excederá el área nominal de la sección transversal al plano de la superficie de la unión. Una soldadura de filete diseñada en función de su resistencia, no será menor de 4 veces su tamaño nominal, el tamaño de la soldadura se tomará como no mayor que la cuarta parte de su longitud efectiva.

Cuando se utilizan sólo soldaduras longitudinales de barras a tensión, la longitud de la soldadura no será menor que la distancia perpendicular entre ellas y la separación transversal no será mayor de 200 mm en la conexión en los extremos, si es que el propio diseño no evita deformación transversal excesiva en la conexión.

Se podrán emplear soldaduras de filete intermitentes para transmitir los esfuerzos calculados a través de la unión o superficies en contacto, cuando la resistencia requerida es menor que la desarrollada por una soldadura del menor tamaño permitido.

También se pueden usar soldaduras de filete intermitentes para unir los componentes armados. La longitud de cualquier segmento de esta soldadura no será menor que 4 veces el tamaño de la soldadura con un mínimo de 40 mm.

REMATES EN EXTREMOS DE SOLDADURA

Cuando las soldaduras terminan en el extremo se rematarán dando vuelta a la esquina en forma continua por una distancia no menor que dos veces el tamaño nominal de la soldadura.

Esta recomendación se aplicará a las soldaduras de filete laterales que conectan ménsulas, asientos de vigas y conexiones similares, en el plano que contienen el eje alrededor del cual se calcula el momento de flexión. Los remates de soldadura se indicarán en los planos de diseño y en los de taller.

SOLDADURAS EN AGUJEROS Y CAJAS

Se podrán emplear este tipo de soldaduras para transmitir fuerzas cortantes en juntas traslapadas ó para evitar el pandeo y para unir los elementos que forman los miembros armados.

El traslape mínimo será de 5 veces el espesor de la parte más delgada de la junta, pero no menos de 25 mm.

Las juntas traslapadas que unen placas ó barras sometidas a esfuerzos axiales serán soldadas a lo largo de los extremos de ambos traslapes, excepto donde la deformación de las partes traslapadas está suficientemente restringida para evitar que se abra la junta bajo la carga máxima.

SOLDADURA DE TAPÓN Y DE CAJA

Se podrán emplear soldaduras de tapón ó de caja para transmitir las fuerzas cortantes para evitar el pandeo de partes traslapadas y para unir los elementos en miembros armados.

El diámetro del agujero para una soldadura de tapón no será menor que el espesor de la parte que la contiene, más 8 mm, ni mayor de 2.25 veces el espesor del metal de aporte.

La distancia mínima de centro a centro de las soldaduras de tapón será 4 veces el diámetro del agujero.

La longitud de la caja para una soldadura no excederá de 10 veces el espesor de la parte que la contiene, más 8 mm, ni será mayor de 2.25 veces el espesor del metal de aporte. Se recomienda que en los extremos de la caja serán semicirculares o tendrán redondeadas las esquinas, con un radio no menor del espesor de la parte que la contiene excepto los extremos que se extiendan hasta los bordes.

La distancia mínima entre las líneas de soldaduras de caja en dirección transversal a su longitud será 4 veces el ancho de la caja. La distancia mínima centro a centro en dirección longitudinal en cualquier línea será dos veces la longitud de la caja.

El espesor de las soldaduras de tapón ó de caja en materiales con espesor de 16 mm ó menos, será igual al espesor del material. En materiales de más de 16 mm de espesor será por lo menos igual a la mitad del espesor del material pero no menor de 16 mm.

CAPITULO VI (NTCGDF) SOLDADURA

TAMAÑO MÍNIMO Y MÁXIMO DE LA SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL.

El tamaño efectivo mínimo de una soldadura de penetración parcial queda determinado por la más gruesa de las partes unidas, pero no es necesario exceda el grueso de la parte más delgada además de la indicada a continuación.

Tamaños mínimos efectivos de la garganta de soldaduras de penetración parcial

| Espesor de la más gruesa de las partes unidas mm (pulg.) | Tamaño efectivo mínimo de la garganta mm (pulg.) |
|---|---|
| menor o igual que 6.3 ($\leq 1/4$) | 3.2 ($1/8$) |
| Más de 6.3 hasta 12.7 ($1/4$ a $1/2$) | 4.8 ($3/16$) |
| Más de 12.7 hasta 19.1 ($1/2$ a $3/4$) | 6.3 ($1/4$) |
| Más de 19.1 hasta 38.1 ($3/4$ a $1 1/2$) | 7.9 ($5/16$) |
| Más de 38.1 hasta 57 ($1 1/2$ a $2 1/4$) | 9.5 ($3/8$) |
| Más de 57 hasta 152 ($2 1/4$ a 6) | 12.7 ($1/2$) |
| Mayor que 152 (> 6) | 15.9 ($5/8$) |

Para el tamaño efectivo mínimo de una soldadura de penetración parcial queda determinado por la más gruesa de las partes unidas, pero no es necesario exceder el grueso de la parte más delgada. El principal objeto de este requisito es el evitar cambios que perjudiquen la estructura cristalina del acero, producidos por el rápido de las soldaduras pequeñas depositadas en materiales gruesos además de las indicadas en la siguiente tabla.

Tamaños mínimos efectivos de la garganta de soldaduras de penetración parcial

| Espesor de la más gruesa de las partes unidas mm (pulg.) | Tamaño efectivo mínimo de la garganta mm (pulg.) |
|---|---|
| menor o igual que 6.3 ($\leq 1/4$) | 3.2 ($1/8$) |
| Más de 6.3 hasta 12.7 ($1/4$ a $1/2$) | 4.8 ($3/16$) |
| Más de 12.7 hasta 19.1 ($1/2$ a $3/4$) | 6.3 ($1/4$) |
| Más de 19.1 hasta 38.1 ($3/4$ a $1 1/2$) | 7.9 ($5/16$) |
| Más de 38.1 hasta 57 ($1 1/2$ a $2 1/4$) | 9.5 ($3/8$) |
| Más de 57 hasta 152 ($2 1/4$ a 6) | 12.7 ($1/2$) |
| Mayor que 152 (> 6) | 15.9 ($5/8$) |

Para el tamaño máximo de las soldaduras de filete colocadas a lo largo de los bordes o uniones será; en los bordes de material grueso menor que 6.3 mm ($1/4$ pulg), será el grueso del material y en los bordes iguales o mayores de esta medida será el grueso del material menos 1.5 mm ($1/16$ pulg.), excepto cuando exista indicación en los planos de fabricación que la soldadura debe obtener un tamaño igual al grueso del material. La distancia recomendada en este caso será el borde de la depositada y el de la placa puede ser menor que 1.5 mm pero el tamaño de la soldadura podrá verificarse sin dificultad.

RESISTENCIA DE DISEÑO

- a) La resistencia de diseño de las soldaduras es igual al menor de los productos FR FMB AMB y FR FS AS, donde;

FMB y Fs son, respectivamente, las resistencias nominales del metal base y del metal del electrodo.

AMB y AS son el área de la sección transversal del metal base y el área efectiva de la soldadura.

FR es el factor de resistencia. En la tabla 5.5 se proporcionan los valores de FR , FMB, FS y demás información pertinente.

- b) En lugar de utilizar las resistencias de diseño, constantes, de la tabla 5.5, la resistencia de las soldaduras de filete puede determinarse con el procedimiento alternativo que se describe a continuación.

1) La resistencia de diseño de un grupo de soldaduras lineales, cargadas en un plano, a través del centro de gravedad del grupo, es $FR F_s A_s$, donde $F_s = 0.60FEXX (1.0 + \text{sen} 1.5 \theta)$

Donde:

FR se toma igual a 0.75;

Fs resistencia nominal de la soldadura;

FEXX número de clasificación del electrodo;

θ ángulo entre la línea de acción de la carga y el eje longitudinal de la soldadura, en grados;

y

As área efectiva de la soldadura.

2) El conjunto de soldaduras cargadas en su plano puede diseñarse utilizando un método basado en el empleo de un centro instantáneo de rotación Las soldaduras utilizadas en estructuras que deban ser capaces de soportar un número grande de repeticiones de carga durante su vida útil se diseñarán teniendo en cuenta la posibilidad de falla por fatiga.

CONCLUSIONES.

Los sismos representan uno de los más graves peligros naturales para la vida del planeta, a través del tiempo han causado la destrucción de incontables ciudades y poblaciones alrededor del mundo, por esta razón fue nuestro interés en el tema que presentamos.

Ciertamente no es el único fenómeno de la naturaleza que daña las construcciones, también el viento así como una mala ejecución en la obra, aun así es evidente e imposible evitar los daños por la naturaleza, es cierto que la población entera puede ser puesta salvo, pero no sucede lo mismo con las estructuras que determinan la gran parte de construcciones en una sociedad y cuya destrucción puede ser inevitable, porque es necesario que el ingeniero tenga la experiencia, como la facilidad y actitud de actualizarse día a día, ya que cualquier estructura puede ser afectada a través del tiempo.

Debido a la gran amplitud del tema tratado, es muy probable que a partir de que el lector haya tenido una comprensión cabal del material general, el texto será consultado de vez en cuando y por supuesto las sugerencias para su mejoramiento serán bien recibidas.