

ALCANCE DIGITAL N° 94



Año CXXXIV

San José, Costa Rica, viernes 13 de julio del 2012

N° 136

PODER EJECUTIVO

DECRETOS

N° 37070-MIVAH-MICIT-MOPT

“CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010”
(CONSTA DE VEINTE TOMOS)

TOMO XI

2012
Imprenta Nacional
La Uruca, San José, C. R.

CONSTRUIMOS UN PAÍS SEGURO



Gobierno de Costa Rica

1. Placas de refuerzo en contacto directo con el alma

En este caso las placas de refuerzo deben ser conectadas a las alas de la columna usando soldaduras continuas de penetración total o de filete. Estas soldaduras deben ser suficientes para que permitan desarrollar la capacidad nominal en cortante de las placas de refuerzo. Cuando no se utilicen placas de continuidad, los costados superior e inferior de la placa de refuerzo deben ser conectados al alma de la columna con una soldadura de filete continua. Esta soldadura debe ser suficiente para que permita desarrollar el porcentaje de la fuerza total que se transmite a la placa de refuerzo, a menos que tanto las placas de refuerzo como el alma de la columna cumplan con el espesor mínimo indicado en 10.5.3.6(e)ii.

2. Placas de refuerzo separadas del alma

En este caso las placas de refuerzo deben ser conectadas a las alas de la columna usando soldaduras continuas de penetración total. Las placas deben ser colocadas en pares simétricos y ubicarse en la zona delimitada por $1/3$ y $2/3$ de la distancia entre la línea centro de la columna y el extremo del ala de la viga.

3. Placas de refuerzo cuando hay placas de continuidad

En este caso las placas de refuerzo deben ser conectadas a las placas de continuidad usando soldaduras continuas. Estas soldaduras deben ser suficientes para que permitan desarrollar la fracción de la fuerza total que se transmite a la placa de refuerzo.

4. Placas de refuerzo cuando no hay placas de continuidad

Cuando no se utilicen placas de continuidad, las placas de refuerzo del alma deben extenderse un mínimo de 150 mm por arriba y por debajo de las alas de la viga conectada de mayor altura.

f. Placas de continuidad

En todos los nudos viga-columna se debe proveer placas de continuidad, según las disposiciones del inciso B.2.4.4 del anexo B. El espesor de las placas de continuidad debe ser determinado según los requisitos del inciso B.2.4.4.a. El espesor de la placa de continuidad también debe ser congruente con los requisitos del anexo B específicos para la conexión precalificada correspondiente.

g. Empalmes de columna

Los empalmes de columna deben satisfacer los requisitos del inciso 10.4.2.5.

En empalmes soldados, las soldaduras deben ser de penetración total.

En empalmes empernados, la resistencia requerida en flexión debe ser al menos igual a $R_y F_y Z_x$ de la columna más pequeña conectada.

La resistencia requerida en cortante del empalme de almas debe ser al menos igual a $\sum M_{pc} / H$, donde $\sum M_{pc}$ es igual a la suma de las capacidades plásticas nominales de las columnas empalmadas.

10.5.3.7 Elementos y conexiones que no formen parte del sistema sismorresistente

Los elementos y conexiones que no formen parte del *sistema sismorresistente* deben cumplir con las disposiciones del inciso 10.4.3.

10.5.4 Marcos especiales a base de armaduras (STMF)

10.5.4.1 Alcance

Los *sistemas sismorresistentes* de marcos especiales a base de armaduras (STMF) de acero estructural deben ser diseñados de acuerdo con los lineamientos de este inciso.

10.5.4.2 Criterios de diseño

Los *sistemas sismorresistentes* de marcos especiales a base de armaduras (STMF) deben ser diseñados para soportar deformaciones inelásticas importantes en el *segmento especial* con el *sismo de diseño*. Los sistemas de STMF pueden ser utilizados en estructuras con luces entre columnas menores que 20 m. Además, la altura total de la viga-armadura no puede ser mayor que 1.8 m. Las columnas y los segmentos de la armadura fuera del *segmento especial* deben ser diseñados para permanecer elásticos bajo el efecto de las fuerzas generadas por el *segmento especial* plastificado y endurecido por deformación.

10.5.4.3 Requisitos de análisis

Para el análisis de los *sistemas sismorresistentes* a base de STMF se deben satisfacer los siguientes requisitos:

a. Segmento especial

La capacidad requerida en cortante vertical del *segmento especial* se debe calcular utilizando las combinaciones de carga [6-1] a [6-4].

b. Segmento no especial

La capacidad requerida de los elementos y conexiones que están fuera del *segmento especial*, se debe calcular utilizando las combinaciones de carga [6-1] a [6-4], pero siguiendo los conceptos de diseño por capacidad, se debe remplazar el efecto de la carga sísmica CS por los efectos generados por el desarrollo de la capacidad esperada en cortante vertical del *segmento especial*, actuando en la mitad del

segmento especial. Se deben incluir, además, los efectos de segundo orden con la deriva máxima de diseño.

La capacidad esperada en cortante vertical del *segmento especial* está dada por:

$$V_{ne} = \frac{3.60R_y M_{nc}}{L_s} + 0.036EI \frac{L}{L_s^3} + R_y (P_{nt} + 0.3P_{nc}) \sin \alpha \quad [10-16]$$

donde:

M_{nc} = capacidad nominal en flexión de la *cuerda* del *segmento especial*.

E = módulo de elasticidad de la *cuerda* del *segmento especial*.

I = momento de inercia de la *cuerda* del *segmento especial*.

L = longitud del claro de la viga-armadura.

L_s = longitud del *segmento especial*.

P_{nt} = capacidad nominal en tracción de la diagonal del *segmento especial*.

P_{nc} = capacidad nominal en compresión de la diagonal del *segmento especial*.

α = ángulo de los elementos diagonales de la viga-armadura con la horizontal, en grados

10.5.4.4 Razones mínimas de esbeltez

Las cuerdas y las diagonales del *segmento especial* deben satisfacer los requisitos del inciso 10.4.1.1(b) para *elementos de ductilidad óptima*. La razón del ancho entre el espesor de los elementos diagonales tipo pletina no puede exceder 2.5.

10.5.4.5 Otros requisitos

Los requisitos adicionales para el sistema de STMF, incluidos aquellos para la estabilidad de las armaduras, las conexiones de los elementos, las uniones armadura-columna, los elementos del *segmento especial*, las razones de esbeltez mínimas y las zonas protegidas, se encuentran en las secciones E4.4 a E4.6 de la referencia 3.

10.5.4.6 Elementos y conexiones que no formen parte del sistema sismorresistente

Los elementos y conexiones que no formen parte del *sistema sismorresistente* deben cumplir con las disposiciones del inciso 10.4.3.

10.6 Marcos arriostrados

10.6.1 Marcos ordinarios arriostrados concéntricamente

10.6.1.1 Alcance

Los *sistemas sismorresistentes* a base de *marcos ordinarios arriostrados concéntricamente* (OCBF) de acero estructural deben ser diseñados de acuerdo con los lineamientos de este inciso. En la figura 10.3 se muestran diferentes configuraciones permitidas de marcos ordinarios arriostrados concéntricamente.

10.6.1.2 Criterios de diseño

Este inciso se aplica a los marcos arriostrados que estén compuestos por elementos conectados concéntricamente. Se permiten excentricidades menores que la altura de la viga siempre y cuando se hayan tomado en cuenta en el diseño calculando los momentos producto de la excentricidad con la *carga sísmica amplificada*, CS_a .

Se espera que los OCBF soporten deformaciones inelásticas mínimas en sus elementos y conexiones con el sismo de diseño.

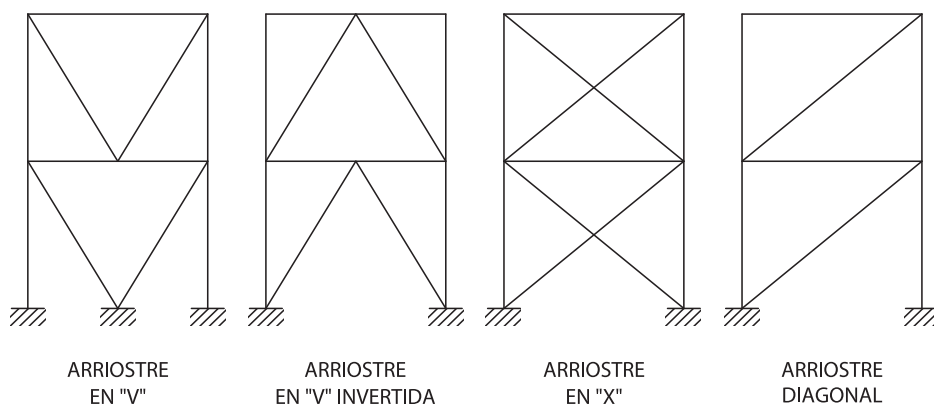


Figura 10.3. Configuraciones de arriostramiento permitidas por este código.

10.6.1.3 Requisitos de análisis

Para los *sistemas sismorresistentes* a base de OCBF no hay requisitos especiales de análisis adicionales a los especificados en el capítulo 7.

10.6.1.4 Requisitos del sistema

a. Marcos arriostrados en V o V invertida

Las vigas en marcos arriostrados OCBF en V o V invertida deben ser continuas y no se permiten empalmes en la conexión con la riostra

ubicada lejos de la conexión viga–columna. Adicionalmente se debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. La capacidad requerida de la viga debe calcularse utilizando las combinaciones de carga [6-1] a [6-4] sin considerar la riostra como un apoyo para soportar las cargas permanentes y temporales. Para las combinaciones de carga que consideran el efecto del sismo, la fuerza sísmica debe calcularse de la siguiente manera:
 - i. La fuerza en tracción en la riostra debe suponerse como la menor de:
 - a. La capacidad en cedencia esperada de la riostra en tracción: $R_y F_y A_g$.
 - b. La demanda en tracción en la riostra calculada considerando la *carga sísmica amplificada*, CS_a .
 - c. La fuerza máxima que el sistema estructural pueda transferir a la riostra.
 - ii. La fuerza en compresión de la riostra debe suponerse igual a $0.3P_n$.

b. Marcos arriostrados en K

Los marcos arriostrados en forma de K no son permitidos en los OCBF (ver figura 10.1).

10.6.1.5 Elementos estructurales

a. Requisitos básicos

Las riostras deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1.1 para los *elementos con ductilidad moderada*.

b. Esbeltez

Las riostras en marcos arriostrados en V o V invertida deben cumplir con

$$KL / r \leq 4 \sqrt{E / F_y}$$

10.6.1.6 Conexiones

a. Conexión de la riostra

La capacidad requerida de la conexión de la riostra debe ser determinada mediante las combinaciones de carga [6-1] a [6-4], sustituyendo los efectos de la carga sísmica CS por la *carga sísmica amplificada*, CS_a . Sin embargo, la capacidad requerida de la conexión de la riostra no necesita exceder lo siguiente:

1. La fuerza máxima que el sistema estructural pueda transferir a la conexión

2. En tracción, la capacidad en cedencia esperada de la riostra, $R_y F_y A_g$.
3. En compresión, la capacidad esperada en compresión de la riostra. La capacidad esperada en compresión de la riostra se puede calcular como la menor entre $R_y F_y A_g$ y $1.14 F_{cre} A_g$, donde F_{cre} debe calcularse utilizando $R_y F_y$ en vez de F_y en las ecuaciones para F_{cr} que se indican en el capítulo E de la referencia 1. La longitud utilizada en el cálculo de F_{cre} no debe ser mayor que la longitud total de la riostra.
4. Cuando se utilicen *orificios con sobredimensión*, la capacidad requerida para el estado límite de deslizamiento se determina a partir de las combinaciones de carga sin utilizar la *carga sísmica amplificada*, CS_a .

10.6.1.7 Elementos y conexiones que no formen parte del sistema sismorresistente

Los elementos y conexiones que no formen parte del *sistema sismorresistente* deben cumplir con las disposiciones del inciso 10.4.3.

10.6.2 Marcos especiales arriostrados concéntricamente

10.6.2.1 Alcance

Los *sistemas sismorresistentes* a base de *marcos especiales arriostrados concéntricamente* (SCBF) de acero estructural deben ser diseñados de acuerdo con los lineamientos de este inciso. En la figura 10.3 se muestran diferentes configuraciones permitidas de marcos especiales arriostrados concéntricamente.

10.6.2.2 Criterios de diseño

Este inciso se aplica a los marcos arriostrados que estén compuestos por elementos conectados concéntricamente. Se permiten excentricidades menores que la altura de la viga siempre y cuando las fuerzas resultantes en los elementos y conexiones sean tomadas en cuenta en el diseño y no cambien la ubicación de las deformaciones inelásticas esperadas.

Se espera que los SCBF diseñados siguiendo los lineamientos aquí estipulados desarrollen una capacidad de deformación inelástica significativa primordialmente por medio de pandeo y cedencia en la riostra.

10.6.2.3 Requisitos de análisis

La capacidad requerida de las columnas, vigas y conexiones del SCBF deben basarse en las combinaciones de carga [6-1] a [6-4]. Adicionalmente, siguiendo los principios de diseño por capacidad, la demanda sísmica en las columnas, vigas y conexiones del SCBF se debe obtener de la capacidad

esperada de las riostras cuyo efecto debe calcularse como el mayor de los obtenidos según los siguientes dos análisis:

1. Un análisis del *sistema sismorresistente* donde se suponga que todas las riostras resisten las fuerzas correspondientes a su capacidad esperada en compresión o en tracción.
2. Un análisis del *sistema sismorresistente* donde se suponga que todas las riostras en tracción resistan las fuerzas correspondientes a su capacidad esperada y donde todas las riostras en compresión resistan las fuerzas esperadas posteriores al pandeo.

Para determinar si las riostras están en compresión o en tracción se deben despreciar los efectos de las cargas gravitacionales. Los análisis deben considerar las direcciones de la *carga sísmica*.

La capacidad esperada de la riostra en tracción debe ser tomada como $R_y F_y A_g$.

La capacidad esperada de la riostra en compresión debe ser la menor entre $R_y F_y A_g$ y $1.14 F_{cre} A_g$, donde F_{cre} debe calcularse utilizando $R_y F_y$ en vez de F_y en las ecuaciones para F_{cr} que se indican en el capítulo E de la referencia 1. La longitud utilizada en el cálculo de F_{cre} no debe ser mayor que la longitud total de la riostra.

La capacidad esperada posterior al pandeo de la riostra en compresión debe tomarse como máximo 0.3 veces la capacidad esperada en compresión.

10.6.2.4 Requisitos del sistema

a. Disposición de riostras

A lo largo de cualquier línea de riostras, estas deben alternar su dirección, de tal forma que, para cada dirección de fuerza horizontal paralela a la línea de riostras, por lo menos 30% y no más de 70% de la carga lateral sea resistida por riostras en tracción, a menos que la capacidad disponible de cada riostra en compresión sea mayor que la capacidad requerida que resulte de las combinaciones de carga utilizando la *carga sísmica amplificada*, CS_a . Para los efectos de este inciso, una línea de riostras se define como una única línea o varias líneas paralelas con una separación horizontal menor o igual al 10% de la dimensión del edificio medida perpendicularmente a la línea de riostras en cuestión.

b. Marcos arriostrados en V o V invertida

Las vigas que sean intersecadas por riostras más allá de la conexión viga-columna deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las vigas deben ser continuas entre columnas.
2. Las vigas deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1 para *elementos con ductilidad moderada*.

Cada intersección de riostras en los marcos arriostrados en V o V invertida requiere, como mínimo, un sistema doble de arriostramiento para estabilidad, uno por cada lado, a menos que se demuestre que la viga cuenta con suficiente rigidez y capacidad fuera del plano para asegurar su estabilidad entre puntos de arrioste adyacentes.

c. Marcos arriostrados en K

Los marcos arriostrados en forma de K no son permitidos en sistemas SCBF (ver figura 10.1).

d. Marcos arriostrados a base de riostras en tracción

Los marcos arriostrados a base de riostras únicamente en tracción no son permitidos en sistemas SCBF. Este tipo de marcos arriostrados son aquellos donde la capacidad en compresión de las riostras se desprecia en el análisis y diseño y las riostras son diseñadas únicamente para fuerzas en tracción.

10.6.2.5 Elementos estructurales

a. Requisitos básicos

Las columnas y las riostras deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1.1 para los *elementos con ductilidad óptima*. Las vigas deben cumplir con los requisitos en el inciso 10.4.1.1 para los *elementos con ductilidad moderada*.

b. Riostras diagonales

Las riostras diagonales deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las riostras deben satisfacer la relación de esbeltez $KL/r \leq 200$.
2. En las riostras armadas a partir de placas soldadas, la separación, L_s , entre *puntos de unión* (soldadura o pernos) debe satisfacer la relación $L_s/r_e < 0.4 L/r_{\min}$, donde $L/r_{\min}$ corresponde a la razón de esbeltez que gobierna el diseño del elemento armado. La capacidad total en cortante de los *puntos de unión* debe ser por lo menos igual a la capacidad en tracción de cada elemento. El espaciamiento de los *puntos de unión* debe ser uniforme a lo largo del elemento
3. El área neta efectiva de la riostra no debe ser menor que su área bruta. En los casos que se utilice refuerzo de la sección transversal de la riostra, el refuerzo debe cumplir con lo siguiente:
 - (i) El esfuerzo de cedencia mínimo del refuerzo debe de ser por lo menos igual al esfuerzo de cedencia mínimo de la riostra.
 - (ii) Las conexiones del refuerzo a la riostra deben contar con suficiente capacidad de tal forma que logren desarrollar la capacidad esperada del refuerzo en cada lado de la sección reducida.

c. Zonas protegidas

Las zonas protegidas de un *sistema sismorresistente* tipo SCBF deben satisfacer lo indicado en el inciso 10.4.1.3. Adicionalmente, las siguientes zonas se catalogan como zonas protegidas para los SCBF:

1. Para las riostras, el cuarto central de su longitud y una zona igual a la altura de la sección de la riostra en el plano de pandeo adyacente a cada conexión extrema.
2. Elementos que conectan riostras a vigas y columnas.

10.6.2.6 Conexiones

a. Soldaduras críticas por demanda

Las siguientes soldaduras son clasificadas como *soldaduras críticas por demanda*, y deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.1.3.4(b):

1. Soldaduras de penetración total en empalmes de columnas.
2. Soldaduras en las conexiones de placa de asiento de columnas, excepto en los casos donde se demuestre que las condiciones de rigidez en la conexión permitan un comportamiento articulado de la columna en la placa de asiento o cerca de ella. Además debe demostrarse que hay ausencia de fuerzas netas de tracción bajo las condiciones de carga incluyendo las *cargas sísmicas amplificadas*.
3. Soldaduras en conexiones viga-columna de acuerdo con lo indicado en el inciso 10.6.2.6(b)2.

b. Conexiones viga-columna

Cuando una riostra o placa de unión se conecte a la viga y a la columna en una conexión viga-columna, la conexión debe satisfacer una de las siguientes condiciones:

1. La conexión debe ser una conexión simple que cumpla con los requisitos indicados en la sección B3.6a de la referencia 1 donde la rotación requerida debe tomarse como 0.025 radianes.
2. La conexión debe ser diseñada para que resista un momento igual al menor de los siguientes valores:
 - (i) Un momento correspondiente a $1.1R_y F_y Z_y$ de la viga.

(ii) Un momento correspondiente a $\sum (1.1R_y F_y Z_c)$ de la columna.

Este momento debe combinarse con la capacidad requerida de la conexión de la riostra y de la conexión de la viga, incluyendo las fuerzas amplificadas de los elementos colectores del diafragma.

c. Capacidad requerida de conexión de la riostra

La capacidad requerida en tracción, compresión y flexión de la conexión de la riostra (incluida la conexión viga-columna en caso de que forme parte del marco arriostrado) debe calcularse como se indica en este inciso. Se permite considerar que las capacidades requeridas son independientes, o sea, sin interacción entre ellas.

1. Capacidad requerida en tracción

La capacidad requerida en tracción es la menor de las siguientes:

- (i) El esfuerzo de cedencia esperado, en tracción, de la riostra, calculado como $R_y F_y A_g$.
- (ii) La fuerza máxima que el sistema estructural pueda transferir a la riostra.

Cuando se utilicen *orificios con sobredimensión*, no es necesario que la capacidad requerida para el estado límite de deslizamiento crítico exceda la demanda calculada con las combinaciones de carga de [6-1] a [6-4] incluyendo la *carga sísmica amplificada*, CS_a .

2. Capacidad requerida en compresión

La conexión de la riostra debe ser diseñada para la capacidad en compresión requerida en el estado límite de pandeo, que es por lo menos igual a 1.1 veces la capacidad esperada en compresión de la riostra. La capacidad esperada en compresión de la riostra se define en el inciso 10.6.2.3.

3. Consideraciones con respecto al pandeo de la riostra

Las conexiones de la riostra diagonal deben diseñarse de tal forma que soporten las rotaciones y las fuerzas de flexión impuestas por el pandeo de la riostra. Se considera que las conexiones cumplen con este requisito si se satisface una de las siguientes condiciones:

- (i) Capacidad en flexión requerida: las conexiones de la riostra diagonal diseñadas para soportar las fuerzas en flexión impuestas por el pandeo de la riostra deben tener una capacidad disponible en flexión de al menos $1.1 R_y M_p$ de la riostra, con respecto al eje de pandeo crítico.
- (ii) Capacidad de rotación: las conexiones de la riostra diagonal deben tener suficiente capacidad rotacional para soportar las rotaciones impuestas por el pandeo de la riostra. Se permiten rotaciones inelásticas en la conexión.

d. Empalmes de columnas

Los empalmes de las columnas deben cumplir los requisitos indicados en el inciso 10.4.2.5. Cuando se utilicen soldaduras de penetración para realizar el empalme, deben ser de penetración total. Los empalmes deben

diseñarse para que logren desarrollar al menos el 50% de la menor de las capacidades disponibles en flexión de los elementos conectados.

La resistencia requerida en cortante del empalme de almas debe ser al menos igual a $\frac{\sum M_{pc}}{H_c}$, donde $\sum M_{pc}$ es la suma de las capacidades plásticas nominales de las columnas empalmadas.

10.6.2.7 Elementos y conexiones que no formen parte del sistema sismorresistente

Los elementos y conexiones que no formen parte del *sistema sismorresistente* deben cumplir con las disposiciones del inciso 10.4.3.

10.6.3 Marcos arriostrados excéntricamente

10.6.3.1 Alcance

Los *sistemas sismorresistentes* a base de *marcos arriostrados excéntricamente* (EBF) de acero estructural deben ser diseñados de acuerdo con los lineamientos de este inciso.

10.6.3.2 Criterios de diseño

Este inciso se aplica a aquellos *marcos arriostrados* donde el punto de concurrencia de las líneas de centro de las riostras diagonales no coincide con la línea centro de la viga, o en aquellos *marcos arriostrados* donde el punto de concurrencia de la línea de centro de la riostra con la línea de centro de la viga no coincide con el punto de concurrencia de la línea centro de la viga y la línea centro de la columna, formando un *acople*. El *acople* está sujeto a cortante y flexión. Se permiten excentricidades menores que la altura de la sección de la viga en la conexión de la riostra lejos del *acople* siempre y cuando las fuerzas resultantes en los elementos y conexiones sean tomadas en cuenta en el diseño y no cambien la ubicación de las deformaciones inelásticas esperadas.

Se espera que los EBF diseñados siguiendo los lineamientos aquí estipulados desarrollen una capacidad de deformación inelástica significativa primordialmente por medio de cortante y flexión en los *acoples*.

Se prefieren configuraciones donde el *acople* se localice en el centro de la viga entre riostras. Cuando los *acoples* se conecten directamente a las columnas, el diseño de la conexión *acople*-columna debe cumplir con lo estipulado en el inciso 10.6.3.6(e)1 y se debe demostrar su cumplimiento según lo que se indica en el inciso 10.6.3.6(e)2.

10.6.3.3 Requisitos de análisis

La capacidad requerida de las riostras diagonales y sus conexiones, vigas fuera del *acople* y columnas deben basarse en las combinaciones de carga [6-1] a [6-4]. Siguiendo los principios de diseño por capacidad, las demandas sísmicas se deben tomar como aquellas fuerzas desarrolladas en los elementos suponiendo que las fuerzas en los extremos de los *acoples* corresponden a la capacidad en cortante esperada. La capacidad en cortante ajustada del *acople* debe ser tomada como R_y veces la capacidad nominal en cortante del *acople* V_n , indicada en el inciso 10.6.3.5(b)2 multiplicada por 1.25 para *acoples* en sección tipo “I” o por 1.4 para *acoples* en sección rectangular.

Excepciones:

1. Para el cálculo de la demanda sísmica se permite considerarla como 0.88 veces las fuerzas calculadas anteriormente, para el diseño de los siguientes elementos:
 - i. Las porciones de viga fuera de los *acoples*.
 - ii. Las columnas en *marcos arriostrados* de tres o más *niveles*.
2. Para este cálculo, se permite despreciar las fuerzas de flexión producto de la *deriva* sísmica. Los momentos producidos por cargas laterales aplicadas a columnas entre puntos de apoyo lateral deben ser considerados en este cálculo.
3. La capacidad requerida de las columnas no necesita exceder lo siguiente:
 - i. Las fuerzas que correspondan a la resistencia de la fundación durante el levantamiento debido al volcamiento.
 - ii. Las fuerzas calculadas a partir de un análisis tal y como se define en el artículo 7.7.

El ángulo de rotación inelástico del *acople* debe calcularse con base en la porción inelástica del desplazamiento relativo (Δ_i) de diseño entre *niveles*. Alternativamente, el ángulo de rotación inelástico del *acople* se puede tomar de un análisis tal y como se define en el artículo 7.7.

10.6.3.4 Requisitos del sistema

a. Ángulo de rotación del acople

El ángulo del *acople* es el ángulo inelástico entre el *acople* y la viga fuera de este cuando el desplazamiento relativo total entre *niveles* sea igual al desplazamiento relativo de diseño entre *niveles* (Δ_i). El ángulo de rotación no debe exceder los siguientes valores:

1. 0.08 radianes para *acoples* con longitudes de $1.6 M_p / V_p$ o menores.
2. 0.02 radianes para *acoples* con longitudes de $2.6 M_p / V_p$ o mayores.

3. Valor determinado por interpolación lineal para las longitudes de *acoples* entre $1.6M_p/V_p$ y $2.6M_p/V_p$.

b. Arriostramiento para estabilidad del acople

Se deben colocar soportes laterales en las alas superior e inferior en ambos extremos del *acople* para secciones tipo “I”. Estos soportes laterales deben tener la capacidad y rigidez establecidas para zonas de rótula plástica en *elementos con ductilidad* óptima, indicadas en el inciso 10.4.1.2(c).

10.6.3.5 Elementos estructurales

a. Requisitos básicos

Las riostras diagonales deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1 para los *elementos con ductilidad* moderada.

Las columnas deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1 para los *elementos con ductilidad* óptima.

En los casos en que la sección de la viga fuera del *acople* sea diferente a la sección del *acople*, la viga debe cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1 para los *elementos con ductilidad* moderada.

b. Acoples

Para que el *sistema sismorresistente* sea considerado como un EBF, se deben utilizar *acoples* sometidos a cortante y a flexión producto de la excentricidad entre las intersecciones de las líneas centro de las riostras diagonales y la línea centro de la viga (o entre la intersección de las líneas centro de la riostra diagonal, la línea centro de la viga y la línea centro de la columna para *acoples* conectados a columnas). Se define *acople* como la longitud libre entre las conexiones de las riostras diagonales para *acoples* ubicados en el centro de las vigas, o la longitud libre de la conexión de la riostra diagonal a la cara de la columna de la conexión *acople*-columna, excepto según lo permita el inciso 10.6.3.6(c).

1. Limitaciones

Los *acoples* deben construirse a partir de secciones tipo “I” (roladas en caliente o fabricadas a base de placas soldadas), o secciones tipo cajón soldadas a base de placas. Las secciones de tubos *HSS* no deben utilizarse como *acoples*.

Los *acoples* deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.4.1 para los *elementos con ductilidad* óptima.

Excepción: se permite que las alas de *acoples* de secciones tipo “I” con longitud de *acople*, $e \leq 1.6M_p/V_p$ cumplan los requisitos indicados en el inciso 10.4.1 para los *elementos con ductilidad* moderada.

El alma o las almas de los *acoples* deben estar conformadas por una sola lámina, sin placas de refuerzo de alma y libres de perforaciones.

Si los *acoples* son fabricados a base de placas soldadas, se debe utilizar soldadura de penetración total para unir las almas a las alas.

Los *acoples* de sección tipo cajón soldadas a base de placas deben tener un momento de inercia, I_y , con respecto al eje en el plano del EBF, limitado a $I_y > 0.67I_x$, donde I_x es el momento de inercia con respecto al eje perpendicular al plano del EBF.

2. Resistencia en cortante

La *resistencia de diseño* en cortante del *acople*, $\phi_v V_n$, debe ser el menor de los valores obtenidos al evaluar los estados límites de cedencia por cortante en el alma del *acople* y cedencia en flexión de la sección del *acople*. Para ambos estados límites, el factor de reducción ϕ_v es de 0.9.

i. Cedencia en cortante del alma:

$$V_n = V_p \quad [10-17]$$

donde:

$$V_p = 0.6F_y A_{lw} \text{ para } P_u/P_y \leq 0.15 \quad [10-18]$$

$$V_p = 0.6F_y A_{lw} \sqrt{1 - (P_u/P_y)^2} \text{ para } P_u/P_y > 0.15 \quad [10-19]$$

$A_{lw} = (d - 2t_f)t_w$ para *acoples* a base de secciones "I".

$A_{lw} = 2(d - 2t_f)t_w$ para *acoples* a base de secciones tipo cajón soldadas a base de placas.

P_u = capacidad axial requerida.

$P_y = F_y A_g$ = capacidad nominal axial en cedencia.

ii. Cedencia en flexión de la sección:

$$V_n = 2M_p / e \quad [10-20]$$

donde:

$$M_p = F_y Z \text{ para } P_u/P_y \leq 0.15 \quad [10-21]$$

$$M_p = F_y Z \left(\frac{1 - P_u/P_y}{0.85} \right) \text{ para } P_u/P_y > 0.15 \quad [10-22]$$

e = Longitud del *acople*, definida como la longitud libre medida entre los extremos de dos riostras o entre el extremo de una riostra y la cara de la columna.

3. Longitud del *acople*

Si la relación $P_u/P_y > 0.15$, la longitud del *acople* no debe exceder lo siguiente:

Cuando $\rho' \leq 0.5$

$$e \leq 1.6M_p / V_p \quad [10-23]$$

Cuando $\rho' > 0.5$

$$e \leq (1.6M_p / V_p)(1.15 - 0.3\rho') \quad [10-24]$$

donde:

$$\rho' = \frac{P_u / P_y}{V_u / V_y} \quad [10-25]$$

V_u = capacidad requerida en cortante.

$V_y = 0.6F_y A_{tw}$ capacidad nominal en cedencia por cortante.

4. Rigidizadores para *acoples* de sección transversal tipo "I"

Se deben colocar rigidizadores de altura completa en ambos lados del alma del *acople* en las uniones con las riostras diagonales. Los rigidizadores deben tener un ancho combinado no menor que $b_f - 2t_w$ y un espesor no menor que $0.75t_w$ o 9.5 mm, donde b_f y t_w son el ancho de ala y espesor de alma del *acople*, respectivamente.

Se deben colocar rigidizadores de alma intermedios en los *acoples* como se indica a continuación:

- i. Los *acoples* con longitudes iguales o menores que $1.6M_p/V_p$, deben tener rigidizadores intermedios espaciados a no más de $(30t_w - d/5)$ para rotaciones de 0.08 radianes o $(52t_w - d/5)$ para rotaciones de 0.02 radianes o menores. Se debe utilizar interpolación lineal para valores entre 0.08 y 0.02 radianes.
- ii. Los *acoples* con longitudes mayores que $2.6M_p/V_p$ y menores que $5M_p/V_p$ se debe colocar un rigidizador intermedio en cada extremo del *acople*, a una distancia no mayor que $1.5b_f$ medido desde cada extremo del *acople*.
- iii. Los *acoples* con longitudes entre $1.6M_p/V_p$ y $2.6M_p/V_p$ deben tener rigidizadores intermedios espaciados a una distancia que cumpla con los requisitos i y ii.
- iv. En *acoples* con longitudes mayores que $5M_p/V_p$, no se requieren rigidizadores intermedios.

En caso de requerirse, los rigidizadores intermedios deben ser de altura completa. Para *acoples* de menos de 635 mm de altura, se

pueden colocar rigidizadores en un solo costado del alma del *acople*, su espesor no debe ser menor que el mayor valor de t_w o 9.5 mm y su ancho no debe ser menor que $[(b_f/2)-t_w]$. Para *acoples* con alturas mayores a 635 mm, se debe colocar rigidizadores intermedios similares en ambos costados del alma del *acople*.

La capacidad requerida de las soldaduras de filete que unen los rigidizadores al alma del *acople* debe ser $F_y A_{st}$, donde A_{st} es el área transversal horizontal del rigidizador. La capacidad requerida de las soldaduras de filete que unen los rigidizadores a las alas del *acople* debe ser $(A_{st} F_y / 4)$.

5. Rigidizadores para *acoples* de sección tipo cajón soldadas a base de placas

Se debe colocar rigidizadores de altura completa en uno de los lados del alma del *acople* en las uniones con las riostras diagonales. Es permitido soldar dichos rigidizadores en la cara externa o en la cara interna de las almas del *acople*. Cada rigidizador debe tener un ancho no menor que $b/2$, donde b es el ancho interno del cajón. Los rigidizadores deben tener un espesor no menor que el mayor de $0.75t_w$ o 12.7 mm.

Se debe colocar rigidizadores de alma intermedios en los *acoples* con sección transversal de este tipo de sección como se indica a continuación:

- i. Los *acoples* con longitudes iguales o menores que $1.6M_p/V_p$, y con razón de esbeltez altura/espesor de alma (h/t_w) igual o mayor que $0.64\sqrt{E/F_y}$, deben tener rigidizadores intermedios de altura completa en uno de los lados de cada alma del *acople*, espaciados a no más de $(20t_w - (d-2t_f)/8)$.
- ii. Los *acoples* con longitudes iguales o menores que $1.6M_p/V_p$, y con razón de esbeltez altura/espesor de alma (h/t_w) menor que $0.64\sqrt{E/F_y}$, no requieren rigidizadores intermedios.
- iii. Los *acoples* con longitudes mayores que $1.6M_p/V_p$ no requieren de rigidizadores intermedios.

En caso de requerirse, los rigidizadores intermedios deben ser de altura completa. Es permitido soldarlos a la cara externa o interna de las almas del *acople*.

La capacidad requerida de las soldaduras de filete que unen los rigidizadores al alma del *acople* debe ser $F_y A_{st}$, donde A_{st} es el área transversal horizontal del rigidizador.

c. Zonas protegidas

Los acoples de un EBF son catalogados como zonas protegidas y deben satisfacer lo indicado en el inciso 10.4.1.3.

10.6.3.6 Conexiones

a. Soldaduras críticas por demanda

Las siguientes soldaduras son clasificadas como *soldaduras críticas por demanda* y deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso 10.1.3.4(b):

1. Soldaduras de penetración total en empalmes de columnas.
2. Soldaduras en las conexiones de placa de asiento de columnas.

Excepción: No son necesarias las *soldaduras críticas por demanda* cuando se demuestre que las condiciones de rigidez en la conexión permiten un comportamiento articulado de la columna en la placa de asiento o cerca de ella. Además debe demostrarse que hay ausencia de fuerzas netas en tracción bajo las condiciones de carga, incluyendo la *carga sísmica amplificada*, CS_a .

3. Soldaduras en conexiones viga-columna que cumplan lo indicado en el inciso 10.6.3.6(b)2.
4. Soldaduras que unan las alas y almas del *acople* a la columna, en los casos que los *acoples* se conecten a las columnas.
5. Soldaduras que unan las almas a las alas de *acoples* con sección transversal fabricada a base de placas soldadas.

b. Conexiones viga-columna

Cuando una riostra o placa de unión se conecte a la viga y a la columna en una conexión viga-columna, la conexión debe satisfacer una de las siguientes condiciones:

1. La conexión es una conexión simple que cumple con los requisitos indicados en la sección B3.6a de la referencia 1 donde la rotación requerida se toma como 0.025 radianes.
2. La conexión es diseñada para que resista un momento que actúa simultáneamente con la capacidad requerida de la conexión de la riostra, igual al menor de los siguientes valores:
 - i. Un momento correspondiente a $1.1R_y F_y Z_v$ de la viga
 - ii. Un momento correspondiente a $\sum (1.1R_y F_y Z_v)$ de la columna

Este momento debe combinarse con la capacidad requerida de la conexión de la riostra y de la conexión de la viga, incluyendo las cargas sísmicas amplificadas de los elementos *colectores* del *diafragma*.

c. Conexiones de riostras diagonales

Cuando se utilicen *orificios con sobredimensión*, no es necesario que la capacidad requerida para el estado límite de deslizamiento crítico exceda la demanda calculada con las combinaciones de carga de [6-1] a [6-4] incluyendo la *carga sísmica amplificada*, CS_a .

Aquellas conexiones de riostras diagonales que hayan sido diseñadas para resistir una porción del momento en el extremo del *acople* deben ser diseñadas como conexiones rígidas.

d. Empalmes de columnas

Los empalmes de las columnas deben cumplir los requisitos indicados en el inciso 10.4.2.5. Cuando se utilicen soldaduras de penetración para realizar el empalme, deben ser de penetración total. Los empalmes deben ser diseñados para que logren desarrollar al menos el 50% de la menor de las capacidades disponibles en flexión de los elementos conectados.

La *resistencia requerida* en cortante del empalme de almas debe ser al menos igual a $\frac{\sum M_{pc}}{H_c}$, donde $\sum M_{pc}$ es la suma de las capacidades

plásticas nominales de las columnas empalmadas $F_{yc} z_c$ y H_c es la altura libre de la columna entre conexiones con las vigas (incluye la losa, en caso de que exista).

e. Conexión acople-columna

1. Requisitos

Las conexiones acople-columna deben ser conexiones rígidas y deben satisfacer los siguientes requisitos:

- i. Las conexiones deben ser capaces de ajustarse al ángulo de rotación del acople indicado en el inciso 10.6.3.4(a).
- ii. La resistencia en cortante de la conexión, medida cuando se alcance el ángulo de rotación requerido del acople, debe ser al menos igual a la capacidad esperada en cortante del acople, V_n , tal y como se define en el inciso 10.6.3.3.
- iii. La resistencia en flexión de la conexión, medida cuando se alcance el ángulo de rotación requerido del acople, debe ser al menos igual al momento correspondiente a la capacidad nominal en cortante del acople, V_n , tal y como se define en el inciso 10.6.3.5(b)2.

2. Demostración de conformidad

Para demostrar que las conexiones *acople*-columna cumplen con los requisitos del inciso anterior, se puede utilizar alguno de los siguientes métodos:

- i. Utilizar las conexiones precalificadas para EBF descritas en la sección K1 de la referencia 3.
- ii. Entregar resultados experimentales bajo cargas cíclicas que cumplan los límites especificados en la sección K2 de la referencia 3. Se deben entregar al menos dos estudios experimentales y se pueden utilizar:
 1. Ensayos reportados en la literatura o ensayos documentados para otros proyectos, siempre que las condiciones sean similares y se cumplan los límites especificados en la sección K2 de la referencia 3.
 2. Ensayos realizados para el proyecto específico, siempre que sean representativos del tamaño de los elementos, la resistencia de los materiales, la configuración de las conexiones y los procesos de construcción, y se cumplan los límites especificados en la sección K2 de la referencia 3.

Excepción: no se requieren estudios experimentales sobre el comportamiento bajo carga cíclica de la conexión si se cumplen las siguientes condiciones:

- i. Se dispone de un refuerzo en la conexión viga-columna en el extremo del *acople* de tal forma que se previene la cedencia de la viga a lo largo de la porción de la viga reforzada.
- ii. La capacidad disponible de la porción de la viga reforzada y de la conexión es igual o mayor que la capacidad requerida calculada con base en la capacidad en cortante ajustada del *acople*, tal y como se indica en el inciso 10.6.3.3.
- iii. La longitud del *acople*, medida como el segmento de viga comprendido entre el extremo de la porción de viga reforzada y el extremo de la conexión de la viga con la riostra, es menor que $1.6 M_p / V_p$.
- iv. Se colocan rigidizadores de altura completa en la interface *acople*-porción de viga reforzada según lo indicado en el inciso 10.6.3.5(b)4.