

2009-07-15

---

**ESPECIFICACIÓN PARA EL DISEÑO, ENSAYO Y  
UTILIZACIÓN DE ESTANTERÍAS INDUSTRIALES  
DE ACERO**



E: SPECIFICATION FOR THE DESIGN, TESTING AND  
UTILIZATION OF INDUSTRIAL STEEL STORAGE RACKS

---

CORRESPONDENCIA: esta norma es una adopción  
modificada (MOD) de su documento  
de referencia la norma ANSI - RMI  
MH16.1-2004

---

DESCRIPTORES: estantería, diseño, parales, estibas,  
cargas.

---

I.C.S.: 77.140.99

---

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)  
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. (571) 6078888 - Fax (571) 2221435

---

## PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

**ICONTEC** es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 5689 fue ratificada por el Consejo Directivo del 2009-07-15.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico 114 Estructuras Metálicas.

ALMACENES ÉXITO S.A.		INDUSTRIAS CENO S.A.
ASOCIACIÓN NACIONAL DE	DE	TALLERES TÉCNICOS COLOMBIANOS
EMPRESARIOS -ANDI-		TTC LTDA.
COLANTA S.A.		INGAL S.A.

Además de las anteriores, en Consulta Pública el Proyecto se puso a consideración de las siguientes empresas:

A RECONSTRUIR LTDA.		ARME S.A.
ACERO ESTRUCTURAL DE COLOMBIA S.A.		ARQUITECTURA INGENIERÍA METÁLICA LTDA.
ACEROS BOEHLER DE COLOMBIA S.A.		ASOC. COOPERATIVA POLÍMETROS SAN SEBASTIÁN
ACEROS CORTADOS S.A.		CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA
ACEROS INDUSTRIALES S.A.		CAMCO INGENIERIA S.A.
ACERIAS DE COLOMBIA-ACESCO & CÍA. S.C.A.		CASA LUKER S.A.
ALGAMAR LTDA.		CD&A CONSULTORES DE RIESGOS
ALMACÉN RODAMIENTOS S.A.		CIMSA LTDA.
ALMACENES GENERALES DE		COOMOTOR
DEPÓSITO GRAN COLOMBIA S.A.		COOPERATIVA COLANTA LTDA.
ALMACENES GENERALES DE		CORPACERO
DEPÓSITO MERCANTÍL S.A.		DELIMA MARSH
ANDAMIOS ANDERSON DE COLOMBIA LTDA.		ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
ARMADA NACIONAL		

EME ESTRUCTURAS METÁLICAS S.A.  
FEDERACIÓN DE ASEGURADORES  
COLOMBIANOS  
FERRASA S.A.  
HB SADELEC  
INDUSTRIA COLOMBIANA DE CAFÉ S.A.  
INDUSTRIAS AVM S.A.  
INDUSTRIAS METALMECÁNICAS GALÁN  
/ CARLOS ARTURO CARMONA RENDÓN  
INHIERRO  
MEPAL S.A.  
METALCONT DE COLOMBIA LTDA.  
MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL  
MONTAJES JM LTDA.  
NAVITRANS S.A.  
POLYUPROTEC S.A.  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

POSTOBÓN  
PROCAPS  
SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS S.A.  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE  
(REGIONAL BOGOTÁ)  
SIDERÚRGICA DEL NORTE -SIDUNOR  
S.A.-  
SUPERPOLO S.A.  
SM&A LTDA.  
TECMO  
T.M.E. LTDA.  
UIS  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
UNIVERSIDAD EAFIT  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
VEGA PARTNERS

**ICONTEC** cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

**DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN**

**CONTENIDO**

	<b>Página</b>
<b>0.    INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.    GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1*    OBJETO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2*    REFERENCIAS NORMATIVAS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3*    MATERIALES.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4*    ESPECIFICACIONES DE DISEÑO APLICABLES .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5    INTEGRIDAD DE LAS INSTALACIONES DE ESTANTERÍA .....</b>	<b>2</b>
<b>2*.    CARGAS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1*    COMBINACIONES DE CARGA PARA EL MÉTODO DE DISEÑO           POR ESFUERZOS ADMISIBLES (ASD) .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2*    FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES PARA EL MÉTODO           DE DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3*    CARGAS DE DISEÑO.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4*    CARGAS VERTICALES DE IMPACTO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5*    FUERZAS HORIZONTALES.....</b>	<b>7</b>
<b>2.6*    CARGAS DE VIENTO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.7    CARGAS SÍSMICAS .....</b>	<b>8</b>
<b>3.*    PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO.....</b>	<b>12</b>
<b>4.*    DISEÑO DE ELEMENTOS Y MIEMBROS DE ACERO.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1    ELEMENTOS DE MIEMBROS DE ACERO FORMADOS EN FRÍO .....</b>	<b>13</b>

	<b>Página</b>
4.2    MIEMBROS DE ACERO FORMADOS EN FRÍO.....	13
4.3    PARALES DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE.....	14
5.      VIGAS.....	15
5.1*   CÁLCULOS .....	15
5.2*   SECCIÓN TRANSVERSAL.....	15
5.3*   DEFLEXIONES.....	15
6.      DISEÑO DEL MARCO.....	16
6.1    DEFINICIÓN .....	16
6.2    GENERAL.....	16
6.3*   LONGITUDES EFECTIVAS .....	16
6.4*   ESTABILIDAD DE MARCOS ARRIOSTRADOS.....	18
7*.    CONEXIONES Y PLACAS DE BASE .....	19
7.1    CONEXIONES .....	19
7.2*   PLACAS DE BASE .....	19
8.      REQUISITOS ESPECIALES PARA EL DISEÑO DE ESTANTERÍAS .....	20
8.1*   VOLCAMIENTO.....	20
8.2*   CONEXIONES A EDIFICIOS.....	20
8.3    INTERACCIÓN CON EDIFICIOS .....	21
9.      MÉTODOS DE ENSAYO.....	21
9.1*   GENERAL.....	21

	<b>Página</b>
<b>9.2*    ENSAYOS DE PROBETAS DE PARALES DE PERFILES FORMADOS          EN FRÍO O LAMINADOS EN CALIENTE .....</b>	<b>22</b>
<b>9.3*    ENSAYO DE LAS VIGAS PORTANTES .....</b>	<b>23</b>
<b>9.4*    ENSAYO DE LA CONEXIÓN VIGA PORTANTE-PARAL.....</b>	<b>26</b>
<b>9.5*    ENSAYO DE LOS MARCOS.....</b>	<b>27</b>
<b>DOCUMENTO DE REFERENCIA.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO A DISPOSICIONES ESPECIALES PARA ESTANTERÍAS DESTINADAS A ALMACENAMIENTO AUTOMATIZADO Y MANUAL Y SISTEMAS DE RECUPERACIÓN (ESTANTERÍAS DE APILAMIENTO).....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO B (Informativo) COMENTARIO SOBRE LA ESPECIFICACIÓN PARA EL DISEÑO, ENSAYO Y UTILIZACIÓN DE ESTANTERÍAS INDUSTRIALES DE ACERO.....</b>	<b>32</b>
<b>TABLAS</b>	
<b>Tabla 1. Coeficiente sísmico <math>C_A</math> .....</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 2. Coeficiente sísmico <math>C_v</math> .....</b>	<b>10</b>

**ESPECIFICACIÓN PARA EL DISEÑO, ENSAYO Y UTILIZACIÓN  
DE ESTANTERÍAS INDUSTRIALES DE ACERO**

**0.    INTRODUCCIÓN**

Esta NTC es una adopción modificada de la norma ANSI-RMI MH16.1-2004, con las siguientes modificaciones técnicas y cambios editoriales:

**0.1**    Se establece el Sistema Internacional de Unidades (SI) como normativo. Los valores entre paréntesis se presentan a manera de información.

**0.2**    Un asterisco (\*) enseguida del número que designa un párrafo indica que puede encontrarse material aclaratorio en el Anexo B.

**0.3**    Se agrega el siguiente requisito en el numeral 1.5.9: “El manual de utilización debe hacer referencia de las fallas o daños a los que pueda estar expuesta la estantería y debe contener recomendaciones básicas para solucionarlas”.

**0.4**    Se agrega el siguiente requisito en el numeral 2.7.3: “Las magnitudes de los componentes Aa y Av se toman a partir de los mapas de contorno establecidos en la NSR – Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigente”.

**1.    GENERALIDADES**

**1.1\*    OBJETO**

Esta norma se aplica a estanterías industriales para estibas, estanterías de entrepaños removibles (aquellas previstas para que una mayoría de entrepaños puedan ser removidos) y estibas autoapilables, fabricadas con perfiles estructurales formados en frío o laminados en caliente. No se aplica a otros tipos de estanterías, tales como estanterías tipo “*Drive-In*” o “*Drive Through*”, estanterías en *Cantiliver*, etc., o a estanterías hechas de materiales distintos del acero.

**1.2\*    REFERENCIAS NORMATIVAS**

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento normativo. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento normativo referenciado (incluida cualquier corrección).

NTC 3341, Métodos para verificar la carga aplicada por máquinas de ensayo (ASTM E4).

NTC 3353, Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero (ASTM A370).

NSR – Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS)

*Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. American Iron and Steel Institute (AISI), Washington, D.C. Edición 2001.*

*Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design, American Institute for Steel Construction (AISC), Chicago, IL, 9a. Edición 1989.*

*Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, IL, 3a. Edición 1999.*

*Cold-Formed Steel Design Manual, American Iron and Steel Institute, Washington DC. Edición 2002.*

### **1.3\* MATERIALES**

Esta norma asume el uso de acero de calidad estructural como se define en general en las especificaciones de la *American Society for Testing and Materials (ASTM)* y que se enumeran en los siguientes documentos: *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* del *AISI* y *Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design AISC*.

Se pueden utilizar otros aceros no enumerados en las especificaciones citadas arriba, siempre y cuando se ajusten a los requisitos químicos y mecánicos de cualquiera de las referencias normativas citadas en el párrafo anterior o de alguna otra especificación que establezca sus propiedades y aplicabilidad en estructuras y se les practiquen, por parte del productor o el comprador, los análisis, ensayos y otros controles similares a los prescritos en las referencias normativas citadas arriba, según sea aplicable.

### **1.4\* ESPECIFICACIONES DE DISEÑO APLICABLES**

Para el diseño y ensayos de las estanterías industriales de almacenamiento se aplicarán las especificaciones de la *AISI* y de la *AISC* señaladas en el numeral 1.2, según sea el caso, con las condiciones modificatorias o suplementarias establecidas en esta norma.

### **1.5 INTEGRIDAD DE LAS INSTALACIONES DE ESTANTERÍA**

#### **1.5.1\* Mantenimiento por el propietario**

El propietario debe mantener la integridad estructural del sistema de estantería instalado y garantizar la aplicación de los procedimientos de operación y mantenimiento adecuados incluyendo los siguientes aspectos, sin limitarse a ellos:

- 1) Prohibir la aplicación de cargas superiores a las de diseño en cualquier posición de estibas y sobre el sistema en conjunto.
- 2) Efectuar inspecciones regulares para detectar daños. En caso de encontrar daños, descargar inmediatamente el área afectada y reparar o reemplazar las vigas, parales u otros componentes estructurales dañados.



- 3) Requerir que todas las estibas se mantengan en perfectas y seguras condiciones de operación.
- 4) Asegurar que las estibas se coloquen sobre los elementos de soporte de manera adecuada y estable.
- 5) Requerir que todas las mercancías almacenadas en cada estiba estén adecuadamente apiladas y estables.
- 6) Prohibir la instalación de dos estibas, una sobre otra, en cualquier posición incluyendo la superior, excepto cuando el sistema de estanterías haya sido específicamente diseñado para esta condición de carga.

#### **1.5.2\* Placas**

Todas las instalaciones deben exhibir permanentemente, en uno o más sitios fácilmente visibles, placas informativas de la capacidad de carga. Cada placa debe tener un área no menor de 320 cm<sup>2</sup> (50 pulgadas<sup>2</sup>) y debe mostrar en impresión claramente legible la máxima carga permisible por unidad de almacenamiento y/o la máxima carga uniformemente distribuida permisible por nivel, la carga unitaria promedio (PL<sub>promedio</sub>, véase el numeral 2.7.2) y la carga total máxima por módulo. La carga por unidad de almacenamiento corresponde usualmente al peso de una estiba o contenedor con su contenido. Los niveles de almacenamiento que alojen múltiples capas de unidades de almacenamiento deben ser así identificados. Es responsabilidad del propietario asegurarse de que el sistema de estanterías no sea alterado de tal manera que la información contenida en la placa deje de ser válida.

#### **1.5.3\* Conformidad**

Todas las instalaciones de estanterías que se fabriquen de conformidad con esta norma se deben identificar mediante una placa que tenga las mismas características especificadas en el numeral 1.5.2. Las especificaciones de capacidad de carga y conformidad se pueden combinar en una misma placa.

#### **1.5.4\* Esquemas de aplicación de carga y configuración de la estantería**

Se deben suministrar esquemas de aplicación de carga y configuración del sistema, con cada instalación de estanterías. Una copia de los esquemas debe ser conservada por el propietario y otra por el fabricante o su representante para uso de la entidad de inspección.

#### **1.5.5\* Configuraciones múltiples**

Si se permite el uso de la estantería en diferentes configuraciones, los esquemas deben mostrar todas las configuraciones posibles y establecer claramente las limitaciones en lo relativo a máximo número de niveles, distancias máximas entre niveles y distancia máxima desde el piso a la viga inferior. Esta información se puede suministrar en una tabla incluida en los esquemas descritos en el numeral 1.5.4, acompañada de un texto destacado que haga notar que cualquier desviación de las limitaciones puede poner en riesgo la seguridad de la instalación de estanterías.

#### **1.5.6\* Estabilidad de estanterías de entrepaños removibles**

La estabilidad de las estanterías de entrepaños removibles no debe depender de la presencia, ausencia o localización de los entrepaños removibles. Aquellos componentes que aportan a la estabilidad del sistema, como son los entrepaños superiores permanentemente atornillados o

soldados y el diagonalado en las direcciones longitudinal y transversal, se deben indicar claramente en los esquemas de la estantería especificados en el numeral 1.5.4. En instalaciones específicas donde por la altura de la estantería de entrepaños removibles se requiera, el manual de utilización del propietario debe incluir de manera destacada una advertencia relativa a las restricciones en la localización y remoción de entrepaños. Tales restricciones se deben exhibir también de manera permanente en sitios claramente visibles para los operadores de montacargas.

#### **1.5.7\* Platinas de base y anclajes**

El extremo inferior de todos los parales se debe suministrar con platinas de base, según se especifica en el numeral 7.2. Todas las parales de la estantería se deben anclar al piso mediante anclajes capaces de resistir las fuerzas producidas por las cargas horizontales y verticales que actúan sobre la estantería.

#### **1.5.8\* Instalaciones pequeñas**

Se pueden omitir los requisitos de los numerales 1.5.2 al 1.5.5, para estanterías de altura no mayor de 3,66 m (12 pies) al entrepaño superior, en una instalación de menos de 278,7 m<sup>2</sup> (3 000 pies<sup>2</sup>) de superficie (sin incluir los corredores) y con una carga por unidad de almacenamiento no mayor de 11,12 kN (1 134 kgf) (2 500 lb) (sin apilamiento múltiple en el entrepaño superior).

#### **1.5.9\* Daños en las estanterías**

La prevención del daño a las estanterías está fuera del alcance de esta especificación. Véase el Anexo B Comentarios, para una discusión más amplia de este numeral.

En caso de cualquier daño visible, el usuario debe remover inmediatamente las cargas que actúan en la estantería de la zona afectada y los elementos dañados se deben reparar de manera adecuada o reemplazar.

El manual de utilización debe hacer referencia de las fallas o daños a los que pueda estar expuesta la estantería y debe contener recomendaciones básicas para solucionarlas.

#### **1.5.10\* Estanterías conectadas a la estructura de la edificación**

En caso de que las estanterías se conecten a la estructura de la edificación, las fuerzas horizontales y verticales máximas posibles impuestas por la estantería sobre la edificación se deben calcular para los efectos que se enumeran en los numerales 2.1 ó 2.2, según corresponda, y se debe advertir al propietario de la edificación sobre la magnitud y localización de estas fuerzas.

#### **1.5.11\* Verticalidad**

Para asegurar la verticalidad adecuada, la desviación máxima de la vertical es de 1 en 240 (1,25 cm (0,5 pulgadas) en 3,0 m (10 pies) de altura).

## **2.\* CARGAS**

El diseño se debe hacer de acuerdo con los requisitos para el método de Diseño por Factores de Carga y de Resistencia (*Load and Resistance Factor Design*, LRFD), o los requisitos para el método de Diseño por Esfuerzos Admisibles (*Allowable Stress Design*, ASD). Ambos métodos

son igualmente aceptables aunque puedan no producir diseños idénticos. Sin embargo, no se deben combinar los dos métodos al diseñar los distintos componentes estructurales de una estantería de almacenamiento.

### **2.1\* COMBINACIONES DE CARGA PARA EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS ADMISIBLES (ASD)**

Cuando se use el método de diseño ASD, las combinaciones de carga deben ser las definidas en el documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. American Iron and Steel Institute y en el documento del AISC - *Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design*, modificadas para estanterías como se muestra a continuación:

Para todos los componentes de la estantería:

- |    |   |   |
|----|---|---|
| 1) | DL                                      | Carga muerta crítica                          |
| 2) | DL + LL + (SL o RL) + PL                | Carga de gravedad crítica                     |
| 3) | DL – (WL o EL) + PL <sub>app</sub>      | Arrancamiento                                 |
| 4) | DL + LL + 0,5(SL o RL) + (WL o EL) + PL | Gravedad más fuerza de viento/sísmica crítica |

Para las vigas portantes y sus conexiones únicamente:

- |    |                                       |                               |
|----|---------------------------------------|-------------------------------|
| 5) | DL + LL + 0,5(SL o RL) + 0,88PL + Imp | Entrepáño más impacto crítico |
|----|---------------------------------------|-------------------------------|

en donde

- DL = Carga muerta
- LL = Carga viva distinta a la de las estibas o productos almacenados en la estantería (por ejemplo, cargas de piso de las plataformas de trabajo)
- SL = Carga de granizo
- RL = Carga de lluvia
- WL = Carga de viento
- EL = Carga sísmica
- Imp = Carga de impacto en un entrepaño, véase el numeral 2.4
- PL = Máxima carga de estibas o productos almacenados en la estantería
- PL<sub>app</sub> = Carga de estibas o de producto almacenado que debe estar presente para que se desarrollen las fuerzas de sismo o de viento calculadas, según el caso.

Para la combinación con cargas de sismo, PL<sub>app</sub> corresponde a la porción de la carga de estibas o de producto almacenado usada para el cálculo del cortante sísmico en la base.

Al verificar la resistencia al arrancamiento por acción del viento, se puede contar con el peso mínimo de las estibas o el producto almacenado solamente si estos elementos deben estar presentes para que se desarrollen las fuerzas de viento calculadas.

Véase el Anexo B Comentarios.

Los casos 3 y 4 se pueden multiplicar por un factor de 0,75. Adicionalmente, cuando las cargas de sismo han sido calculadas según el numeral 2.7 o usando cualquier otro código basado en estados límites, las cargas de sismo (EL) se pueden multiplicar por un factor de 0,67 para verificar la resistencia de la estructura.

## **2.2\* FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES PARA EL MÉTODO DE DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)**

Cuando se use el método de diseño LRFD, las combinaciones de carga serán las definidas en el documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* y en el documento del AISC - *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*, modificadas para estanterías como se muestra a continuación:

### **Para todos los componentes de la estantería:**

### **Estado límite**

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1) $1,4DL + LL + 1,2PL$  | Carga muerta          |
| 2) $1,2DL + 1,6LL + 0,5(SL \text{ o } RL) + 1,4PL$                     | Carga viva / producto |
| 3) $1,2DL + 1,6(SL \text{ o } RL) + (0,5LL \text{ ó } 0,8WL) + 0,85PL$ | Granizo/lluvia        |
| 4) $1,2DL + 1,3WL + 0,5LL + 0,5(SL \text{ o } RL) + 0,85PL$            | Carga de viento       |
| 5) $1,2DL + 1,5EL + 0,5LL + 0,2SL + 0,85PL$                            | Carga sísmica         |
| 6) $0,9DL - (1,3WL \text{ ó } 1,5EL) + 0,9PL_{app}$                    | Arrancamiento         |

Para las vigas portantes y sus conexiones únicamente:

- |  |  |
|--|--|
| 7) $1,2DL + 1,6LL + 0,5(SL \text{ o } RL) + 1,4PL + 1,4*Imp$ | producto/viva/impacto (para entrepaños y conexiones) |
|--|--|

Los símbolos de las cargas DL, LL, PL, SL, RL, WL, EL e Imp son los definidos en el numeral 2.1.

NOTA No se requiere aplicar el incremento en los factores de carga viva que especifica el AISI para cargas vivas superiores a  $4,78 \text{ kN/m}^2$  ( $488 \text{ kg/m}^2$ ) ( $100 \text{ libras/pie}^2$ ). El factor de carga para EL en los casos de carga 5 y 6 se puede tomar como 1,0 cuando las cargas de sismo han sido calculadas según el numeral 2.7 o usando cualquier otro código basado en estados límites.

Para la combinación de carga No. 6 cuando se verifica el arrancamiento por viento, solamente la carga de estiba que debe estar presente para desarrollar las fuerzas de viento se puede considerar en PL. Este valor será cero para una estantería no cargada o una estantería con revestimiento de acero inoxidable.

Todos los factores de resistencia serán los dados en la última edición del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* o del documento del AISC - *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*. Los factores de resistencia para los pernos de anclaje serán los siguientes:

Para arrancamiento por viento:  $\Phi = 0,45$

Para cargas de sismo:  $\Phi = 0,55$

Para cargas de volcamiento según el numeral 8:  $\Phi = 0,40$

### **2.3\* CARGAS DE DISEÑO**

Las estanterías se diseñarán para la combinación más crítica de cargas muertas, cargas vivas, cargas del producto almacenado, cargas verticales de impacto, cargas horizontales y cargas de viento o de sismo, según sea aplicable.

### **2.4\* CARGAS VERTICALES DE IMPACTO**

Las vigas portantes, los brazos portantes (cuando los haya) y las conexiones de extremo de las vigas o los brazos a los parales se deben diseñar para una carga vertical adicional por impacto con una magnitud del 25 % del peso de una unidad de almacenamiento, aplicada en la posición más desfavorable para el efecto que se esté analizando (momento o fuerza cortante). Cuando el diseño se base en ensayos (véase el numeral 9.3), se debe dejar el margen adecuado para el efecto adicional de la carga de impacto según se especifica en este numeral. No se requiere aplicar cargas de impacto para la verificación de la deflexión en las vigas (véanse los numerales 9.3 y 9.3.4), ni para el diseño de los marcos, parales y otros elementos verticales.

### **2.5\* FUERZAS HORIZONTALES**

**2.5.1** Las conexiones de las vigas portantes, los elementos de arriostramiento y las conexiones de los elementos de arriostramiento a los parales se deben diseñar para las fuerzas horizontales que se especifican en esta sección.

La magnitud de la fuerza horizontal que debe resistir una estantería varía según la aplicación. Las conexiones de las vigas y los elementos de arriostramiento y sus conexiones se deben diseñar para el más crítico de los siguientes casos:

- 1) Cargas de sismo (véase el numeral 2.7).
- 2) Para Diseño por Esfuerzos Admisibles, el 1,5 % de la suma de la carga muerta más la carga del producto almacenado aplicado en todas las conexiones, con base en la máxima carga.
- 3) Para Diseño por Factores de Carga y de Resistencia, el 1,5 % del factor de carga muerta más el factor de carga del producto almacenado.

Estas cargas horizontales cubren el efecto de desviación de la vertical del numeral 1.5.11, y se deben asumir actuando separadamente, no simultáneamente, en cada una de las dos direcciones principales de la estantería.

Las cargas horizontales se deben asumir actuando simultáneamente con el total de las cargas verticales viva, muerta y del producto almacenado. Los momentos en las conexiones de las vigas a los parales se verificarán contra los momentos admisibles (tanto positivo como negativo) determinados en el ensayo Tipo *Cantiliver* (véase el numeral 9.4.1) y/o en el ensayo tipo pórtico (véase el numeral 9.4.2).

**2.5.2** Las estanterías autoapilables y las estanterías que soportan parcial o totalmente equipos móviles deben cumplir con los requisitos de los numerales 2.5.2.1, 2.5.2.2 y 2.7.

**2.5.2.1\*** El fabricante de los equipos móviles es responsable de suministrar al fabricante de la estantería toda la información sobre la magnitud y localización de las máximas cargas estáticas y cargas vivas dinámicas que dichos equipos móviles transmiten a la estantería, y los factores de impacto aplicables en dirección longitudinal y transversal.

**2.5.2.2** No se requiere considerar simultáneamente la acción de las cargas descritas en el numeral 2.5.2.1 con aquellas descritas en los numerales 2.5.1 y 2.7.

## **2.6\* CARGAS DE VIENTO**

Las estanterías que queden expuestas a la acción del viento se deben diseñar para las cargas de viento que actúan sobre el conjunto de la estantería más las estibas cargadas. Para efectos de estabilidad, se dará consideración a las condiciones de carga que producen cargas de viento de gran magnitud combinadas con pequeñas fuerzas estabilizadoras de gravedad.

No se debe suponer que las fuerzas descritas en el numeral 2.5.1, excepto la porción de carga horizontal que resulta de la instalación fuera de la verticalidad, y las correspondientes al numeral 2.7, actúan de manera simultánea con las cargas de viento. Se debe asumir que las fuerzas descritas en el numeral 2.5.2 actúan de manera simultánea con las cargas de viento.

## **2.7\* CARGAS SÍSMICAS**

### **2.7.1\* General**

Las estanterías deben ser diseñadas, fabricadas e instaladas de acuerdo con los requisitos sísmicos aplicables. Las estanterías que no se conecten a edificaciones u otras estructuras se deben diseñar para que resistan las cargas de sismo de acuerdo con este numeral.

Se deben mantener separaciones adecuadas alrededor de la estantería para evitar daños por contacto con otras estructuras.

### **2.7.2\* Cargas sísmicas mínimas**

La mínima carga lateral total se debe determinar aplicando las siguientes consideraciones:

**Instalación a nivel del terreno:** Las estanterías instaladas a nivel del terreno o por debajo de este nivel se deben diseñar, fabricar e instalar de acuerdo con los siguientes requisitos:

Las cargas sísmicas de diseño no serán inferiores a las que resultan de la siguiente ecuación para determinar el cortante sísmico en la base:

$$V = C_s I_p W_s$$

en donde

$C_s$  = coeficiente de respuesta sísmica, determinado en el numeral 2.7.3.

$I_p$  = factor de importancia del sistema, que varía entre 1,00 y 1,50 como sigue:

$I_p$  = 1,5 si el sistema forma parte de una instalación esencial;

$I_p$  = 1,5 si el sistema contiene material que represente una amenaza significativa en caso de soltarse;

$I_p$  = 1,5 para estanterías instaladas en áreas abiertas al público, por ejemplo, en almacenes por departamentos;

$I_p$  = 1,0 para todas las otras estructuras;

$$W_s = (0,67 \times PL_{RF} \times PL) + DL + 0,25 \times LL$$

en donde

$PL_{RF}$  = Factor de reducción de la carga de producto almacenado

Dirección de la carga sísmica	$PL_{RF}$
Transversal al corredor	1,0
En dirección del corredor	$PL_{promedio}/PL_{máxima}$

$PL_{promedio}$  = es el máximo peso total del producto que se espera tener almacenado en cualquier línea de estantería dividido por el número de módulos en esa línea.

$PL_{máxima}$  = es el máximo peso del producto que podría ser almacenado en cualquier módulo de esa fila.

**Instalación por encima del nivel del terreno:** Las estanterías instaladas a niveles por encima del terreno se deben diseñar, fabricar e instalar de acuerdo con los siguientes requisitos:

Según se definió arriba,

$$W_s = (0,67 \times PL_{RF} \times PL) + DL + 0,25 \times LL$$

### 2.7.3\* Cálculo del Coeficiente de Respuesta Sísmica

Cuando se calcule el periodo fundamental de la estantería, el coeficiente de respuesta sísmica,  $C_s$ , se debe determinar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{1,2C_v}{RT^{2/3}}$$

en donde

$C_v$  = coeficiente sísmico basado en el Tipo de Perfil de Suelo y en el valor del coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva  $A_v$ , determinado de la Tabla 2 en el numeral 2.7.3.1.

$R$  = Para estanterías de más de 2,44 m (8 pies) de altura,  $R = 4,0$  en la dirección arriestrada y  $R = 6,0$  en la dirección no arriestrada. Se permite usar mayores valores si se presentan resultados de ensayos que los sustenten.

$T$  = El periodo fundamental de la estantería en cada dirección considerada, se debe establecer a partir de las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes a través de un análisis adecuadamente sustentado.

Alternativamente, el coeficiente de respuesta sísmica no debe ser mayor que el siguiente valor:

$$C_s = \frac{2,5C_a}{R}$$

en donde

$R$  = según se definió arriba

$C_a$  = coeficiente sísmico basado en el Tipo de Perfil de Suelo y en el valor del coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva  $A_a$  determinado de la Tabla 1 en el numeral 2.7.3.1.

**2.7.3.1 Coeficientes sísmicos  $C_a$  y  $C_v$**

El coeficiente sísmico  $C_a$ , basado en el Tipo de Perfil de Suelo y en el valor de  $A_a$  se determina de la Tabla 1.

**Tabla 1. Coeficiente Sísmico  $C_a$**

Tipo de Perfil de Suelo	$A_a < 0,05$	$A_a = 0,05$	$A_a = 0,10$	$A_a = 0,20$	$A_a = 0,30$	$A_a = 0,40$
A	$A_a$	0,04	0,08	0,16	0,24	0,32
B	$A_a$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
C	$A_a$	0,06	0,12	0,24	0,33	0,40
D	$A_a$	0,08	0,16	0,28	0,36	0,44
E	$A_a$	0,13	0,25	0,34	0,36	0,44

NOTA Para valores intermedios de  $A_a$ , se debe usar el valor superior o interpolar linealmente para determinar el valor de  $C_a$ .

El coeficiente sísmico  $C_v$ , basado en el Tipo de Perfil de Suelo y en el valor de  $A_v$  se determina de la Tabla 2.

**Tabla 2. Coeficiente Sísmico  $C_v$**

Tipo de Perfil de Suelo	$A_v < 0,05$	$A_v = 0,05$	$A_v = 0,10$	$A_v = 0,20$	$A_v = 0,30$	$A_v = 0,40$
A	$A_v$	0,04	0,08	0,16	0,24	0,32
B	$A_v$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
C	$A_v$	0,09	0,17	0,32	0,45	0,56
D	$A_v$	0,12	0,24	0,40	0,54	0,64
E	$A_v$	0,18	0,35	0,64	0,84	0,96

NOTA Para valores intermedios de  $A_v$ , se debe usar el valor superior o interpolar linealmente para determinar el valor de  $C_v$ .

Las magnitudes de los componentes  $A_a$  y  $A_v$  se toman a partir de los mapas de contorno establecidos en la NSR – Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigente

Nótese que cuando  $A_a$  y  $A_v$  son menores de 0,05, se tiene que  $C_a = A_a$  y  $C_v = A_v$ .

Los tipos de perfil de suelo se definen como sigue:

- A: Roca dura con  $\bar{v}_s > 1\ 500$  m/s (5 000 pies/s)
- B: Roca con  $760$  m/s  $< \bar{v}_s \leq 1\ 500$  m/s (2 500 pies/s  $< \bar{v}_s \leq 5\ 000$  pies/s)
- C: Suelo muy denso y roca blanda con  $360$  m/s  $< \bar{v}_s \leq 760$  m/s (1 200 pies/s  $< \bar{v}_s \leq 2\ 500$  pies/s), o con  $\bar{N} > 50$ , o con  $\bar{s}_u > 100$  kPa (2 000 libra/pie<sup>2</sup>)
- D: Suelo duro con  $180$  m/s  $< \bar{v}_s \leq 360$  m/s (600 pies/s  $< \bar{v}_s \leq 1\ 200$  pies/s), o con  $15 \leq \bar{N} \leq 50$ , o con  $50$  kPa  $\leq \bar{s}_u \leq 100$  kPa (1 000 libra/pie<sup>2</sup>  $\leq \bar{s}_u \leq 2\ 000$  libra/pie<sup>2</sup>)



- E: Perfil de suelo con  $\bar{v}_s \leq 180$  m/s (600 pies/s), o cualquier perfil con más de 3,05 m (10 pies) de arcilla blanda, definida como un suelo con  $IP > 20$ ,  $w \geq 40$  %, y  $\bar{s}_u < 25$  kPa (500 lb/pie<sup>2</sup>)
- F: Suelos que requieren evaluación específica en sitio:
- 1) Suelos vulnerables a falla o colapso potencial bajo acciones sísmicas, como son suelos sujetos a licuefacción, arcillas altamente sensitivas, suelos débilmente cementados sujetos a colapso.
  - 2) Estratos de más de 3,05 m (10 pies) de turba y/o arcillas altamente orgánicas
  - 3) Estratos de más de 7,62 m (25 pies) de arcillas de muy alta plasticidad con  $IP > 75$ .
  - 4) Estratos de más de 36,58 m (120 pies) de arcillas de consistencia entre mediana y blanda.

en donde

$\bar{v}_s$  es la velocidad medida de la onda de cortante,

$\bar{N}$  es el número medio de golpes del ensayo de penetración estándar,

$\bar{s}_u$  es la resistencia media al corte obtenida del ensayo para determinar la resistencia no drenada

**EXCEPCIÓN** Cuando las propiedades del suelo no se conocen en suficiente detalle para determinar el Tipo de Perfil de Suelo, se debe usar el Tipo D. No se requiere asumir la presencia de los perfiles de suelo Tipo E y F, excepto cuando una entidad competente determine que estos tipos de suelo pueden estar presentes en el sitio o en el evento de que estudios geotécnicos determinen su presencia.

### 2.7.4\* Distribución Vertical de las Cargas de Sismo

La fuerza sísmica horizontal  $F_x$  que se aplica en cada nivel se debe determinar a partir de las siguientes ecuaciones:

Si la línea media del entrepaño del primer nivel está a 30,5 cm (12 pulgadas) o menos por encima del nivel de piso:

$$F_1 = C_s I_p W_1 \quad \text{para el entrepaño del primer nivel}$$

y

$$F_x = \frac{(V - F_1) w_x h_x^k}{\sum_{i=2}^n W_i h_i^k} \quad \text{para los niveles por encima del primero}$$

Si la línea media del entrepaño del primer nivel está a más de 30,5 cm (12 pulgadas) por encima del nivel de piso:

$$F_x = \frac{V w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} ; \quad \text{para todos los niveles}$$

en donde

$V$	=	carga horizontal total de diseño o cortante en la base de la estantería
$w_i$ o $w_x$	=	la porción de la carga total de gravedad de la estantería (incluyendo la carga viva, la carga muerta y la carga del producto almacenado multiplicada por el factor de reducción de la carga de producto $PL_{RF}$ , ver 2.7.2), aplicada en cada nivel "i" o "x"
$h_i$ o $h_x$	=	la altura de la base a cada nivel "i" o "x"
$k$	=	un exponente que depende del periodo fundamental "T" de la estructura
		$T \leq 0,5 \qquad k = 1$
		$T \geq 2,5 \qquad k = 2$

Para estantería con periodos entre 0,5 s y 2,5 s, k se debe tomar igual a 2,0 o se debe determinar por interpolación lineal entre 1,0 y 2,0. Cuando el cortante en la base se calcule usando la expresión del límite superior para Cs, k debe tomar como 1,0.

### 2.7.5\* Distribución horizontal de la fuerza cortante

El cortante sísmico de diseño en cualquier nivel,  $V_x$ , se obtendrá a partir de la siguiente ecuación:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

donde  $F_i$  = porción del cortante sísmico en la base,  $V$ , inducida en el nivel i.

El cortante sísmico de diseño,  $V_x$ , se debe distribuir entre los diferentes elementos verticales del sistema de resistencia a cargas sísmicas en el nivel considerado, con base en la rigidez lateral relativa de dichos elementos verticales resistentes.

### 2.7.6\* Volcamiento

Al verificarse la seguridad contra el volcamiento, se debe tener en cuenta la condición particular en la cual solamente el nivel superior de la estantería está cargado, asumiendo en este caso que la fuerza horizontal actúa sobre el centro de gravedad de la carga superior.

### 2.7.7\* Simultaneidad de fuerzas

No se requiere considerar la acción simultánea de las fuerzas sísmicas con las fuerzas descritas en los numerales 2.5.1, 2.5.2 y 2.6.

## 3.\* PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Todos los cálculos de cargas admisibles, esfuerzos, deflexiones y similares se deben efectuar en concordancia con métodos convencionales de diseño estructural, según se especifica en la última edición del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* para componentes y sistemas estructurales fabricados con perfiles de acero formados en frío, y en la última edición de las especificaciones del AISC (véase el numeral 1.2) para componentes y sistemas estructurales fabricados con perfiles de acero laminados en caliente, excepto donde la presente norma modifique o suplemente tales especificaciones. Cuando se presenten condiciones no cubiertas adecuadamente por los métodos de diseño disponibles, los diseños se deben basar en resultados de ensayos

obtenidos de acuerdo con esta norma o con la sección F del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.

No se deben imponer limitaciones a la esbeltez para miembros a tracción que no se requiere que resistan fuerzas de compresión en ninguna de las condiciones de cargas especificadas en esta norma.

#### **4.\* DISEÑO DE ELEMENTOS Y MIEMBROS DE ACERO**

El efecto de las perforaciones en la capacidad de carga de los miembros solicitados a compresión se tiene en cuenta a través de la modificación de algunas de las definiciones del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* y de las especificaciones del AISC señaladas en el numeral 1.2, como se describe a continuación.

##### **4.1 ELEMENTOS DE MIEMBROS DE ACERO FORMADOS EN FRIO**

Véase la Sección B del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.

##### **4.2 MIEMBROS DE ACERO FORMADOS EN FRIO**

Véase la sección 3 del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.

###### **4.2.1 Propiedades de las secciones** (véase la Sección C1 del documento del AISI *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*)

En el numeral 4.2.2 se presentan algunas excepciones a los requisitos del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.

###### **4.2.2\* Miembros a flexión** (Véase la Sección C3 del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*)

$S_e$  = Módulo elástico de la sección neta para la fibra extrema a compresión multiplicado por  $(0,5 + Q/2)$ .

$S_f$  = Módulo elástico de la sección total no reducida para la fibra extrema a compresión.

$S_c$  = Módulo elástico de la sección neta para la fibra extrema a compresión multiplicado por

$$1 - \frac{(1-Q)}{2} \left( \frac{M_c / S_f}{F_y} \right)^Q$$

En el cálculo de  $M_e$ ,  $\sigma_{ex}$ ,  $\sigma_{ey}$  y  $\sigma_t$ , las propiedades de la sección transversal se deben basar en la sección total no reducida, teniendo en cuenta las curvas de las esquinas. Por su parte,  $j$ ,  $r_o$  y  $C_w$  se pueden calcular asumiendo aristas agudas.

Para miembros con perforaciones no se deben aplicar los requisitos de capacidad de reserva inelástica de la sección C3.1.1 (b) del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, asociadas a la reserva de capacidad por trabajo en el rango inelástico.

**4.2.3\* Miembros a compresión cargados concéntricamente** (véase la Sección C4 del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*)

$A_e$  = área efectiva para un esfuerzo  $F_n$ , determinada según el numeral 4.1 cuando sea aplicable. Donde el numeral 4.1 no sea aplicable,  $A_e$  se debe calcular como sigue:

$$A_e = \left[ 1 - (1 - Q) \left( \frac{F_n}{F_y} \right)^Q \right] A_{net \min}$$

Donde el factor Q se debe determinar por el procedimiento especificado en el numeral 9.2 y  $A_{net \min}$  se define en el numeral 9.2.

**4.2.3.1 Secciones no sujetas a pandeo flexional torsional** (véase la Sección C4.1 del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*)

El radio de giro se basa en las propiedades de la sección total, calculadas teniendo en cuenta las esquinas redondeadas.

**4.2.3.2 Secciones de simetría doble o sencilla sujetas a pandeo torsional o pandeo flexo-torsional** (véase la Sección C4.2 del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*)

$\sigma_{ex}$ ,  $\sigma_{ey}$  y  $\sigma_t$  deben ser los esfuerzos calculados según se especifica en el numeral 4.2.2.

$L_x$ ,  $L_y$  y  $L_t$  son las longitudes no arriostradas definidas en el numeral 6.3 para flexión alrededor del eje x, flexión alrededor del eje y y torsión.

**4.3 PARALES DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE**

El diseño se debe efectuar de acuerdo con las disposiciones de Diseño por Factores de Carga y de Resistencia dados en el numeral 4.3.1 o con las disposiciones de Diseño por Esfuerzos Admisibles dadas en el numeral 4.3.2.

**4.3.1 Diseño por factores de carga y de resistencia** (véase el capítulo E y Apéndices B y E del documento del AISC - *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*)

Todos los paralelas fabricadas de perfiles de acero laminados en caliente se deben diseñar de acuerdo con el Capítulo E, Apéndices B y E, con las excepciones que allí se presentan.

**4.3.1.1 Resistencia de diseño a compresión para pandeo flexional**

La resistencia de diseño para pandeo flexional de miembros a compresión es  $\Phi_c P_n$ ,

en donde

$$P_n = A_e F_{cr}$$

$F_{cr}$  se debe determinar con las ecuaciones del Apéndice B de la especificación AISC-LFRD, Sección B5.3d.  $A_e$  se define en el numeral 4.2.3. El valor de Q se debe determinar de acuerdo con el numeral 9.2.2.

#### **4.3.1.2 Resistencia de diseño a compresión para pandeo flexo-torsional**

La resistencia de diseño para pandeo flexo-torsional de miembros a compresión es  $\Phi_c P_n$ , en donde

$$P_n = A_e F_{cr}$$

$F_{cr}$  se debe determinar con las ecuaciones del Apéndice E, Sección E3 de la especificación AISC-LRFD.  $A_e$  se define en el numeral 4.2.3. El valor de  $Q$  se debe determinar de acuerdo con el numeral 9.2.2.

#### **4.3.2 Diseño por Esfuerzos Admisibles** (véase el capítulo E y Apéndice B del documento del AISC - *Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design*)

Todos los perales fabricados con perfiles de acero laminados en caliente se deben diseñar de acuerdo con el Capítulo E y con el apéndice B, con las excepciones allí establecidas.

##### **4.3.2.1 Resistencia de Diseño a Compresión para Pandeo Flexional**

La carga axial admisible para pandeo flexional de miembros a compresión es  $P_a$ , definido como sigue:

$$P_a = A_e F_a$$

$F_a$  se debe determinar con las ecuaciones del Apéndice B, Sección B5c de la especificación AISC-ASD.  $A_e$  se define en el numeral 4.2.3. El valor de  $Q$  se debe determinar de acuerdo con el numeral 9.2.2.

## **5. VIGAS**

### **5.1\* CÁLCULOS**

Los momentos flectores, las reacciones, las fuerzas cortantes y las deflexiones se deben determinar considerando vigas simplemente apoyadas, o por un análisis racional considerando restricción parcial en los extremos de las vigas. Donde la forma de la sección transversal de la viga y los detalles de la conexión de extremo lo permitan, las cargas admisibles de las vigas portantes se deben determinar usando métodos convencionales de cálculo de acuerdo con el documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* o las especificaciones del AISC señaladas en el numeral 1.2.

### **5.2\* SECCIÓN TRANSVERSAL**

Donde la configuración de la sección transversal no permita el cálculo de las cargas admisibles y las deflexiones, éstas se determinarán mediante ensayos de acuerdo con el numeral 9.

### **5.3\* DEFLEXIONES**

Para las cargas de servicio (sin incluir el impacto), la deflexión no deberá ser superior a 1/180 de la luz medida entre los extremos de la viga.

## **6.    DISEÑO DEL MARCO**

### **6.1    DEFINICIÓN**

El marco está conformado por parales y miembros de arriostramiento.

### **6.2    GENERAL**

**6.2.1** Los marcos y los pórticos se deben diseñar para las combinaciones críticas de cargas verticales y horizontales en las posiciones más desfavorables como se especifica en el numeral 2. Se deben considerar todos los momentos y las fuerzas inducidas en los parales por las vigas. Como alternativa a los cálculos, la capacidad de un marco se puede determinar mediante un programa de ensayos según se describe en el numeral 9.5.

**6.2.2** Para las conexiones que no se puedan analizar de manera satisfactoria, se debe demostrar mediante ensayos su capacidad de resistir los momentos y las fuerzas que las solicitan en las distintas combinaciones.

### **6.3\*    LONGITUDES EFECTIVAS**

Las longitudes efectivas para los parales son aquellas especificadas en los numerales 6.3.1 a 6.3.4 o según se determine mediante análisis racionales o ensayos.

En las siguientes numerales se dan lineamientos para el diseño basado en el concepto de la longitud efectiva. Sin embargo, no se pretende excluir el uso de otros métodos de diseño. Se pueden usar otros métodos racionales siempre y cuando sean consistentes con las premisas del AISC y el AISI. En el diseño de una estructura no se deben mezclar distintos métodos de diseño.

#### **6.3.1\*    Pandeo flexional en dirección perpendicular a los marcos**

$L_x$  es la distancia desde la línea media de una viga a la línea media de la siguiente viga, o la distancia desde el piso hasta la línea media de la primera viga.

##### **6.3.1.1\*    Estanterías no arriostradas contra desplazamiento lateral**

Para el tramo de paral comprendido entre la viga inferior y el piso, así como para los tramos de paral comprendidos entre niveles de vigas, el factor de longitud efectiva  $K$  se debe tomar como 1,7 o de otra manera como se determine mediante un análisis que considere adecuadamente la rigidez de los miembros, la naturaleza semirrígida de las conexiones de las vigas a los parales y el empotramiento parcial en la base, permitiendo reducción de la carga promedio, según corresponda.

Cuando se use un valor de  $K$  de 1,7 sin recurrir a un análisis, no se debe aplicar ninguna reducción sobre este valor.

##### **6.3.1.2\*    Estanterías arriostradas contra desplazamiento lateral**

El factor de longitud efectiva  $K$  en estanterías para estibas, estibas autoapilables y estanterías de entrepaños removibles se tomará igual a 1,0 siempre y cuando dichas estanterías tengan arriostramiento diagonal en el plano vertical y tengan un entrepaño superior fijo, ya sea rígido o con arriostramiento diagonal en su plano horizontal. Se puede lograr una mayor capacidad en los parales usando otros entrepaños intermedios fijos, igualmente rígidos o con arriostramiento diagonal en su plano horizontal. La longitud no soportada se define como la distancia desde el piso hasta el entrepaño superior fijo; o como la distancia entre los entrepaños fijos en el caso

de que se usen entrepaños intermedios fijos de las características definidas arriba. El factor de longitud efectiva  $K$  se tomará igual a 1. En caso de no existir arriostramiento en el plano vertical de la estantería, se usarán valores de  $K$  según se especifica en el numeral 6.3.1.1 para Estanterías no Arriostradas contra Desplazamiento Lateral.

### **6.3.2\* Pandeo flexional en el plano del marco**

**6.3.2.1**  $L_y$  se define como la distancia entre los puntos de intersección del eje neutro del paral con los ejes neutros de dos diagonales adyacentes, o de una diagonal y una horizontal, según el caso.

**6.3.2.2\*** Para marcos con riostras diagonales o con una combinación de riostras diagonales y horizontales que intersecan a los paraleles, el factor de longitud efectiva  $K$  para el tramo del paral entre los puntos arriostrados se debe tomar como 1,0, siempre y cuando el valor máximo de la relación  $L_{\text{corto}}/L_{\text{largo}}$  no sea mayor de 0,15.

$L_{\text{corto}}$  y  $L_{\text{largo}}$  se definen con base en los segmentos comprendidos entre las intersecciones del eje neutro del paral con los ejes neutros de cualquier par de diagonales adyacentes, o de una diagonal y el miembro horizontal adyacente.

En un marco con diagonales y horizontales,  $L_{\text{corto}}$  y  $L_{\text{largo}}$  se refieren al menor y al mayor valor de las longitudes de dos segmentos adyacentes comprendidos entre dos horizontales sucesivas. En un marco con diagonales únicamente,  $L_{\text{corto}}$  y  $L_{\text{largo}}$  se refieren al menor y al mayor valor de las longitudes de dos segmentos adyacentes. Todas las distancias se miden a lo largo del eje neutro del paral.

**6.3.2.3\*** Para marcos con riostras diagonales que intersecan a las riostras horizontales, el factor de longitud efectiva  $K$  para el tramo de paral comprendido entre los puntos arriostrados se debe tomar como 1,0, siempre y cuando el valor máximo de la relación  $L_{\text{corto}}/L_{\text{largo}}$  no sea mayor de 0,12.

$L_{\text{corta}}$  se define como la distancia más corta desde la intersección del eje neutro de una de las dos riostras diagonales con el eje neutro de la riostra horizontal, o la distancia más corta entre la intersección de una riostra diagonal con el eje neutro de la riostra horizontal hasta el eje neutro del paral.

$L_{\text{larga}}$  se define como la longitud de la riostra horizontal medida entre los ejes neutros de los paraleles.

Todas las medidas se toman a lo largo del eje neutro de la riostra horizontal.

**6.3.2.4\*** Para marcos con configuraciones de arriostramiento no incluidas entre las consideradas arriba, el factor de longitud efectiva,  $K$ , del paral se debe determinar con base en un análisis racional o mediante ensayos del marco.

### **6.3.3\* Pandeo torsional**

**6.3.3.1**  $L_t$  es la longitud no soportada a torsión para el miembro

**6.3.3.2** El factor de longitud efectiva  $K_t$  para pandeo torsional se debe tomar igual a 0,8, siempre y cuando los detalles de la conexión entre los paraleles y los elementos de arriostramiento sean tales que impidan la torsión del paral en los puntos de arriostramiento. Si los detalles de la conexión no impiden tal torsión,  $K_t$  puede ser mayor y se debe determinar mediante un análisis racional o a través de ensayos.

**6.3.4 Miembros diagonales y horizontales a compresión**

Para miembros diagonales y horizontales a compresión en marcos arriostrados, la longitud efectiva será la longitud total no soportada del miembro.

**6.4\* ESTABILIDAD DE MARCOS ARRIOSTRADOS**

Para evitar que los marcos altos y de poca profundidad sean inestables y se pandeen en su propio plano, sus parales se deben diseñar usando los requisitos adecuados el documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* o con las especificaciones del AISC señaladas en el numeral 1.2, para un valor de KL/r o Kl/r, respectivamente, igual a:

$$\sqrt{\frac{\pi^2 EA}{P_{cr}}}$$

donde para calcular  $P_{cr}$  se tiene:

- 1) Para marcos arriostrados con diagonales y horizontales:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{k^2 l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 I}{k^2 l^2} \left( \frac{1}{A_d \sin \phi \cos^2 \phi} + \frac{b}{a A_b} \right)}$$

- 2) Para marcos arriostrados con diagonales:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{k^2 l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 I}{k^2 l^2} \frac{1}{A_d \sin \phi \cos^2 \phi}}$$

- 3) Para marcos arriostrados con horizontales únicamente, con conexiones completamente rígidas:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{k^2 l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 I}{k^2 l^2} \left( \frac{ab}{12 I_{br}} + \frac{a^2}{24 I_c} \right)}$$

en donde

- a = Distancia vertical entre los ejes de las riostras horizontales
- A = Suma de las áreas netas mínimas ( $A_{net \min}$ ) de los parales del marco
- $A_b$  = Área de sección transversal de una riostra horizontal
- $A_d$  = Área de sección transversal de una riostra diagonal
- b = Distancia horizontal entre los ejes neutros de los parales
- E = Módulo de elasticidad del acero
- I = Mínimo momento de inercia de la sección neta de los parales alrededor del eje centroidal del marco perpendicular al plano del marco
- $I_{br}$  = Momento de inercia de la riostra horizontal alrededor de su eje centroidal perpendicular al plano del marco



- $I_c$  = Mínimo momento de inercia de la sección neta de un paral alrededor de su eje centroidal perpendicular al plano del marco
- $K$  = 1,1 si el centro de gravedad de las cargas aplicadas a lo largo del marco está por debajo de la mitad de la altura del marco
- = 1,6 si el centro de gravedad está por debajo del tercio superior de la altura del marco
- = 2,0 si el centro de gravedad está arriba del tercio superior de la altura del marco
- $l$  = Altura total del marco
- $\phi$  = Angulo entre las riostras horizontales y las verticales

## **7.\* CONEXIONES Y PLACAS DE BASE**

### **7.1 CONEXIONES**

#### **7.1.1\* General**

La adecuada resistencia de las conexiones para resistir las fuerzas y los momentos obtenidos del análisis estructural y, cuando se requiera, su adecuada rigidez, se deben verificar mediante ensayos o, donde sea posible, mediante cálculos. Los procedimientos para los ensayos de las distintas conexiones se especifican en el numeral 9.

#### **7.1.2\* Dispositivo de seguro para las vigas**

Excepto en el caso de estanterías de entrepaños removibles, las vigas deben tener dispositivos de seguro para las conexiones (o pernos) capaces de resistir una fuerza hacia arriba de 4,45 kN (453,6 kgf) (1 000 lb) por conexión sin que haya falla o desacople en la conexión.

#### **7.1.3\* Estanterías de entrepaños removibles**

En estanterías de entrepaños removibles, el entrepaño superior y otros entrepaños fijos deben tener en sus apoyos conexiones capaces de soportar una fuerza hacia arriba de 4,45 kN (453,6 kgf) (1 000 lb) por conexión sin que haya falla o desacople en la conexión.

Los entrepaños removibles están normalmente conformados por un par de vigas longitudinales, una anterior y una posterior, conectadas rígidamente entre sí por elementos transversales. Los entrepaños removibles se deben conectar de tal manera que se prevenga el desplazamiento hacia adelante cuando se levante la viga frontal del entrepaño.

### **7.2\* PLACAS DE BASE**

Se deben tomar las precauciones para transferir las fuerzas y los momentos de la base de los paraleles al piso. Estas fuerzas y momentos deben ser consistentes en magnitud y dirección con el análisis de la estantería. Excepto cuando se especifique lo contrario, el máximo esfuerzo admisible de contacto  $F'_p$  (ASD) o las cargas de diseño en el apoyo  $\Phi_c P_p$  (LRFD) en el extremo inferior de la placa se deben determinar como sigue:  
para ASD:

$$F'_p = 0,7f'_c$$

para LRFD:

$$P_p = 1,7f'_c A_{\text{Área efectiva de contacto en la base}}$$
$$\theta_c = 0,60$$

en donde

$f_c$  = resistencia mínima a la compresión a los 28 d del piso de concreto, excepto cuando se especifique lo contrario al fabricante de la estantería, se asumirá  $f_c$  igual a 21 MPa (210 kgf/cm<sup>2</sup>) (3 000 libras/pulgada<sup>2</sup>)

Una vez se haya determinado el área de apoyo requerida a partir del esfuerzo de contacto admisible  $F'_p$ , el espesor mínimo de la placa de base se determinará por un análisis racional o mediante ensayos apropiados usando una carga de ensayo igual a 1,5 veces la carga de diseño por ASD o el factor de carga por LRFD. Cuando así se solicite, se debe suministrar al propietario o su representante información sobre la localización, tamaño y presiones bajo las placas de base para cada tipo de marco en la instalación.

## **8.      REQUISITOS ESPECIALES PARA EL DISEÑO DE ESTANTERÍAS**

### **8.1\*    VOLCAMIENTO**

Se debe considerar el volcamiento para la combinación más desfavorable de cargas verticales y horizontales. Solamente se pueden considerar las fuerzas estabilizadoras suministradas por los anclajes al piso cuando dichos anclajes y el piso hayan sido específicamente diseñados e instalados para atender estas fuerzas de arrancamiento (véanse los numerales 2.6 y 2.7).

Excepto cuando todos los parales se hayan anclado, la relación entre el momento estabilizador y el momento de volcamiento no debe ser menor de 1,5.

La relación altura/profundidad para una estantería, midiendo a la viga superior, no debe ser superior a 6 excepto cuando la estantería se haya anclado adecuadamente o reciba soporte lateral de otra estructura. Se entiende aquí como profundidad la profundidad de un marco o del conjunto de marcos interconectados según el caso.

Las estanterías que se carguen y descarguen mediante equipos motorizados y que excedan la relación de 6 a 1 definida arriba, se deben diseñar para resistir una fuerza lateral de 1,56 kN (159 kgf) (350 lb) aplicada a cualquier marco a nivel del entrepaño superior y en dirección perpendicular al corredor. Para el método de diseño por LRFD, el factor de carga aplicado a esta fuerza debe ser de 1,6. Esta fuerza se debe aplicar a un marco no cargado y se debe dividir entre el número de marcos que estén interconectados en la dirección de la fuerza. Los anclajes y las placas de base deben ser diseñados para resistir las fuerzas de arrancamiento que resultan de la aplicación de esta carga a un marco no cargado. Los parales del marco no requieren ser diseñados para la fuerza axial adicional que resulta de esta carga.

Excepto cuando se pueda demostrar que condiciones tales como las características del suelo, la losa de piso y la rigidez del marco no lo hacen necesario, las hileras sencillas de estantería que tengan una relación de altura a profundidad mayor que 8 a 1 se deben amarrar externamente al edificio o, a través del corredor, a otra estantería. No se recomienda estabilizar únicamente con anclajes una hilera sencilla de estantería con una relación de altura a profundidad mayor que 8 a 1, excepto bajo un diseño certificado por un ingeniero.

No se requiere considerar la acción simultánea de la fuerza lateral de 1,56 kN (159 kgf) (350 lb) especificada en esta sección con las cargas horizontales de los numerales 2.5, 2.6 y 2.7.

### **8.2\*    CONEXIONES A EDIFICIOS**

Las conexiones de las estanterías a una edificación, en caso de usarse, se deben diseñar e instalar evitando que las reacciones o desplazamientos del edificio lleguen a dañar la

estantería, o que las reacciones o desplazamientos de la estantería puedan dañar al edificio (véase el numeral 1.4.10).

### **8.3\* INTERACCIÓN CON EDIFICIOS**

Las estanterías instaladas en niveles por encima del nivel de piso (según se describe en el numeral 2.7.2), los edificios soportados por estanterías y las estanterías cuya estabilidad lateral depende de su conexión a la edificación o a otras estructuras a niveles diferentes del nivel de piso, deben ser diseñadas para resistir las cargas sísmicas que resultan de la consideración de la interacción de las respuestas de la edificación y de la estantería a los movimientos sísmicos de diseño, de manera que se garantice que ninguna de las estructuras causa daños a la otra.

## **9. MÉTODOS DE ENSAYO**

### **9.1\* GENERAL**

Las propiedades de los materiales se han de determinar de acuerdo con los procedimientos de ensayo NTC 3353 aplicables y con la Sección F3 de la especificación del AISI. Para este efecto, después de realizado el ensayo de carga se obtendrán probetas para ensayos a tracción, tomándolas de elementos planos del espécimen probado y en zonas sometidas a bajos momentos flectores y fuerzas cortantes.

Si el efecto del trabajo en frío se está teniendo en cuenta en el ensayo, los especímenes de ensayo se deben formar mediante el mismo procedimiento que se esté usando o se haya contemplado usar para el prototipo. Esta condición es esencial dado que diferentes métodos de fabricación producen diferentes niveles de trabajo en frío (por ejemplo, el trabajo en frío en un espécimen doblado en prensa es menor que el trabajo en frío en un espécimen formado de acero laminado en frío).

Antes de efectuar el ensayo, se debe realizar una descripción completa de los especímenes de ensayo, dejando registro de cualquier posible indentación o defecto, condición de las soldaduras, etc. Todas las dimensiones de la sección transversal de cada espécimen se deben medir antes del ensayo en distintos puntos sobre la longitud y se deben tomar fotografías de los especímenes antes, durante y después del ensayo siempre que se considere necesario. (Estos ensayos están concebidos como actividades del proceso de diseño y no como ensayos de aceptación para el comprador).

#### **9.1.1 Equipos para los ensayos**

Estos ensayos se deben ejecutar en una máquina de ensayos, mediante gatos hidráulicos en un marco de pruebas o aplicando pesos debidamente calibrados. La máquina de ensayos y los equipos de medición de carga deben cumplir con los requisitos prescritos en la NTC 3341, Método para verificar las cargas aplicadas por máquinas de ensayo.

Los pesos de las vigas de distribución de carga y otros equipos se deben medir e incluir en la evaluación de los datos del ensayo.

#### **9.1.2 Instrumentación**

Se requieren medidores de dial u otros dispositivos de medición de deflexiones en puntos apropiados para obtener la alineación adecuada y para medir adecuadamente el comportamiento carga-deflexión. Las deflexiones se deben medir y reportar con una precisión de  $\pm 0,76$  mm (0,03 pulgadas).

Se pueden usar extensómetros si se desea obtener características del comportamiento distintas de las cargas últimas y de las relaciones carga-deflexión. En general, para ensayos sobre probetas se usan extensómetros.

Para miembros sujetos a torsión (tales como secciones en canal y en zeta) se debe medir el ángulo de torsión por medios adecuados.

### **9.1.3 Reducción y presentación de los datos del ensayo**

Para cada ensayo, el reporte debe incluir:

- 1) Un esquema del espécimen con todas sus dimensiones.
- 2) Un esquema de la disposición del ensayo con todas las dimensiones, incluyendo la localización y tipo de los dispositivos de medida, disposición de las cargas y apoyos y una identificación de los aparatos de carga (máquina de ensayos, gatos, etc.) con información sobre el rango utilizado y el menor incremento medible para ese rango.
- 3) Los resultados de los ensayos de tracción sobre las probetas se deben presentar en forma de una tabla de elongaciones vs. cargas o, alternativamente, deformaciones unitarias vs. esfuerzos. El esfuerzo de fluencia y la resistencia última se debe determinar por cualquiera de los métodos aceptados por ASTM. (Es deseable incluir curvas esfuerzo-deformación unitaria en la presentación de los datos).
- 4) Para la presentación de los resultados del ensayo, todas las cargas, deflexiones y otros datos registrados serán reducidos apropiadamente a valores reales mediante la corrección, cuando se requiera, para las lecturas iniciales, peso de los equipos de carga (por ejemplo, las vigas de carga), etc.

Estas medidas reducidas se deben presentar en tablas que muestran la carga vs. el parámetro particular que se mide (deflexión, deformación unitaria, etc.). En las mismas tablas se deben anotar las observaciones de eventos específicos (pandeo de la aleta, falla de la conexión, etc.) con el valor de la carga para el cual dichos eventos ocurrieron.

Se recomienda la representación gráfica de las curvas carga-deformación al menos para las deflexiones en el punto medio de la viga; dependiendo de las observaciones efectuadas durante los ensayos y de la inspección de los datos tabulados puede ser recomendable la representación gráfica de otras relaciones carga-deformación, pero esto es opcional según indique la consideración que se haga.

### **9.1.4 Evaluación de los ensayos para determinar el desempeño estructural**

Los ensayos serán evaluados de acuerdo con la sección F1 del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.

## **9.2\* ENSAYOS DE PROBETAS (TRAMOS) DE PARALES DE PERFILES FORMADOS EN FRÍO O LAMINADOS EN CALIENTE**

### **9.2.1 Especimen de ensayo y procedimiento**

Los valores de Q para miembros con perforaciones solicitados a compresión que se usen en el numeral 4 se determinan mediante ensayos de probeta de paral según se describe en la Parte VIII del *Cold-Formed Steel Design Manual, American Iron and Steel Institute* del AISI. Los extremos de la probeta deben ser pulidos a una superficie plana (preferiblemente a una

tolerancia de  $\pm 0,025$  mm (0,001 pulgadas)) y perpendicular al eje longitudinal del paral. La carga axial se debe aplicar mediante placas planas en contacto (sin estar soldadas o conectadas de otra manera) con los extremos pulidos. Para efectos de obtener Q, se requiere obtener únicamente la resistencia última de la probeta del paral.

### 9.2.2\* Evaluación de los resultados de los ensayos

Q se calcula como sigue:

$$Q = \frac{\text{Re sistencia última a compresión del ensayo de probeta del paral}}{F_y A_{net \min}}$$

en donde

- $F_y$  = esfuerzo de fluencia real del material del paral si no se está considerando el efecto del trabajo en frío; o el promedio ponderado del esfuerzo de fluencia  $F_y$ , calculado de acuerdo con el apéndice A.5.2.2 del documento del AISI - Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members del AISI si se está considerando el efecto del trabajo en frío.
- $A_{net \min}$  = es el área mínima de la sección transversal del paral, que se obtiene de pasar un plano a través del paral en dirección normal al eje del paral. En ningún caso se tomará un valor de Q mayor de 1,0

En caso de que se tenga una serie de secciones con idénticas dimensiones de la sección transversal e idénticas dimensiones y localización de las perforaciones pero con distintos valores del espesor, se requerirá efectuar los ensayos de la probeta del paral solamente para el mayor y el menor espesor ( $t_{\max}$  y  $t_{\min}$ ). Los valores de Q para espesores intermedios se deben obtener por interpolación de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Q = Q_{\min} + \frac{(Q_{\max} - Q_{\min})(t - t_{\min})}{(t_{\max} - t_{\min})}$$

donde Q es el valor para el espesor intermedio t, y  $Q_{t \max}$  y  $Q_{t \min}$  son los valores obtenidos de los ensayos para el mayor y el menor valor del espesor, respectivamente. Esta interpolación es permisible solamente si los esfuerzos de fluencia de los dos especímenes no difieren en más de un 25 % y si el esfuerzo de fluencia para cada espesor intermedio no excede al mayor entre los esfuerzos de fluencia de los especímenes ensayados.

### 9.3\* ENSAYO DE LAS VIGAS PORTANTES

#### 9.3.1\* Ensayo de vigas portantes simplemente apoyadas

Este ensayo es aceptable solamente para vigas que no estén sujetas a esfuerzos o distorsiones significativas debidas a la torsión.

Se efectuará el ensayo de una viga portante simplemente apoyada solo cuando se requiera determinar los parámetros de comportamiento flexional tales como el momento de fluencia, el momento último y la rigidez flexional efectiva (EI). Para este último parámetro, se deben efectuar ensayos sobre dos especímenes idénticos excepto cuando se requiera un tercer ensayo según se especifica en el numeral 9.3.1.3. Si se requiere restricción lateral, las vigas se deben probar en parejas tal como se usarían en un ensamble completo.

##### 9.3.1.1\* Disposición del ensayo

El montaje para el ensayo consiste en un espécimen de ensayo de la viga simplemente apoyado en sus dos extremos (no conectado a paraleles). La carga se aplica sobre una viga de

distribución que a su vez la transmite sobre dos puntos del espécimen de ensayo. Cada punto de carga sobre el espécimen de ensayo está localizado a una distancia S/C desde el soporte; donde S es la luz y C es un valor numérico entre 2,5 y 3,0. Se pueden usar refuerzos en lámina para evitar fallas locales sobre los soportes o en los puntos de aplicación de la carga.

### **9.3.1.2\* Procedimiento del ensayo**

Después de alinear los componentes del ensayo, se aplicará al ensamble una carga inicial de aproximadamente el 5 % de la carga última esperada, asegurando así un contacto firme entre el espécimen y todos los componentes de carga y de apoyo. Para este nivel de carga, se deben tomar lecturas iniciales en todos los instrumentos de medida. La carga se debe aplicar entonces en incrementos no mayores que, aproximadamente, un quinto de la carga de diseño esperada. Se tomarán lecturas para todos los incrementos de carga. Es una buena práctica graficar la carga contra la deflexión en el punto medio de la luz para cada incremento de carga a medida que se efectúa el ensayo. Cualquier desviación apreciable de la línea recta en esta gráfica indicará un comportamiento inelástico incipiente o un pandeo o arrugamiento local. Cuando esto ocurra, se reducirá la magnitud de los incrementos de carga a un valor no mayor que la mitad de los incrementos iniciales. (Una práctica conveniente, aunque no obligatoria, es la de medir la deformación permanente para cargas en el rango de  $\pm 25$  % de la carga de diseño esperada, lo cual se logra disminuyendo la carga aplicada después de cada incremento hasta el valor de la carga inicial. Se tomarán las lecturas apropiadas sobre los instrumentos de medición bajo esta carga inicial para determinar la deformación permanente).

Un incremento cada vez mayor en la magnitud de la deflexión para iguales incrementos de la carga aplicada, anuncia la proximidad de la carga última de falla. Si la naturaleza del espécimen hace posible una falla súbita, y si tal falla súbita pudiera dañar los instrumentos de medición, éstos se deben remover. Por otro lado, si se espera una falla gradual, tal como la asociada a la fluencia, será deseable tener mediciones de los últimos valores de la deflexión sobre la línea media de la viga hasta y más allá de la carga máxima o última, para obtener algún segmento del tramo descendiente de la curva carga-deflexión.

Todos los eventos específicos apreciables por inspección visual, tales como pandeo local, arrugamiento, fallas de las conexiones, etc., se deben registrar con el valor de la carga para el cual dichos eventos ocurrieron.

### **9.3.1.3 Evaluación de los resultados de los ensayos**

Los parámetros investigados se deben determinar a partir de los resultados de los ensayos usando métodos convencionales.

La rigidez flexional se debe calcular con base en los resultados de dos ensayos sobre especímenes idénticos, siempre y cuando la desviación de los datos con respecto al valor promedio no sea mayor del 10 %. Cuando esta desviación sea mayor al 10 % se debe ensayar un tercer espécimen. El promedio de los dos menores valores obtenidos se toma como resultado de la serie de ensayos.

### **9.3.2\* Ensayo de viga portante montada en marcos**

Con este ensayo se busca simular de manera más aproximada las condiciones que se presentan en una estantería real.

### **9.3.2.1\* Disposición del ensayo**

El montaje para el ensayo consiste en dos marcos no anclados al piso y dos niveles de vigas portantes con amarres entre las vigas frontales y posteriores cuando así se especifique.

Los marcos pueden ser tan altos como se desee. Sin embargo, las vigas del nivel inferior se deben localizar y ensayar de manera que no haya menos de 61 cm (24 pulgadas) libres entre ellas y el piso o entre ellas y las vigas del nivel superior.

Las conexiones de extremo deben ser idénticas a las usadas en el prototipo.

La localización de las cargas de ensayo perpendicular a las vigas debe simular la condición real de carga.

Si las cargas se aplican mediante estibas o con otros dispositivos que se apoyen sobre las vigas, es importante que la fricción entre las estibas y las vigas se reduzca al mínimo posible usando grasa u otros medios. (Se hace esta sugerencia pues si en el ensayo se usaran estibas nuevas y secas apoyadas sobre vigas nuevas y secas se podría tener una condición de restricción considerablemente mayor que la que ocurrirá en la realidad con estibas y vigas pulidas por el uso y posiblemente cubiertas con una película de aceite.)

La instrumentación mínima para estos ensayos consiste en dispositivos para medir, para ambas vigas cargadas, las deflexiones de los puntos medios con respecto a sus extremos. Una manera de hacerlo es fijando sobre el punto medio de cada viga una escala graduada a 0,25 mm (0,01 pulgadas) y extendiendo un hilo o cable tensado entre los extremos de la viga. Otra manera consiste en usar medidores tipo dial en el punto medio y en los extremos de cada viga. Se pueden usar también tránsitos para medir escalas graduadas localizadas en el punto medio y en los extremos de las vigas.

Solamente cuando se vayan a analizar condiciones especiales se requerirá instrumentación adicional, tal como extensómetros o medidores tipo dial en los extremos de las vigas. Para vigas muy asimétricas, tales como canales profundas, o secciones en C, puede ser recomendable medir la rotación bajo la carga. Esto se logra con mayor facilidad fijando rígidamente, sobre el punto medio de la viga o cerca de éste, un transportador de suficiente tamaño. Se tomarán entonces lecturas de una plomada contra el transportador para cada incremento de la carga.

### **9.3.2.2 Procedimiento de ensayo**

Se usarán los procedimientos de ensayo especificados en el numeral 9.3.1.2 de esta norma.

### **9.3.2.3\* Evaluación de los resultados de los ensayos**

La carga de diseño debe ser la menor entre las siguientes:

- 1) La resistencia determinada de acuerdo con las disposiciones de la Sección F y sus subsecciones del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*.
- 2) Dos tercios de la carga para la cual se observen en el ensayo distorsiones no aceptables en las conexiones o en cualquier otro punto. Estas distorsiones incluyen rotaciones de una magnitud tal que afecten la funcionalidad de la viga.

- 3) La carga (sin incluir impacto) para la cual la máxima deflexión vertical medida con respecto a los extremos de la viga sea de 1/180 de la luz.

**9.3.3** El número de ensayos para determinar las cargas de diseño debe ser la especificada en la sección F del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* .

**9.3.4** Una vez se determine la carga de diseño según se especifica en los numerales 9.3.1 a 9.3.2.3, se debe realizar un ensayo adicional usando un nuevo juego de especímenes. Se debe aplicar una carga inicial igual a la carga de diseño, se remueve esta carga y se mide la deflexión; esta lectura de la deflexión es la lectura “cero” de referencia. Entonces, se debe aplicar una carga igual a 1,5 veces la carga de diseño y se debe leer la deflexión. Esta carga se debe mantener constante durante un cuarto de hora y se lee nuevamente la deflexión. Esta última lectura de la deflexión no debe exceder a la lectura anterior en más de un 5 %. La carga se debe remover totalmente y se debe leer la deformación residual o permanente. La deflexión residual neta de la viga no debe ser mayor de un 15 % de la deflexión total que se haya medido con la carga igual a 1,5 veces la carga de diseño.

Si no se cumplen estas limitaciones, se debe reducir de conformidad la carga de diseño o se debe determinar y corregir la fuente de la deflexión residual, y se debe repetir el ensayo con nuevos especímenes.

#### **9.4\* ENSAYO DE LA CONEXIÓN VIGA PORTANTE-PARAL**

##### **9.4.1\* Ensayo Tipo *Cantiliver***

Mediante este ensayo se determina la capacidad a momento de la conexión.

###### **9.4.1.1\* Disposición del ensayo**

El ensamble para el ensayo consiste de una viga portante de por lo menos 66 cm (26 pulgadas) de longitud, conectada al centro de un paral de por lo menos 76 cm (30 pulgadas) de longitud. Ambos extremos del paral deben estar rígidamente conectados a soportes rígidamente. La carga se aplica a la viga portante a 61 cm (24 pulgadas) de distancia desde la cara del paral. En este punto de aplicación de la carga, se debe instalar un instrumento de medición con dial para medir las deflexiones.

###### **9.4.1.2 Procedimiento de ensayo**

Se debe usar el procedimiento de ensayo especificado en el numeral 9.3.1.2.

###### **9.4.1.3\* Evaluación de los resultados del ensayo**

El momento de diseño se debe determinar de manera similar a lo especificada en los requisitos 1 y 2 del numeral 9.3.2.3.

##### **9.4.2\* Ensayo tipo pórtico**

###### **9.4.2.1\* Disposición del ensayo**

El montaje para el ensayo debe consistir de dos marcos verticales apoyados en cuatro barras semicirculares, una bajo la base de cada paral, y dos vigas a una altura tal que su parte superior quede a 61 cm (24 pulgadas) por encima del piso, con elementos de amarre entre ellas cuando así se especifique.



Las barras semicirculares se localizarán sobre el eje centroidal de los parales, con orientación perpendicular a las vigas. Cuando sea necesario, se podrán colocar platinas adicionales entre las placas de base de los parales y las barras semicirculares de apoyo. Se debe restringir el desplazamiento lateral pero no la rotación de las bases de los parales.

#### **9.4.2.2 Procedimiento de ensayo**

Una vez la estantería se ensambla adecuadamente, se deben cargar las vigas con una carga igual a la carga de diseño, simulando la condición usual de carga. Se debe aplicar una fuerza horizontal, de magnitud igual a la carga horizontal de diseño correspondiente a la carga vertical aplicada, a nivel superior de las vigas, en dirección paralela a éstas e igualmente distribuida entre los dos parales en un extremo de las vigas. La deflexión debida a la carga horizontal se debe medir a nivel superior de las vigas.

El procedimiento se debe repetir para una carga igual al doble de la carga de diseño.

#### **9.4.2.3\* Evaluación de los resultados del ensayo**

La constante de resorte se determina mediante un análisis racional.

### **9.5\* ENSAYO DE LOS MARCOS**

Con los ensayos de los marcos que se especifican en esta sección se pretende simular de la forma más aproximada las condiciones que ocurren en la estantería real. El propósito del ensayo es determinar las cargas sobre el marco que producirán una falla del paral a una altura entre el piso y las vigas inferiores, o entre las vigas del nivel inferior y las vigas del segundo nivel en un montaje de tres niveles de vigas.

Este ensayo reflejará el efecto de las cargas verticales y las cargas horizontales como se especifica en el numeral 2.5.1, así como el efecto de las conexiones semirrígidas. Este procedimiento se aplica también a los numerales 2.6 y 2.7, con ajustes para tener en cuenta las cargas modificadas y los incrementos en los esfuerzos admisibles según el Diseño por Esfuerzos Admisibles (ASD).

#### **9.5.1 Carga horizontal en dirección perpendicular al marco**

##### **9.5.1.1 Condición de carga simétrica**

##### **9.5.1.1.1\* Disposición del ensayo**

El montaje del ensayo debe consistir en tres marcos no anclados al piso, y por lo menos dos niveles de vigas que conecten los marcos entre sí para conformar dos módulos de estantería. Cuando la distancia del piso a la primera viga sea menor que la distancia entre las vigas, se deben usar tres niveles de vigas.

El espaciamiento vertical entre las vigas debe ser el mismo que se tendrá en la aplicación real. El marco puede ser tan alto como se desee; y su construcción debe tener las mismas sección transversal, geometría y diagonalado que las que se tendrán en la aplicación real. La viga del nivel superior y su conexión al paral pueden ser más pesadas y reforzadas según se requiera para soportar la aplicación de la carga de ensayo hasta el punto de falla del marco. Las vigas restantes y sus conexiones deben ser idénticas a las de la aplicación real. Esta carga de ensayo representa la carga de dos o más niveles de viga.

Las cargas horizontales se deben aplicar en dirección perpendicular a uno de los marcos exteriores, a nivel medio de las conexiones de las vigas, ya sea mediante gatos hidráulicos o mediante un sistema de cables y poleas con pesos colgantes. La carga en cada nivel de vigas se debe aplicar por igual a cada par del marco.

Para medir los desplazamientos horizontales, se debe localizar una escala sobre la línea media de cada nivel de vigas, y otra escala a media altura entre el nivel inferior de vigas y el piso. Todas las escalas se pueden localizar sobre un mismo par.

#### **9.5.1.1.2 Procedimiento del ensayo**

- 1) Alinear la estructura de la estantería de tal manera que quede nivelada y aplomada y que todos los componentes se apoyen adecuadamente.
- 2) Tomar las lecturas iniciales sobre las escalas.
- 3) Colocar una carga vertical igual a 1,5 veces la carga de diseño de las vigas en cada una de las vigas del nivel inferior.
- 4) Tomar lectura de las escalas para desplazamientos horizontales.
- 5) Aplicar una carga horizontal al marco a la altura de cada nivel de vigas. La carga horizontal se debe determinar según el numeral 2.5.1.
- 6) Tomar lectura de las escalas para desplazamientos horizontales.
- 7) Aplicar una unidad de carga vertical adicional sobre las vigas reforzadas del nivel superior únicamente y tomar lecturas de las escalas para desplazamientos horizontales.
- 8) Aplicar una unidad de carga horizontal adicional a las vigas reforzadas del nivel superior únicamente. Tomar lecturas de las escalas para desplazamientos horizontales. (Si se usan gatos hidráulicos, asegurarse de que el gato hidráulico a nivel de la viga inferior esté siempre aplicando la carga apropiada al marco).
- 9) Repita los pasos (7) y (8) hasta que ocurra la falla en el marco.

#### **9.5.1.1.3 Evaluación de los Resultados del Ensayo**

La carga vertical de diseño para un marco se debe determinar de acuerdo con las disposiciones aplicables de la Sección F del documento del AISI - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural* y sus subsecciones. La carga última del ensayo será el menor valor obtenido entre las tres condiciones ensayadas, esto es, carga simétrica según el numeral 9.5.1.1, carga asimétrica según el numeral 9.5.1.2, y carga horizontal en dirección paralela al marco.

#### **9.5.1.2 Condición de Carga Asimétrica**

El montaje del ensayo y el procedimiento para su ejecución son los especificados en el numeral 9.5.1.1 para la condición de carga simétrica, excepto que no se debe aplicar ninguna carga en uno de los niveles de vigas del módulo directamente adyacente a la localización del par cuya falla se espera. La carga horizontal se debe aplicar en la dirección del desplazamiento horizontal.

## **9.5.2 Carga horizontal en dirección paralela al plano del marco**

### **9.5.2.1 Disposición del ensayo**

El montaje del ensayo es el mismo del numeral 9.5.1.1.1, excepto que la localización de las cargas horizontales y las escalas se deben modificar para aplicar las cargas horizontales en el plano del marco y registrar los desplazamientos sobre este mismo plano.

### **9.5.2.2 Procedimiento del ensayo**

El procedimiento del ensayo es el mismo del numeral 9.5.1.1.2, excepto que en el paso (5) la distribución de la carga horizontal entre los niveles de vigas sobre cada marco debe ser según se determina en el numeral 2.5.1.

Las cargas de ensayo aplicadas se deben modificar de tal manera que se refleje adecuadamente el mayor efecto que sobre el volcamiento y la fuerza cortante tienen las cargas aplicadas sobre los niveles superiores en la estantería debido a su mayor brazo de momento.

### **9.5.2.3 Evaluación de los resultados del ensayo**

Véase el numeral 9.5.1.1.3

**ANEXO A****DISPOSICIONES ESPECIALES PARA ESTANTERÍAS DESTINADAS A ALMACENAMIENTO AUTOMATIZADO Y MANUAL Y SISTEMAS DE RECUPERACIÓN (ESTANTERÍAS DE APILAMIENTO)****A.1.1 Objeto**

Comoquiera que la mayoría de las disposiciones generales de la parte principal de la especificación se aplican a las estanterías destinadas a almacenamiento automatizado y manual y sistemas de recuperación, se proporcionan aquí algunas disposiciones especiales adicionales para este tipo de estanterías. Dichas estanterías pueden ser de tipo "Drive-in" o de tipo "viga – paral" y se pueden utilizar en "estructuras soportadas de estanterías".

A las disposiciones de este anexo se les ha dado los mismos números de las partes correspondientes de la norma. Cuando no se da en el anexo un requisito o excepción especial, esto implica que el texto principal de la especificación se debe seguir donde corresponda.

**A.1.4.10 Resistencia al menor impacto**

No es necesario diseñar las estructuras de estanterías para colisión accidental proveniente de grúa o sistemas mecánicos de movimiento de carga.

**A.1.4.12 Tolerancias**

Las tolerancias de instalación y diseño deben ser suministradas por el usuario de la instalación con base en los requerimientos del fabricante del equipo.

**A.2.4 Cargas de impacto vertical**

El fabricante de equipos móviles es responsable de suministrar al fabricante de las estanterías la información sobre las máximas cargas estáticas y dinámicas verticales para el diseño de las estanterías; las estructuras de la estantería se deben diseñar para estas cargas.

**A.2.5 Cargas horizontales**

Las cargas horizontales especificadas en los numerales 2.5.1 y 2.5.2 de esta norma se deben utilizar en el diseño de las estanterías.

**A.2.6 Cargas de viento y cargas de granizo**

Las cargas de viento (incluyendo las cargas ascendentes) y cargas de granizo se deben considerar en el diseño de las estanterías durante la construcción y el uso. Al determinar la carga total sobre una estructura de estanterías, se deben tener en cuenta las cargas en todos los miembros de la estructura según la configuración del sistema (disposición de marcos y vigas) y la forma de cada uno de los elementos (secciones transversales), y otras cargas aplicables.

No se debe suponer que las cargas especificadas en los numerales 2.5.1 y 2.7 actúan de manera simultánea con cargas de viento, pero se debe asumir que las cargas descritas en el numeral 2.5.2 actúan de manera simultánea con cargas de viento.

**A.5.3 Deflexiones**

Las deflexiones no deben sobrepasar los límites asignados por los requerimientos de la operación del equipo.

#### **A.8.4 Compatibilidad de la estantería con el equipo**

Se deben calcular y revisar las deflexiones horizontales y verticales de la estantería con los sistemas mecánicos de movimiento de carga para garantizar la compatibilidad entre los sistemas.

El diseño de la estantería debe ser compatible con el equipo. Las consideraciones básicas deben incluir la altura al primer entrepaño, la distancia entre el último entrepaño y el corredor lateral de amarre, altura de los equipos y sistema de rociadores.

**ANEXO B**  
(Informativo)**COMENTARIO SOBRE LA ESPECIFICACIÓN PARA EL DISEÑO, ENSAYO  
Y UTILIZACIÓN DE ESTANTERÍAS INDUSTRIALES DE ACERO****B.1.1 Objeto**

El objeto limita la aplicabilidad de la especificación a las estanterías de estibas, a las estanterías de entrepaños removibles, y a las estanterías autoapilables fabricadas con acero laminado en caliente o con acero formado en frío. Aunque explícitamente sólo se mencionan estos tres tipos de estanterías, la especificación también tiene el propósito de aplicarse a cualquier estantería libre que tenga un sistema estructural tridimensional compuesto por marcos arriostrados en una dirección y marcos de momento en la otra. En otras palabras, cualquier sistema de estanterías que esté construido con vigas y marcos. Estos tipos incluyen las estanterías tipo “*Push Back*”, estanterías de flujo de estibas, estanterías de flujo de cajas y módulos de selección de carga. La especificación también tiene el propósito de ser aplicada a sistemas de estanterías que hacen parte del sistema estructural del edificio o la nave industrial. (autoportantes).

Los sistemas de estanterías que se excluyen de esta especificación (tales como los sistemas en “*Cantiliver*” y los sistemas “*Drive-In*”) se excluyen por dos razones: primero, ciertos numerales contenidos en la especificación no se aplican a estos tipos de estanterías. Por ejemplo, las disposiciones establecidas en el numeral 6 para el marco y la longitud efectiva y las disposiciones del numeral 5 para diseño de viga no son aplicables a estos tipos de estanterías. Segundo, la especificación no incluye las disposiciones de diseño necesarias para estos tipos de estanterías. Por ejemplo, se deberían incluir los factores de longitud efectiva y los límites de deflexión para los marcos en voladizo. Algunos de los capítulos de diseño y disposiciones especiales de los ensayos de esta especificación son aplicables, y por consiguiente útiles, en el diseño y ensayos de otros tipos de estanterías. Por ejemplo, el diseño de elementos y miembros de acero del numeral 4 es aplicable a cualquier miembro de acero laminado en caliente o formado en frío de otros tipos de estanterías como las estanterías en “*Cantiliver*” o las estanterías de tipo “*Drive In*”.

**B.1.2 Referencias normativas**

**B.1.2.1** *American National Standard For the Use of Industrial and Commercial Steel Storage Racks - Manual of Safety Practices / A Code of Safety Practices.*

**B.1.2.2** AISC. *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings.* American Institute for Steel Construction, Chicago, IL, Diciembre 1, 1993.

**B.1.2.3** AISC. *Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design.* American Institute for Steel Construction, Chicago, IL, Junio 1, 1989.

**B.1.2.4** AISI. *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members.* American Iron and Steel Institute, Washington DC, 1996.

**B.1.2.5** BSSC. NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) *Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings.* Washington, DC: Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency, 1994.

- B.1.2.6** UBC. *Uniform Building Code*. Whittier, CA: International Conference of Building Officials, 1997.
- B.1.2.7** BSSC. NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) *Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings*. Washington, DC: Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency, 1997.
- B.1.2.8** BOCA. *National Building Code. Building Officials and Code Administrators International*, 1996.
- B.1.2.9** SBC. *Standard Building Code. Southern Building Code Congress International*, 1997.
- B.1.2.10** ASCE 7-95. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, 1995.
- B.1.2.11** Davies, J.M., “*Down-Aisle Stability of Rack Structures*,” *Proceedings of the Eleventh Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, St. Louis, Missouri, Octubre 20-21, 1992.
- B.1.2.12** Pekoz, Teoman, ‘*Development of a Unified Approach to Design of Cold- Formed Steel Members*’, AISI Report S.G.-86-4, Noviembre 1986.
- B.1.2.13** Rack Manufacturers Institute “*Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks*,” 1990.
- B.1.2.14** AISI. *Cold-Formed Steel Design Manual*, American Iron and Steel Institute, Washington DC, 1996.
- B.1.2.15** Pekoz, Teoman, ‘*Design of Perforated Cold-Formed Steel Columns*’ Proceeding of 9th International Specialty Conference, Cold-Formed Steel Structures, St. Louis, MO, Noviembre 1988.
- B.1.2.16** AISC. *Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design*, 2nd ed. Volumes 1 and 2. Chicago: American Institute of Steel Construction, 1994.
- B.1.2.17** AISC. *Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design*, 9th ed. Chicago: American Institute of Steel Construction, 1989.
- B.1.2.18** Pekoz, T. and Winter, G. “*Torsional-Flexural Buckling of thin-Walled Sections under Eccentric Loading*,” J. of the Structural Division, ASCE, Mayo 1969.
- B.1.2.19** Galambos, T.V. (Editor), “*Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*,” Fourth Edition, John Wiley and Sons, New York, NY, 1988.
- B.1.2.20** Galambos, T.V., “*Influence of Base Fixity on Frame Stability*,” J. of the Structural Division, ASCE, Mayo 1960.
- B.1.2.21** Salmon, C.G., Schelenker, L. and Johnston, B.G., “*Movement Rotation Characteristics of Column Anchorages*”, Proceedings, ASCE, Abril 1955.
- B.1.2.22** Chajes, A., Fang, P.J. and Winter, G., “*Torsional-Flexional Buckling, Elastic and Inelastic of Cold-Formed Steel Thin Walled Columns*”, Cornell Engineering Research Bulletin, 1966, Ithaca, NY.
- B.1.2.23** Timoshenko, S.P. and Gere, J.M., ‘*Theory of Elastic Stability*’, McGraw-Hill Book Company, New York, NY, Second Edition.

### **B.1.3 Materiales**

El propósito de este numeral es asegurar que se utilice acero de calidad estructural en la fabricación de estanterías, sin limitar el tipo de acero a ninguna característica particular de resistencia o de laminado.

### **B.1.4 Especificaciones de diseño aplicables**

Esta disposición establece que la especificación sobre estanterías contiene solamente suplementos o modificaciones relativamente menores de las especificaciones AISI y AISC mencionadas en el numeral 1.2, tanto las que se necesitan por la naturaleza especial de las estructuras de estanterías, como las que difieren de las de marco regular para edificaciones de acero.

Esta especificación permite el diseño tanto por el método esfuerzos admisibles (ASD) como por el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD).

### **B.1.5 Integridad de las instalaciones de estantería**

#### **B.1.5.1 Mantenimiento por el propietario**

Este numeral enfatiza en la importancia de planificar el proceso de diseño inicial, controlar el uso de la estantería para el cual se propuso inicialmente, y programar inspecciones regulares para mantener la integridad de las estructuras de estanterías. Para información adicional sobre prácticas seguras en el uso de estanterías de almacenamiento, consultar la *“American National Standard For the Use of Industrial and Commercial Steel Storage Racks - Manual of Safety Practices / A Code of Safety Practices”* (véase el literal B.1.2.1)

#### **B.1.5.2 Placas**

En las bodegas industriales y comerciales, las cargas unitarias permisibles por piso generalmente se ponen en locaciones fácilmente visibles, y esta ubicación generalmente es exigida por la ley. La especificación establece que se indique de manera similar la máxima carga unitaria permisible para cada determinada instalación de estantería. En las estanterías diseñadas para recibir cargas sobre estibas de tamaño estándar, una carga unitaria significa el peso combinado del producto y la estiba a menos que la instalación proporcione más de una carga unitaria apilada una encima de otra. Las vigas de carga se pueden identificar por separado. En las Figuras B.1 y B.2 se ilustra una placa a modo de muestra. Estas figuras no pretenden limitar los detalles de las placas, sino que se presentan como posibles ejemplos. El propósito de la especificación es que la placa informe a los usuarios acerca de la capacidad segura de la estantería, por consiguiente se acepta cualquier placa que transmita la información requerida. El usuario tendrá la responsabilidad de conocer este límite de carga y de instruir a todo el personal de operación para que tenga cuidado de que no se sobrepase la carga permisible.



**CARGA MÁXIMA ADMISIBLE**

**1 134 kg** CARGA UNITARIA TOTAL

**11 340 kg** CARGA TOTAL POR CORREDOR

**ADVERTENCIA**

Las capacidades mostradas arriba se basan en componentes nuevos sin daños. Los daños reducen la capacidad de la estantería. Reparar o reemplazar los componentes dañados.

**IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA**

Esta instalación de estantería se diseño y construyó de conformidad con la Norma Técnica Colombia (NTC) "Especificación para el Diseño, Ensayo y Utilización de Estanterías Industriales de Acero"

**Figura B.1. Ejemplo de placa que indica la capacidad de carga y el deber de acatarla**

**CARGA MÁXIMA ADMISIBLE**

**366 kg/m<sup>2</sup>** CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

**9 072 kg** CARGA TOTAL POR CORREDOR

**ADVERTENCIA**

Las capacidades mostradas arriba se basan en componentes nuevos sin daños. Los daños reducen la capacidad de la estantería. Reparar o reemplazar los componentes dañados.

**IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA**

Esta instalación de estantería se diseño y construyó de conformidad con la Norma Técnica Colombia (NTC) "Especificación para el Diseño, Ensayo y Utilización de Estanterías Industriales de Acero"

**Figura B.2. Ejemplo de placa que indica la capacidad de carga y el deber de acatarla**

### **B.1.5.3 Conformidad**

Para las estanterías diseñadas de acuerdo con esta especificación, es importante que los inspectores de las edificaciones y de seguridad sepan si las estanterías se produjeron y se construyeron siguiendo esta especificación. Con este fin, el numeral 1.5.3 establece que se debería poner una placa que indique la conformidad con la especificación para las estanterías producidas de esta manera. El propósito es que dicha declaración de conformidad facilite y simplifique considerablemente la aprobación de las instalaciones de estanterías por las autoridades de inspección locales, regionales y estatales.

### **B.1.5.4 Esquemas de aplicación de carga y configuración de la estantería**

Para propósitos de inspección de seguridad, deberían estar disponibles los datos completos sobre la ingeniería de diseño y capacidad de las estanterías tal como se ordenaron, entregaron e instalaron originalmente.

Por esta razón, el numeral 1.5.4 dispone que dicha información sea exhibida en forma de esquemas de configuración de estanterías con indicaciones sobre la magnitud y aplicación de la carga, por el administrador de la estantería o por los representantes locales del fabricante involucrados en proveer y construir la instalación de estanterías en particular. La disposición según la cual estas dos partes deberían mantener esta información en archivo es importante porque tanto el propietario de la instalación de estanterías como el administrador local la pueden cambiar en algún momento después de la instalación. La salvaguarda de dicha información por las dos partes aumentará considerablemente la probabilidad de que ella esté disponible si se requiere y en el momento en que se requiera.

#### **B.1.5.5 Configuraciones múltiples**

La mayoría de las estanterías se producen de modo que sean ajustables y se puedan ensamblar en configuraciones diferentes de las que se ordenaron e instalaron originalmente. En consecuencia, es posible instalar o modificar una estantería con una configuración alterna que sea insegura. Por ejemplo, mientras se utilizan los componentes originales (vigas y marcos) la estantería podría ser reorganizada para reducir la distancia vertical entre las vigas superiores, lo cual aumentaría la longitud sin arriostrar del tramo inferior de los parales. Su aumentada proporción de esbeltez reduciría la capacidad de carga de los parales con respecto a la configuración original. Alternativamente, las estanterías se pueden modificar mediante la instalación de componentes adicionales; por ejemplo, un gran número de vigas de entrepaños a menor espaciado vertical con respecto a los marcos originales. Esto reduciría la proporción de esbeltez de los segmentos de los parales individuales y aumentaría sus capacidades de carga. Sin embargo, las cargas adicionales, las cuales se pueden situar ahora sobre un mayor número de entrepaños, podrían aumentar la carga sobre los parales en una cantidad mayor que la capacidad aumentada resultante de la reducción de la longitud sin arriostrar. Estos son tan solo dos ejemplos de configuraciones cambiadas que podrían hacer insegura una estantería originalmente adecuada.

El propietario o usuario de las instalaciones de estanterías generalmente no tendrá la capacidad de ingeniería para establecer la seguridad de esta configuración cambiada.

Por estas razones el numeral 1.5.5, en síntesis, establece que se den al propietario unas pautas amplias en cuanto a las configuraciones alternas que se pueden utilizar en condiciones de seguridad. Si se deben hacer cambios diferentes de los que se han detallado en las pautas, se debería contactar al fabricante original o ingeniero competente de estanterías de almacenamiento.

#### **B.1.5.6 Estabilidad de estanterías de entrepaños removibles**

Estas estanterías difieren de las estanterías de almacenamiento estándar en que la mayoría de los entrepaños están diseñados para removerse. En las estanterías de almacenamiento estándar, los entrepaños (vigas) se ajustan fácilmente, pero no se pueden remover sin descargar la estantería y reensamblar los componentes. Por esta razón, las estanterías de entrepaños removibles son acondicionadas con uno o más entrepaños y/o riostras permanentes que proporcionan la estabilidad necesaria a la estructura. Este numeral especifica las provisiones para identificar aquellos componentes estabilizadores y para establecer advertencias y restricciones para la remoción.

#### **B.1.5.7 Platinas de base y anclajes**

La función de las platinas de base es recibir las cargas concentradas en los extremos inferiores de los parales y distribuirlos con adecuada uniformidad sobre una superficie de apoyo suficientemente grande. Las disposiciones para el dimensionamiento de las superficies de

apoyo sobre pisos de concreto se indican en el numeral 7.2. Se requiere la adecuada conexión del paral a la superficie de apoyo para transferir las cargas apropiadamente.

Este numeral también especifica que todas las estanterías se deberían anclar al piso. Los pernos de anclaje se deberían instalar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del anclaje.

Los anclajes cumplen diversas funciones:

- 1) Fijan las posiciones relativas de los parales adyacentes y las distancias entre ellos.
- 2) Proporcionan resistencia contra desplazamientos horizontales de los extremos inferiores de los parales. Una tendencia hacia dicho desplazamiento horizontal puede provenir de las cargas laterales externas (terremoto, viento, impacto, etc.) o de reacciones horizontales (cargas cortantes) resultantes de la acción del marco rígido o semirrígido de la estantería. Si estas cargas cortantes llegan a causar desplazamientos horizontales de los extremos inferiores de los parales, esto reduciría la capacidad de carga de la estantería con respecto a los valores calculados.
- 3) Para estanterías particularmente altas y angostas, los anclajes pueden aumentar considerablemente la estabilidad contra volcamiento (véase el numeral 8.1).

#### **B.1.5.8 Instalaciones pequeñas**

Este numeral presenta una excepción para las instalaciones de estanterías pequeñas a partir de las disposiciones documentadas en los numerales 1.5.2 a 1.5.5. Estos requisitos constituirían un trabajo arduamente excesivo para el manejo de dichas instalaciones. Sin embargo, en cuanto a todo lo demás, las disposiciones sobre diseño, ensayo y utilización indicadas en la especificación se aplican a todas las estanterías incluyendo las pequeñas instalaciones tal como se definen en este numeral.

#### **B.1.5.9 Resistencia al menor impacto**

Las colisiones de los montacargas u otro equipo móvil con parales frontales son la única y más importante fuente de inquietud en cuanto al aspecto estructural de las estanterías de almacenamiento.

Este numeral se refiere a la protección de aquellas partes inferiores de los parales que están expuestas a este tipo de colisiones. El nivel exacto al que pueden ocurrir estas colisiones depende de la configuración detallada del montacargas. Por experiencia general, cuando ocurren colisiones con los equipos existentes, los daños del paral se concentran en la parte inferior del primer nivel de vigas. Cuando la viga inferior está situada a cierta distancia, por ejemplo, 0,6 m a 1,2 m del piso, el contrapeso posterior de algunos montacargas puede impactar la viga imponiendo una carga horizontal muy considerable sobre la viga o el arriostamiento del marco. En este caso se debería considerar una protección al impacto de una naturaleza especial.

Aunque no es práctico diseñar estanterías que resistan el máximo impacto posible de un equipo de almacenamiento, este numeral indica dos posibles maneras de salvaguardar las estanterías contra las consecuencias de colisiones menores. Los usuarios deberían contactar al proveedor de estanterías para conocer las recomendaciones de los productos disponibles.

La primera forma consiste en proveer dispositivos de protección que impidan a los montacargas golpear los parales expuestos. Para este propósito se pueden utilizar defensas y parachoques. Además, los deflectores que, aunque no están diseñados para soportar el impacto total del

montacargas, están modelados para desviar lejos el punto de colisión con los parales. No hay datos específicos disponibles con respecto a la carga para la cual deberían ser diseñados estos dispositivos protectores. Es responsabilidad del propietario especificar, en los documentos del contrato, los requisitos de diseño del deflector. Desde luego, ellos dependerán del peso y de la velocidad del montacargas y también de que dichas defensas que absorben energía puedan absorber las proporcionadas por el propio montacargas. No es necesario que dichos dispositivos mantengan completamente su propia integridad en dichas colisiones, sino solamente que protejan los parales ante la colisión, incluso si los mismos sufren daño considerable. Por consiguiente, dichos dispositivos se deberían diseñar de modo que se puedan remplazar o reparar fácilmente en caso de presentarse un daño por colisión.

Un segundo método de salvaguardar el marco de la estantería consiste en reforzar el tramo inferior del paral frontal y/o el arriostramiento en el marco. Los métodos comunes incluyen soldar un ángulo de desviación al frente del paral lateral del corredor, duplicando la resistencia de la sección mediante la soldadura de dos parales conjuntamente, utilizando arriostramiento horizontal y diagonal más pesado para proporcionar vías de carga alternas, o utilizando platinas de base y anclajes con el paral lateral del corredor.

Estos métodos tienen el propósito de ayudar a evitar el colapso del marco debido a impactos menores (no a colisiones mayores) y limitar el daño causado. Los usuarios deberían efectuar inspecciones regulares para asegurarse de que no se utilicen estanterías dañadas para cargas de almacenamiento, y que se hagan oportunamente las reparaciones adecuadas luego de consultar al proveedor de las estanterías.

#### **B.1.5.10 Estanterías conectadas a la estructura de la edificación**

Es una práctica común conectar ciertas estanterías a la estructura de la edificación para añadir estabilidad, como hileras simples adyacentes a un muro. Es importante, particularmente en aplicaciones sísmicas, considerar las cargas que se pueden aplicar a cada una de las estructuras y también considerar las interacciones estructurales debidas a estas cargas. Este numeral exige que se advierta al propietario de la edificación sobre la posible carga impuesta por la estantería de modo que el pueda notificar al arquitecto de la construcción.

Para cualquiera de los casos mencionados se debería tener aprobación por parte del propietario de la condición final de uso de la estantería con la estructura existente.

#### **B.1.5.11 Verticalidad**

La instalación de estanterías sin considerar la verticalidad crea esfuerzos adicionales en los marcos, que pueden no ser tenidos en cuenta en el diseño de los componentes. Teniendo en cuenta la irregularidad de los pisos comúnmente se usan laminillas debajo de las platinas de base del paral, para mantener la tolerancia necesaria. La tolerancia antes especificada de 2,54 cm en 3,0 m de altura se ha cambiado a 1,25 cm en esta especificación con el fin de reflejar la práctica común de la industria.

### **B.2    CARGAS**

El propósito de este numeral es clarificar los métodos de diseño utilizados en las especificaciones AISI y AISC en cuanto a su aplicación a las estanterías de almacenamiento. Las estanterías de almacenamiento difieren de las estructuras de construcción en que sus cargas muertas son un porcentaje muy pequeño de la carga total, en comparación con las edificaciones. También, las estanterías tienen cargas de producto además de la carga muerta y la carga viva. La carga de producto se ha definido para las estanterías como las cargas de

productos o de estiba almacenadas en la estantería. Esta carga recibe el símbolo PL en las combinaciones de carga. Las cargas vivas podrían estar aún presentes en las estanterías. Ejemplos de cargas vivas serían la carga del piso proveniente de plataformas de trabajo o las cargas de equipo móvil del numeral 2.5.2.

El diseño LRFD se ha vuelto mucho más común para los aceros formados en frío y los aceros estructurales. La AISC ha reconocido los dos métodos de diseño (véanse los literales B1.2.2 y B.1.2.3). La AISI tiene una especificación combinada (véase el literal B.1.2.4) que contiene los dos métodos. Estos dos métodos de análisis darán resultados semejantes pero no serán exactamente iguales. Esta especificación permite al diseñador utilizar cualquier método pero el análisis debe ser consistente, es decir, los métodos ASD y LRFD no se deben mezclar. El diseñador puede ver algún beneficio del método LRFD debido al factor de carga del producto que se ha incorporado en las combinaciones de carga.

### **B.2.1 Combinaciones de carga para el método de diseño por esfuerzos admisibles - ASD**

El método de diseño ASD usa cargas aplicadas sin factores que se compararán con la carga permisible, la cual es la carga final dividida por un factor de seguridad. Todas las cargas carecen de factores, excepto la combinación No. 5. El valor 0,88 se aplica al “entrepaño más el impacto crítico” por cuanto el impacto es una carga de corta duración y para las dos casos de estiba donde no son grandes los efectos del impacto, el diseño de la viga dará como resultado el tradicional factor de seguridad de 1,65 a 1,00. Todas las cargas resultantes de estas combinaciones se deben verificar contra las cargas permisibles de la especificación AISC - ASD (véase el literal B1.2.3) o la especificación AISI - ASD (véase el literal B1.2.4).

La carga  $PL_{app}$  representa la carga de producto que debe estar presente para que sea posible la carga de viento (WL) o la carga de sismo (EL). Se recomienda que esta sea el porcentaje de la carga de producto que se uso para calcular el cortante de base para el análisis de carga sísmica. Para las estanterías de ambiente externo o las edificaciones de estantería con revestimiento de acero inoxidable,  $PL_{app}$  es cero para el caso de arrancamiento por viento por cuanto se puede requerir que las estanterías resistan toda la carga de viento cuando están vacías.

Las combinaciones No. 3 y No. 4 se pueden multiplicar por 0,75. Esto es lo mismo que usar el aumento de esfuerzo del 33 % que se ha permitido históricamente al verificar por casos de viento o sismo. Se permite multiplicar la carga de sismo (EL) por 0,67 cuando el código empleado para derivar la carga de sismo está basado en estados límite (tal como en el numeral 2.7 de esta norma). Esto se debe a que los códigos basados en estados límite dan mayores cargas de sismo aplicadas en aproximadamente un 50 %. Estos códigos se han escrito para emplearse con el método de diseño LRFD.

### **B.2.2 Factores de carga y combinaciones para el método de diseño por factores de carga y resistencia - LRFD**

Como se estableció antes, las cargas de producto son las cargas que se ponen sobre las estanterías de almacenamiento. La carga de producto se ha diferenciado de la carga viva de modo que se puede factorizar de manera diferente. Es necesario diferenciar entre estos dos tipos de carga porque su tratamiento bajo condiciones de sismo es también diferente. Generalmente se conoce la máxima carga de producto para una instalación típica y esta es más predecible porque se conocen el peso y la densidad de los productos que se van a almacenar. El potencial de sobrecarga también se puede reducir debido a las limitaciones de levantamiento del camión montacargas. Por esta razón se justifica un factor de carga más pequeño que el utilizado para la carga viva. Sin embargo, la probabilidad de que una alta carga

de producto esté presente durante un movimiento sísmico es mayor que la probabilidad de que esté presente una alta carga viva, por lo cual para algunas de las combinaciones de carga el factor de carga de producto es mayor.

El propósito de estas modificaciones es hacer más realistas las combinaciones de carga para las estructuras de estanterías. Estas cargas se van a comparar con la resistencia nominal para el miembro o conexión, multiplicado por el factor de resistencia apropiado a partir de la especificación AISC - LRFD (véase el literal B.1.2.2) o la especificación AISC (véase el literal B.1.2.4).

La carga de producto se ha añadido al caso del arrancamiento porque, para las estanterías, las cargas de producto deben estar presentes para que actúen las cargas de sismo prescritas. Es posible obtener una carga irregular que produzca arrancamiento sísmico sobre un paral descargado para una sección interconectada de la estantería. En este caso, los marcos descargados estarían amarrados a marcos con cargas de estiba que resistirían el arrancamiento. Las cargas de sismo, a su vez, serían menores para las áreas sub-cargadas. Aquí el aspecto conservador es que la carga de producto no utilizada para calcular la carga de viento (WL) todavía está presente y resistiendo el arrancamiento.

La modificación del enfoque del método de diseño LRFD es un factor de carga reducido de 1.4, para cargas de producto. Como se mencionó antes, esto se justifica debido a que es más fácil predecir las cargas de producto que las cargas vivas. Se recuerda al diseñador que este cambio sólo se aplica a la carga de producto y no se aplica a otra carga viva como el techo, los mezanines y otros.

Los factores de carga para todas las combinaciones se derivan promediando el factor de carga viva (LL) y el factor de carga muerta (DL). Esto da como resultado un factor de seguridad para el caso de la carga de gravedad de 1,65 para todo el rango de longitudes del paral con respecto a la carga de producto. El factor de resistencia ( $\Phi$ ) para los miembros a compresión es 0,85.

La combinación de carga No. 7 en el método de diseño LRFD y la combinación de carga No. 5 en el método de diseño ASD se adicionan para dar un tratamiento más realista de la carga de impacto para los entrepaños. Esta combinación generalmente gobernará el diseño del entrepaño. Para un entrepaño ancho de dos estibas, que es el más común, el efecto de impacto es aproximadamente 1/8 de la carga de la viga, de modo que el margen de seguridad para esta combinación (con la carga muerta (DL) igual al 1 % de la carga de producto) sería:

$$(1,2 \times 0,01 \times PL) + (1,4 \times PL) + (1,4 \times (0,125 \times PL)) = 1,587 PL$$

para  $\Phi = 0,95$

$$1,587 / 0,95 = 1,67$$

Esto corresponde al tradicional factor de seguridad de 1,67. Un factor de resistencia ( $\Phi_b$ ) de 0,9 da como resultado un mayor factor de seguridad. Esta combinación de carga gobernará sobre la combinación No. 2 porque esta última no incluye impacto. Para el método de diseño ASD, la combinación No. 2 podrá gobernar sobre un entrepaño con muchas cargas aplicadas; por ejemplo, un entrepaño con 50 cajas apiladas a mano. La combinación No. 7 siempre gobernará para el método de diseño LRFD.

No es necesario cambiar los factores de carga viva para las estanterías cuando el área de piso cargada sobrepasa los 4,78 kN/ m<sup>2</sup> (488 kg/m<sup>2</sup>) (100 psf) como se exige en algunos códigos y especificaciones. Este aspecto está cubierto en las notas dentro del numeral 2.2 de la norma. Además, cuando el método utilizado para derivar las cargas laterales de sismo está basado en estados límite (tal como en el numeral 2.7 de esta norma) el factor de carga para la carga

sísmica (EL) en las combinaciones No. 5 y No. 6 se puede reducir a 1,0. Esto es consistente con otros códigos.

Los factores de resistencia para los pernos de anclaje se han derivado para dar un factor de seguridad de 4, como recomiendan la mayoría de los fabricantes de pernos de anclaje, y representan el 33 % del aumento del esfuerzo admisible, donde sea aplicable.

### **B.2.3 Cargas de diseño**

Además de la carga vertical, la especificación incluye requisitos para las cargas verticales de impacto y cargas horizontales que experimentará una instalación de estantería normal durante su uso. Es importante incluir todas las cargas que pudieran actuar razonablemente en conjunto. Por ejemplo, se podría esperar razonablemente que un camión montacargas no esté poniendo carga sobre la estantería durante un sismo. Por consiguiente, no es necesario considerar que tanto el impacto al entrepaño como la carga de sismo actuarán de manera simultánea.

### **B.2.4 Cargas verticales de impacto**

La mayor parte de los daños en las vigas son a causa del manejo de las estibas que se ponen sobre los entrepaños o que se retiran de ellos. Considerando la posible magnitud de las cargas, no se puede diseñar una viga y garantizar que no se va a dañar por una estiba que se descargue sobre la estantería. Por consiguiente que se permita un impacto no puede sustituir la apropiada operación del montacargas. La manera como se opere el camión montacargas es responsabilidad del propietario únicamente. Este se debe asegurar que sus conductores estén entrenados adecuadamente y sean responsables, y de que nadie más pueda operar los montacargas en ningún momento.

Se debe reconocer también que no es posible cargar una estiba sin aplicar algún impacto al entrepaño. Cuando se carga una estiba sobre la estantería, la carga de impacto se transmitirá por la estiba que esté siendo cargada. Se debería escoger la posición de la estiba de modo que se asegure que existe un mínimo margen de seguridad para cargar las estibas en cualquier localización; el numeral 2.4 exige que la carga de impacto sobre un entrepaño se distribuya a lo largo del ancho de la estiba que ocasiona los mayores esfuerzos.

Cuando se determinan mediante ensayo las cargas permisibles, se debe incluir la carga de impacto al verificar la conformidad con el numeral 2.4. La carga de impacto se debería aplicar cargando una estiba con el 125 % del peso de ensayo y con todas las demás estibas en el peso de ensayo. Esto dará un 25 % adicional a la carga de estibas de ensayo en cada entrepaño. La estiba pesada se puede tener que poner en diferentes localizaciones para verificar los momentos de flexión, la carga cortante y las conexiones terminales.

Cuando se ensaya o diseña por deflexión de acuerdo con el numeral 5.3, no se requiere incluir el impacto.

Esta disposición sobre el impacto se incluye para adicionar seguridad extra al diseño de los entrepaños y sus conexiones debido a impacto o cargas verticales que está poniendo el camión montacargas u otro dispositivo. Cuando se añade 25 % de una carga de estiba para impacto sobre un entrepaño de dos cargas de ancho, el margen de seguridad es aproximadamente 1,67 como se indica en el literal B.2.2. Este es igual al margen tradicional de seguridad. Si hay una carga por entrepaño, el margen de seguridad será mayor. Para el entrepaño que tiene muchas cajas pequeñas el margen de seguridad será menor y se podría aproximar  $1,4/\Phi$  o 1,47 mínimo.

### **B.2.5 Fuerzas horizontales**

Hay unas pocas cargas horizontales verdaderas impuestas sobre un sistema de estanterías de almacenamiento. Hay casos en que se pueden generar cargas horizontales que se tratan en otras partes de esta norma, como en el numeral 2.6 cargas de viento y en el numeral 2.7 cargas de sismo y se debe revisar el diseño de los componentes de estanterías de almacenamiento para verificar dichas cargas cuando corresponda. Otras cargas horizontales generalmente se compensan en largas hileras de estanterías, tales como verticalidad o miembros fuera de rectitud, o en estanterías solas, tales como impacto de montacargas, y comúnmente no es necesario revisar el sistema general de estanterías para estas cargas. Los efectos locales de los posibles impactos de montacargas se tratan en el numeral 1.5.9, y si los parales están expuestos a impactos potenciales se debería prestar cuidadosa atención a la resistencia al impacto.

En las anteriores especificaciones RMI, se recomendó que se impusiera artificialmente una carga horizontal alta tanto en la dirección descendente hacia el corredor como en dirección transversal al corredor de la estantería. En la dirección descendente se requirió revisar los elementos del paral para carga axial a partir de las estibas y los momentos de flexión provenientes de esta carga horizontal. La carga horizontal era una carga  $P\Delta$  generada si la hilera de estantería de almacenamiento se ladeaba, en la dirección descendente hacia el corredor, 0,015 de la distancia al primer entrepaño. En investigaciones subsiguientes se encontró que su carga tenía un fuerte impacto sobre la capacidad de un paral individual de estantería. Sin embargo, cuando se instalan muchos parales en una hilera y se interconectan, el efecto se compensa. Además, miles de sistemas de estanterías de almacenamiento se han diseñado e instalado sin cargas  $P\Delta$  y se han desempeñado adecuadamente.

Otras especificaciones NEHRP (véase el literal B.1.2.5), UBC (véase el literal B.1.2.6) especifican un límite de desviación para estanterías de almacenamiento de  $0,0125 h_x$  y  $0,0036 h_x$ , respectivamente. Estas especificaciones no requieren análisis de  $P\Delta$  para desviaciones inferiores a los límites indicados. Estos códigos establecen que si un análisis de la estantería de almacenamiento muestra que la desviación está dentro de estos límites, no se requiere análisis de los componentes resistentes para las cargas  $P\Delta$ .

El cálculo de la desviación para un segmento de paral es directo. Sin embargo, gran parte de la desviación descendente hacia el corredor en una estantería de almacenamiento proviene de la flexibilidad de las conexiones de viga a paral. El efecto sobre el sistema de conectores de viga a paral de los diversos fabricantes es generalmente difícil de analizar. Si las conexiones son suficientemente fuertes, por lo general todo el sistema de estantería será también suficiente. Por esta razón se necesita verificar por separado la resistencia de las conexiones. Ya que la resistencia de muchos conectores no se puede analizar, se recomienda el ensayo de conexión del numeral 9.4.

En la dirección transversal del corredor generalmente no hay la cantidad de miembros necesaria para compensar las cargas horizontales. La configuración usual es una hilera de estantería espalda contra espalda con dos marcos unidos con amarres espalda contra espalda. Adicionalmente, el impacto del camión montacargas tendrá un mayor efecto en la dirección transversal del corredor. En dicha dirección el arriostamiento del marco generalmente puede alojar una carga de 1,5 % de la carga vertical del marco. De manera similar, en la dirección transversal del corredor se deberían revisar las conexiones del arriostamiento a los parales.

**B.2.5.1** Algunas formas de estanterías de almacenamiento también proporcionan una guía para el manejo del equipo en la parte superior del material. En ese caso el fabricante del equipo debería especificar la fuerza horizontal superior y la frecuencia de dicha fuerza. Es necesario



que la fuerza se incluya en el diseño de la estantería en una adecuada combinación con las demás fuerzas del sistema.

### **B.2.6 Cargas de viento**

Hay instancias en donde las estanterías serán el principal sistema estructural de resistencia al viento. Las estanterías de almacenamiento se pueden instalar en exteriores o se pueden diseñar como parte de una estructura soportada de estantería.

Cuando los muros no protegen el sistema de estantería, el viento ejercerá una carga primariamente sobre el área de superficie de las cargas de estiba en las locaciones almacenadas. Se deberían considerar las cargas unitarias de peso menor que el peso máximo pero del mismo tamaño de la carga unitaria puesta. También se deberían considerar las estanterías parcialmente cargadas donde, por ejemplo, se pone solamente una carga en la posición superior y no en otras. Se deberían considerar los efectos del viento que actúa sobre los componentes de la estantería cuando esta vacía, o durante la construcción.

Cuando un sistema de estantería soporta un muro, se debería considerar en el diseño, especialmente para volcamiento de estanterías que pueden estar sometidas a cargas de viento si se ponen o no cargas de estibas en las estanterías.

### **B.2.7 Cargas sísmicas**

#### **B.2.7.1 General**

Es importante que los sistemas de estanterías sean diseñados, fabricados, instalados y utilizados de manera que se puedan desempeñar adecuadamente bajo todas las condiciones de carga conocidas. El enfoque analítico para el comportamiento sísmico de las estructuras de estanterías desarrollado dentro de esta especificación tiene el propósito de reflejar el pensamiento del Consejo de Seguridad Sísmica de la Construcción (BSSC) de Estados Unidos y sus disposiciones vigentes del Programa Nacional Estadounidense de Reducción de Riesgos Sísmicos, NEHRP (Véase el literal B.1.2.7), así como los códigos de modelos nacionales promulgados por los Oficiales de Construcción y Administradores de Código Internacional, BOCA (Véase el literal B.1.2.8); la Conferencia Internacional de Oficiales de Construcción, ICBO (Véase el literal B.1.2.6); el Congreso Internacional de Código de Construcción del Sur, SBCCI (Véase el literal B.1.2.9) y la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE (Véase el literal B.1.2.10).

Si la estructura de estantería se va a conectar a otra estructura de modo que modifique considerablemente el movimiento en el espacio del piso libre, entonces esta interacción estructural debe ser parte del análisis y del diseño resultante tanto del sistema de estantería como de la estructura de apoyo.

La principal ventaja del sistema de estantería de almacenamiento de acero de producción masiva es su diseño modular, que permite una considerable flexibilidad de configuración e instalación. Esta ventaja también presenta un serio desafío al desempeño sísmico adecuado. La instalación inicial de un sistema de estantería debería estar de acuerdo con un diseño de ingeniería. Las modificaciones subsiguientes se deberían hacer únicamente con la supervisión de un diseñador profesional para evitar comprometer la integridad sísmica del sistema. Se debería tener en cuenta que los sistemas de estantería frecuentemente están sujetos a uso pesado y a daño. Es responsabilidad del propietario mantener la integridad de la estantería para garantizar el adecuado desempeño estructural durante un sismo.

### **B.2.7.2 Cargas sísmicas mínimas**

La base de un sistema de estantería soportado por una plancha a nivel de piso o por debajo de este, experimentará directamente las aceleraciones del piso, y el diseño se debería desarrollar de acuerdo a esto. Para el sistema soportado por otra estructura (por ejemplo, un piso superior de una estructura de construcción de varios pisos) el análisis estructural debe considerar la interacción entre las estructuras.

Los factores de importancia del sistema con magnitudes mayores que uno tienen el propósito de generar un mayor nivel de desempeño para ciertas instalaciones de estanterías bajo condiciones de cargas sísmica, por ejemplo: aquellas consideradas servicios esenciales dentro de los sistemas que deberían seguir funcionando después de un fenómeno sísmico, las que podrían liberar materiales peligrosos en dicho evento sísmico y las instalaciones situadas en bodegas de tiendas minoristas en donde el sistema de estanterías está localizado en un área abierta al público en general. En dicha bodega de tienda minorista, a diferencia de los almacenes y centros de distribución, se presenta una alta densidad de personas, se puede esperar que la gente que va de compras allí esté dentro del sistema de estanterías durante las horas de apertura de la tienda. En este ambiente, las posibles consecuencias de una falla de la estantería obligan a disponer un mayor nivel de desempeño para este tipo de sistemas.

Para considerar apropiadamente el hecho de que las cargas de producto puestas en entrepaños suelen ser menores que la capacidad para la cual están diseñados los entrepaños, se incluye el factor de reducción de carga de producto ( $PL_{RF}$ ). Así, la dirección longitudinal (o descendente hacia el corredor) donde hay numerosas posiciones repetitivas de las estibas,  $PL_{promedio}$  se define como el máximo peso total de producto que se espera en los entrepaños de cualquier hilera dividido por el número de entrepaños de esa hilera.  $PL_{máximo}$  se define como el máximo peso de producto que se va a poner en cualquier entrepaño de esa hilera, teniendo usualmente este la capacidad de diseño para las posiciones de la estiba. Con  $PL_{promedio}$  y  $PL_{máximo}$ , el factor de reducción de carga de producto ( $PL_{rf}$ ) viene a ser simplemente el cociente de los dos. Esta reducción no se permite en la dirección transversal del corredor.

El factor 0,67 se aplica a las consideraciones de carga bajo eventos sísmicos. La investigación ha mostrado que hay alguna fricción que se induce, energía que se disipa, y movimiento relativo entre la estantería y el producto almacenado durante los movimientos sísmicos. El factor 0,67 representa la fracción de la carga dinámicamente activa sobre un sistema totalmente cargado que probablemente va a experimentar una estructura en una aplicación normal, y que necesita tomarse en cuenta en la determinación de las cargas laterales bajo eventos sísmicos. Si el diseñador sabe que para una determinada instalación el tramo dinámico de las cargas será probablemente mayor que 67 %, entonces esta mayor magnitud se debería utilizar en la determinación de las cargas laterales.

### **B.2.7.3 Cálculo del coeficiente de respuesta sísmica**

El coeficiente de respuesta sísmica tiene el propósito de ser un valor acorde con el lugar de instalación; la magnitud de este coeficiente se afecta por las características del sistema estructural a través de los valores de  $R$  y de  $T$ , y también por las características del suelo que subyace a la construcción en cuyo piso se asienta el sistema de estantería, a través de los valores asignados a los diversos tipos de perfil de suelos.  $T$  es el período fundamental de la estructura de estantería. El factor  $R$  es un factor de reducción de respuesta empírica que tiene el propósito de tener en cuenta tanto el amortiguamiento como la ductilidad inherente al sistema estructural a desplazamientos suficientemente grandes para sobrepasar la elasticidad inicial y aproximarse al desplazamiento de carga final del sistema estructural.

Las magnitudes de los componentes  $A_v$  y  $A_a$  se toman a partir de mapas de contorno especificados en la NSR – Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigente.

Hay varias maneras de estimar el período de vibración fundamental de una estantería de estiba en dirección descendente al corredor. Un método comúnmente utilizado es el de *Rayleigh*.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i \Delta_i^2}{g \sum F_i \Delta_i}}$$

en donde

- $W_i$  = DL + PL (utilizado para determinar las cargas laterales de sismo) + 0,25 LL en cada nivel de i. Para esta norma, numeral 2.7: DL+0,67 PL + 0,25 LL
- $F_i$  = cargas laterales de sismo en el nivel i. La carga de cada nivel se debe calcular a partir de la ecuación de distribución de la carga exigida por el código de diseño sísmico. Para esta norma, estas ecuaciones están dadas en el numeral 2.7.4.
- $g$  = aceleración debida a la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>) (386,4 pulgada / s<sup>2</sup>)
- $T$  = el período de vibración fundamental.
- $\Delta$  = desplazamiento lateral total al nivel i con respecto a la base, según se calcule utilizando  $F_i$ .

Con el fin de utilizar la ecuación de *Rayleigh* es necesario estar en capacidad de calcular los desplazamientos laterales del piso. Estos valores se pueden hallar mediante un riguroso análisis del marco o por aproximación. Los cálculos más exactos de los desplazamientos laterales darán como resultado un valor de T más exacto. Si se ignoran los desplazamientos laterales de segundo orden o si por el contrario se subestima la desviación, el valor resultante de T será conservador. El método *Horne-Davis* para el análisis del marco proporciona un método simple para calcular los desplazamientos laterales en los niveles de la viga. Este método calcula los desplazamientos en función de  $P_{cr}$ , que es la carga de pandeo crítico elástico de piso de la luz del paral.

$$\Delta_p = \frac{H \cdot L}{P_{cr}} + \Delta_{i-1}$$

en donde

- $\Delta_p$  = Desplazamiento primario del piso sin incluir los efectos de  $P\Delta$ .
- $H$  = carga lateral total por encima de la elevación del entrepaño que se está evaluando.
- $L$  = longitud de la luz del paral.
- $\Delta_{i-1}$  = deflexión primaria por debajo del nivel que se está evaluando.
- $P_{cr}$  = carga de pandeo crítico elástico de la luz del paral.

Un método que se usa para calcular el valor de  $P_{cr}$  es usar el valor de  $K_x$  para el paral. En este sentido  $K_x$  se usa como una herramienta para aproximar el efecto del pandeo sobre la carga crítica elástica de pandeo del paral.  $P_{cr}$  podría también ser la cifra de un riguroso análisis del marco u otro método igualmente aceptable.

El cálculo de  $P_{cr}$  usando el método K se muestra a continuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I_2}{(K_x L)^2}$$

en donde

- $K_x$     =    factor de longitud efectiva para el pandeo de piso en la dirección descendente al corredor.  
 $I_x$     =    momento de inercia del paral, perpendicular al plano del marco.

Para la desviación total en el nivel i.

$$\Delta_i = \frac{\Delta_p}{1 - P / P_{cr}} = \frac{HL}{P_{cr} - P}$$

Este método será muy preciso si se determina con precisión el valor de  $K_x$ . Por este método  $K_x$  es una medida de la rigidez lateral del piso. Si se subestima  $K_x$ , el valor de T será conservador. El diseñador debería usar el mismo valor de  $K_x$  para verificar los miembros del paral como se usa para determinar T. El valor de  $K_x$  usado no debería ser mayor que el que se emplea para verificar el miembro.

El período en la dirección transversal del corredor es generalmente mucho menor.

#### **B.2.7.4 Distribución vertical de las cargas de sismo**

El cálculo de la distribución vertical de las cargas horizontales F que están siendo resistidas por el cortante de base V da como resultado un aumento lineal o una distribución triangular para los valores de  $K = 1$ , y un creciente valor no lineal de F para los valores de K mayores que 1.

Es conveniente considerar apropiadamente la contribución del patrón entrepaño-carga sobre el desarrollo de las cargas laterales, su distribución y el comportamiento resultante de la estructura de estantería. Así, se nota que cuando la viga de estibas del nivel inferior está dentro de 30,5 cm (12 pulgadas) de distancia al piso, dicha carga de entrepaño contribuye poco a las deflexiones laterales y a la distribución de la carga horizontal resultante a lo largo de la altura de la estructura. Sin embargo, cuando dicho entrepaño inferior se sitúa a una elevación mayor que 30,5 cm (12 pulgadas) por encima del suelo, las contribuciones empezarán a ser significativas y se deberían considerar de igual manera que la carga restante sobre los entrepaños superiores.

#### **B.2.7.5 Distribución horizontal de la fuerza cortante**

La magnitud de la carga cortante lateral en cualquier nivel se determina simplemente por las ecuaciones de equilibrio aplicadas a la sección particular de la estructura. El cortante de piso en cualquier piso es la suma de las cargas laterales que actúan en los niveles situados por encima del piso.

#### **B.2.7.6 Volcamiento**

En un esfuerzo por representar un caso extremo que podría dar como resultado un sistema de estantería inestable, se debe hacer un análisis e implementar el diseño resultante para la condición en que solamente esté cargado el nivel de máxima altura de la estantería, esta carga debe ser la carga de diseño aplicada y la carga lateral causada por un evento sísmico se determinará de acuerdo con ello.

Este chequeo del volcamiento está destinado sólo a las reacciones de levantamiento del anclaje y del piso. Cuando se calcula la combinación de carga para levantamiento sísmico en los numerales 2.1 y 2.2, PL es el nivel de carga superior solamente.

#### **B.2.7.7 Simultaneidad de fuerzas**

No es necesario verificar las estanterías de almacenamiento en cuanto a volcamiento con más que la carga superior. La estantería con carga completa tiene que deflectar sustancialmente más que en la condición de carga superior para mover el centro de gravedad a la localización de volcamiento crítica.

Considerando las probabilidades, es razonable esperar que los efectos de falta de verticalidad, impacto, cargas de viento y eventos sísmicos no ocurran simultáneamente. El diseño procederá de modo consistente con ello.

### **B.3    PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO**

Esta sección especifica que los cálculos de ingeniería de diseño se harán de acuerdo con los principios y métodos convencionales aceptados del diseño estructural. Esto significa, entre otras cosas, que se deben observar los conceptos básicos del análisis estructural. Esta sección se refiere también a las especificaciones AISI (véase el literal B.1.2.4) y AISC (véanse los literales B.1.2.2 y B.1.2.3) según han sido modificadas en diversos aspectos de esta norma.

El siguiente es sólo un ejemplo de lo que significa "métodos convencionales de análisis estructural". Dependiendo de los tipos de conexiones, las secciones transversales y las capacidades relativas de las vigas y parales, las estanterías de estiba pueden funcionar y analizarse como marcos rígidos elásticos o como marcos con conexiones semirrígidas. Independientemente del método que se emplee, se deben satisfacer las leyes básicas de equilibrio y compatibilidad en todas las partes de la estructura. Por ejemplo, en el diseño de vigas de entrepaño se puede tomar ventaja de los aumentos de los momentos extremos negativos a los valores que se puedan desarrollar por las conexiones específicas, según se determine mediante el ensayo (véase el numeral 9.4). Sin embargo, si esto se hace, el paral se debe diseñar para los momentos finales que ellos deben desarrollar con el fin de crear la fijación final utilizada en el diseño de la viga. Por ejemplo, el extremo superior de un paral de esquina tiene que soportar el momento final total de la viga de entrepaño de la máxima altura límite, y el paral se debe diseñar para su carga axial más el momento indicado. A menos que se haga esto, se habrá violado la ley básica del equilibrio. Lo mismo es cierto para todas las demás conexiones de vigas y parales, excepto que el momento final no equilibrado de dos vigas adyacentes es resistido conjuntamente por los dos parales del marco de esa unión y posiblemente también por la viga descargada, si su conexión puede resistir un momento adecuado. Esto ocurre independientemente de si los momentos negativos de la viga se han calculado o no con base en el análisis de marco rígido convencional, o sobre la base del análisis semirrígido (es decir, utilizando los valores de ensayo de las capacidades de conexión). Por la simple ley de equilibrio, no puede actuar ningún momento negativo sobre el extremo de una viga a menos que los miembros limítrofes puedan desarrollar este momento y estén diseñados para ello.

Puede haber situaciones en las estructuras de estantería para las cuales no existen métodos de diseño adecuados. Este es el caso en donde se han usado configuraciones de las secciones que no se pueden calcular por los métodos establecidos, donde se han usado conexiones de carácter no estándar, etc. En estos casos, los cálculos de diseño de la capacidad del miembro y de la conexión se deberían remplazar por ensayos apropiados. Algunas de estos ensayos, particulares para la construcción de estanterías, se explican en

numerales posteriores. Ensayos no explicados en detalle se efectuarán de acuerdo con los requisitos generales de procedimiento de ensayo de la sección F1 de la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4).

No se permite usar ensayos en lugar de cálculos de diseño, excepto en situaciones que no se pueden calcular por los métodos disponibles. La especificación AISI (véase el numeral B.1.2.4) es bastante concreta acerca de esto en la sección F1. Se debería observar que los ensayos de confirmación tienen una naturaleza diferente y están cubiertas en la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4), Sección F2.

No se imponen limitaciones de esbeltez sobre los miembros a tensión. De hecho, las limitaciones de la especificación AISC (véanse los literales B.1.2.2 y B.1.2.3) no son obligatorias por sí mismas, sino que sólo se sugieren como una buena práctica.

## **B.4    DISEÑO DE ELEMENTOS Y MIEMBROS DE ACERO**

Ni la especificación AISI (véase el numeral B.1.2.4) ni la AISC (véanse los literales B.1.2.2 y B.1.2.3) establecen requisitos para miembros perforados, particularmente del tipo que se usa habitualmente en parales y otros componentes de estanterías. El efecto de las perforaciones sobre la capacidad de carga de los miembros a compresión se ha tenido en cuenta en la modificación de algunas definiciones dadas en estas especificaciones. El enfoque consiste en utilizar las propiedades de la sección efectiva basadas en la sección neta puesto que la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4) basa las propiedades de la sección efectiva sobre la sección no perforada. Se puede hallar mayor información sobre el desarrollo de las especificaciones AISI (véase el literal B.1.2.4) en la referencia normativa B.1.2.12.

### **B.4.2    Miembros de acero formados en frío**

#### **B.4.2.2    Miembros a flexión** (véase el literal B.1.2.4 especificación AISI, sección C3)

El enfoque de esta especificación implica el reemplazo de las propiedades de la sección utilizadas en la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4) por las propiedades de la sección neta efectiva. La sección neta efectiva es la sección efectiva determinada para la sección neta. Las ecuaciones de ancho efectivo no existen para el tipo de perforaciones que son comunes en los parales de las estanterías. Por tal razón se necesita formular un enfoque aproximado.

El área de la sección efectiva para la carga axial se determina por medio de ensayos de probeta (tramo) de paral, de acuerdo con el numeral 9.2. No hay procedimientos de ensayo para determinar las propiedades de la sección efectiva para el pandeo. El enfoque aproximado de este numeral se desarrolló asumiendo que cuando la sección está en tensión, el pandeo local no reduce la capacidad y así  $Q = 1$  para la región en tensión. Esta suposición implica que los efectos del formado en frío no aumentan la resistencia de la tensión axial. En la flexión, aproximadamente la mitad de la sección está en compresión y la otra mitad está sometida a tensión. Desde luego, la sección efectiva no es simétrica y por tanto, ésta es una aproximación. El área efectiva del tramo de la sección a compresión se puede aproximar de manera conservadora utilizando el resultado de los ensayos de probeta (tramo) de paral. Esto es conservador por cuanto el alma tiene un gradiente de esfuerzo más favorable cuando la sección está en flexión. De este modo el factor de reducción para que el área intervenga en el pandeo local cuando la sección está en flexión se toma como el promedio de 1,0 para el tramo en tensión y  $Q$  para el tramo en compresión, es decir,  $0,5 + Q/2$ . Así,  $S_e$ , el módulo de sección elástica de la sección neta efectiva en el esfuerzo de deformación de diseño se determina multiplicando el módulo elástico de la sección neta por este factor de reducción.

El término  $S_c$  es el módulo de sección elástica de la sección neta efectiva en el esfuerzo de pandeo lateral de la sección bruta  $M_c/S_f$ . El factor de reducción en el esfuerzo de pandeo lateral de la sección bruta se deriva con base en el enfoque descrito en la referencia normativa mencionada en el literal B.1.2.12 como:

$$1 - \frac{1-Q}{2} \left( \frac{M_c/S_f}{F_y} \right)^Q$$

Este enfoque da valores conservadores (menores) del factor de reducción en comparación con los procedimientos de análisis racionales que son más complicados, descritos en la edición de 1990 del comentario a la especificación RMI (véase la referencia normativa numeral B.1.2.13).

En el cálculo de  $M_e$ ,  $\sigma_{ex}$ ,  $\sigma_{ey}$  y  $\sigma_t$  las propiedades de la sección se basarán en toda la sección bruta no reducida considerando esquinas redondeadas excepto para  $J$ ,  $j$ ,  $r_o$  y  $C_w$  que se basará en toda la sección bruta no reducida utilizando esquinas no redondeadas debido a que el cálculo de estos parámetros utilizando esquinas redondeadas para la sección neta es supremamente tedioso.

La medida de la capacidad de reserva inelástica para los elementos perforados requiere estudio adicional y por tanto se excluye de la especificación.

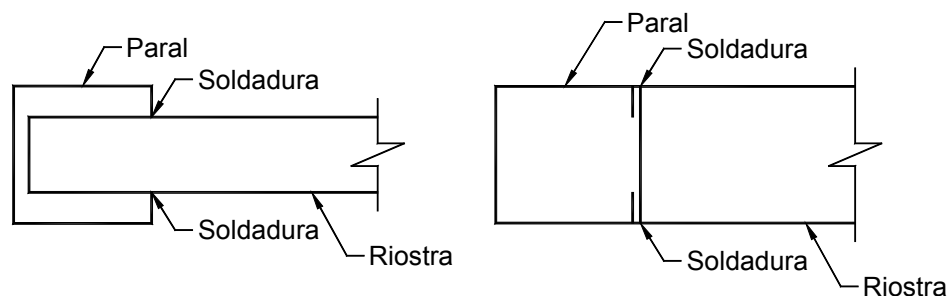
#### **B.4.2.3 Miembros a compresión cargados concéntricamente** (véase el literal B.1.2.1 especificación AISI, sección 4)}

Los miembros a compresión se pueden pandear de dos maneras: puramente flexional, es decir, por simple flexión alrededor de uno de sus ejes principales sin torsión; o torsional-flexionalmente, es decir, por flexión acompañada de torsión del miembro. Algunos tipos de miembros que se pandean de modo puramente flexional son: todos los miembros del tipo caja cerrada, las secciones cuyo centro de cortante y centroide coinciden, lo cual es cierto para los miembros doblemente simétricos (por ejemplo, secciones I), las secciones Z de reborde igual, y otros. Muchas otras formas de pared abierta delgada pueden estar sometidas a pandeo flexional torsional, como las de canal solamente simétrico, en C, de sombrero, y secciones planas o de ángulo labiado, y otras. En todas estas formas, el centroide y el centro de cortante no coinciden. No obstante, si este tipo de miembros realmente se pandearán torsional-flexionalmente o sólo flexionalmente en la dirección del eje de simetría depende no solamente del tipo de sección transversal sino también de sus dimensiones relativas. Así, los canales con rebordes anchos tienden a pandearse torsional-flexionalmente, mientras que los canales de reborde estrecho generalmente se pandean sólo flexionalmente. Para algunas de las formas más comunes, parte VII del Manual AISI de acero formado en frío (véase el literal B.1.2.14) contiene las curvas que permiten decidir si un miembro de determinadas dimensiones se pandeará o no torsional-flexionalmente. Otra manera consiste en comparar el esfuerzo de pandeo torsional-flexional elástico, ecuación C4.2-1 de la referencia normativa B.1.2.4 con el esfuerzo de pandeo flexional elástico, ecuación C4.1-1 de la referencia normativa B.1.2.4.

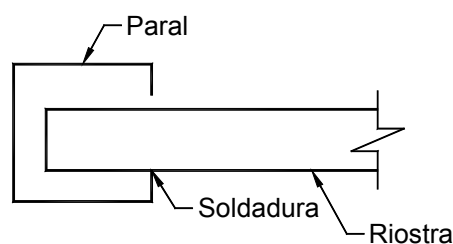
Al diseñar miembros para pandeo flexional sin torsión, los factores  $K$  de longitud efectiva se tomarán como se especifica en el numeral 6.3 de esta norma. Para las formas solamente simétricas estos métodos son bastante directos ya que la longitud efectiva es la misma para el pandeo alrededor del eje de simetría (eje  $x$ ) y para la torsión. Generalmente este es el caso para los marcos de tipo edificación, pero no necesariamente es así para las estructuras de estanterías. Por ejemplo, para una estantería de estiba con canal o paraleles en C puestos de modo que el eje  $x$  está en el plano del marco, la longitud no arriostrada  $L_x$  para pandeo alrededor del eje  $x$  es la longitud desde el piso hasta la línea media de la viga inferior, o entre

las líneas centrales de vigas sucesivas, como puede ser el caso. (Esta es la longitud no arriostrada  $L_x$ , no la longitud efectiva  $K_x L_x$ ).

Sin embargo, para la torsión se puede asumir que incluso los miembros ligeros, tales como los apoyaderos diagonales u horizontales de los marcos van a prevenir la torsión en el punto en que se conectan a los parales, dado que la conexión por sí misma no permite la torsión. Los detalles de conexión típicos entre los parales y el arriostramiento que se espera que inhiban la torsión y aquellos que no, se muestran en la Figura B.3 Para las estanterías con detalles de conexión apropiados, la longitud no arriostrada  $L_t$  para la torsión serán la longitud libre entre las conexiones adyacentes a cualquier miembro que contrarresta la torsión. Por ejemplo, si una diagonal de un marco se cruza con el paral en algún punto entre el piso y la viga del nivel más inferior, entonces la mayor de las dos longitudes desde la conexión de la diagonal hasta el piso o a la viga, representa la longitud no arriostrada para la torsión  $L_t$ .



a) Detalle de unión que restringe la torsión del paral



b) Detalle de unión que no restringe la torsión del paral

**Figura B.3. Detalles de unión**

Las diferentes longitudes efectivas para la torsión y la flexión se toman en cuenta al tomar  $K_x L_x$  en la expresión para  $\sigma_{ex}$ , y  $K_t L_t$  en la expresión para  $\sigma_t$ . Los factores de longitud efectiva  $K_x$  y  $K_t$  están dados en los numerales 6.3.1 y 6.3.3, respectivamente.

El tratamiento de los miembros a compresión perforados concéntricamente cargados se basa en una modificación del enfoque de la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4) para los miembros a compresión no perforados. La modificación se basa en los estudios reportados en la referencia normativa descrita en el literal B.1.2.15. El procedimiento consiste en obtener la capacidad nominal de carga axial multiplicando el esfuerzo de falla nominal obtenido para la sección bruta por el área neta efectiva obtenida en el esfuerzo de falla nominal. En general, el área neta efectiva no se puede calcular para las secciones del paral que tengan los tipos de perforaciones típicos en las estructuras de estanterías. Por esta razón el área de la sección neta efectiva se determina mediante el uso de la siguiente ecuación que se desarrolló en la referencia normativa mencionada en el literal B.1.2.12:



$$A_e = \left[ 1 - (1 - Q) \left( \frac{F_n}{F_y} \right)^Q \right] A_{Net Min}$$

donde el factor Q se determina por el procedimiento especificado en el numeral 9.2.

## **B.5    VIGAS**

### **B.5.2    Sección transversal**

Para las vigas de estanterías de estiba y de estanterías apiladas, este numeral establece que los efectos de la carga se deben determinar por los métodos convencionales de cálculo si la forma de la sección transversal lo permite. En general, las ecuaciones simples usuales para los esfuerzos y las deflexiones de las vigas se aplican solamente si la sección transversal es simétrica alrededor de la dirección de la carga, es decir, si la sección tiene un eje vertical de simetría. Las vigas de cualquier otra forma de sección transversal se pueden torsionar bajo la carga. Dicha torsión puede reducir la capacidad de transporte de las vigas y/o generar deflexiones mayores que las determinadas por cálculos convencionales. Ejemplos de estas secciones son los canales, particularmente aquellos que tienen rebordes anchos, y formas en C con rebordes anchos cuando se ponen con alma vertical. Puesto que los cálculos que incluyen la torsión son bastante complejos y no siempre confiables, el numeral 5.2 propone en cambio la determinación mediante ensayo.

Vale la pena notar que las formas de caja cerrada, incluso si no tienen eje de simetría vertical, son mucho menos sometidas a torsión que las formas abiertas. De este modo, en muchos casos de vigas de cajas asimétricas cerradas, puede resultar adecuada la determinación mediante cálculos convencionales.

Se puede mostrar que la siguiente ecuación se puede utilizar para involucrar el efecto de la fijación final en la determinación del momento de luz media máxima  $M_{m\acute{a}x}$  de una viga portante considerando conexiones finales semirrígidas:

$$M_{Max} = \frac{WL}{8} r_m$$

en donde

$$r_m = 1 - \frac{2FL}{6EI_b + 3FL}$$

E = el módulo de elasticidad.

F = la constante de elasticidad de la unión determinada por el ensayo Tipo *Cantiliver* descrito en el numeral 9.4 o por el ensayo de viga portante montada en marcos descrito en el numeral 9.3.2.

$I_b$  = el momento de inercia de la viga alrededor del eje de flexión

L = la luz de la viga.

W = la carga total en cada viga (incluyendo las carga de impacto vertical)

en donde

$$M_e = \frac{wL}{8}(1 - r_m)$$

$M_e$         =        el momento final de la viga

En la anterior derivación la carga se supone distribuida uniformemente. Para un valor de F igual a cero, se obtiene  $M_{m\acute{a}x} = WL/8$ . La especificación requiere aplicar un factor de impacto vertical de 25 % a una carga unitaria. Para un par de vigas portantes que soportan dos estibas esto podría significar que la carga sobre una mitad de la viga sería 25 % mayor que la carga sobre la otra mitad. El momento máximo calculado de este modo estará dentro de 1 % del momento calculado sobre la base de distribuir uniformemente la carga total.

Si se consideran uniones semirrígidas, se puede derivar la siguiente expresión para la máxima deflexión  $\delta_{m\acute{a}x}$ .

$$\delta_{Max} = \delta_{ss}r_d$$

en donde

$$\delta_{ss} = \frac{5WL^3}{384EI_b}$$

$$r_d = 1 - \frac{4FL}{5FL + 10EI_b}$$

### **B.5.3 Deflexiones**

El 1/180 de la luz libre es una figura de consenso industrial basada en la apariencia visual y en consideraciones operacionales de espacio libre.

## **B.6 DISEÑO DEL MARCO VERTICAL**

### **B.6.3 Longitudes efectivas**

Las especificaciones AISI (véase el literal B.1.2.4) y AISC (véanse los literales B.1.2.2 y B.1.2.3) utilizan el concepto de longitud efectiva al determinar la capacidad de transporte de carga de un miembro sometido a una carga axial sola o en combinación con momentos de flexión. Este tipo de miembro usualmente es parte del marco. El método de longitud efectiva no es la única técnica disponible para determinar la capacidad axial de un miembro a compresión. Métodos alternativos, consistentes con las especificaciones AISC y AISI son igualmente aceptables. Donde ya existen grandes requerimientos de carga lateral (tales como en las zonas sísmicas altas), un método que emplea la carga lateral puede dominar las consideraciones de inestabilidad en el diseño y puede no requerir un enfoque de factor K. El factor de longitud efectiva interviene en el efecto de restringir las condiciones finales o el efecto de los miembros enmarcados en un miembro particular.

El concepto de longitud efectiva es un método para estimar los efectos de interacción del marco total sobre un miembro a compresión que se esté considerando. Se ha escogido el uso del enfoque del factor K pero no se prohíbe el uso de otros métodos apropiadamente sustentados. Están disponibles varias referencias concernientes alternativas para los factores de longitud efectiva para los marcos de niveles múltiples bajo cargas combinadas o cargas de

gravedad solas. Se ha hecho trabajo para los miembros laminados en caliente y la RMI ha copatrocinado la investigación en curso por parte de la AISI para miembros formados en frío.

Las discusiones generales del concepto de longitud efectiva se pueden hallar en las referencias normativas descritas en los literales B.1.2.16, B.1.2.17, B.1.2.18 y B.1.2.19. Básicamente, el factor K de longitud efectiva multiplicado por la longitud no arriostrada L da como resultado la longitud de un miembro simplemente soportado que tendría la misma carga de pandeo elástico que el miembro particular que es parte de un marco o que tiene otras conexiones finales. Como la longitud efectiva se calcula con base en el comportamiento elástico del marco, es práctica general utilizar el enfoque de longitud efectiva para hallar la capacidad de transporte de carga inelástica. Este es el enfoque tomado en la especificación AISI y en la AISC (véanse los literales B.1.2.4, B.1.2.2 y B.1.2.3), así como en la presente especificación. Como se discutió con respecto al numeral 4.2.2, el enfoque de longitud efectiva se extiende también hasta el modo de pandeo flexo – torsional.

El comportamiento de las estructuras de estanterías y por consiguiente el factor de longitud efectiva, dependen del diseño único de las estanterías como la rigidez de la conexión entre los miembros y las vigas. Debido a la amplia variedad de detalles y dimensiones de sección transversal en las estructuras de estanterías, los factores de longitud efectiva varían dentro de un rango muy amplio. Por ejemplo, en un simple marco de pórtico con bases de miembro ancladas, el factor de longitud efectiva tiende a infinito a medida que la conexión entre la viga y los miembros se aproxima a la condición anclada debido a los detalles de conexión.

Los valores de los factores de longitud efectiva dados en esta especificación no son de ninguna manera los valores máximos; son valores promedio suponiendo que las estanterías se diseñen de acuerdo con buenas prácticas y criterio de ingeniería. En todos los casos los análisis racionales indicarían si los valores estipulados son demasiado conservadores o no para determinada estantería. Posteriormente en este anexo se presentan dos posibles procedimientos de análisis racional.

#### **B.6.3.1 Pandeo flexional en dirección perpendicular a los marcos**

El pandeo considerado aquí es paralelo al corredor. En general, las estanterías tienen secciones solamente simétricas para los parales y comúnmente el eje de simetría es perpendicular al corredor. El pandeo de dichas secciones paralelas al corredor, es decir, alrededor del eje de simetría, toma la forma de un pandeo -flexo - torsional. Para estos casos el factor de longitud efectiva tiene el propósito de utilizarse en el cálculo de  $\sigma_{ex}$  dado en el numeral 4.2.2; a su vez  $\sigma_{ex}$  se usa en el cálculo de la carga de pandeo flexo - torsional.

##### **B.6.3.1.1 Estanterías no arriostradas contra desplazamiento lateral**

Este numeral se aplica a las estanterías que no cumplen los requisitos de arriostramiento del numeral 6.3.1.2. La falla de desplazamiento lateral de varios parales en dirección descendente al corredor es bastante catastrófica. Partes de hileras o hileras enteras colapsan. Se usa un valor de  $K_x > 1,0$  para diseñar contra este tipo de falla. El límite inferior teórico de K es 1,0 en los marcos arriostrados o para la fijación completa en el tope y en la parte inferior de un paral no arriostrado. Puesto que la fijación completa nunca se alcanza y los parales no arriostrados están libres para trasladar, siempre K será mayor que 1,0 para el diseño del marco no arriostrado. El valor real de K depende de la restricción rotacional en el tope y en la parte inferior del paral. Las estanterías de estiba que usan conexiones semirrígidas tendrán valores de  $K_x$  mucho mayores que 1,0 e incluso pueden ser mayores a 2,0.

La especificación permite el uso de  $K_x = 1,7$  como valor por defecto. Se investigaron numerosos ensamblajes de estanterías típicas. Estos ensamblajes de estanterías tenían valores de  $K_x$  que iban desde 1,3 hasta valores tan altos como 2,4. Las estanterías con altos valores de  $K$  tenían vigas más ligeras y parales pesados. Un mayor número de tramos tiende a aumentar los valores de  $K$  debido a que disminuye la acción de soporte de los miembros del marco final cargados más ligeramente. A medida que aumenta el número de tramos, disminuye la probabilidad de tener completamente cargados todos los tramos. Así, mientras aumenta el número de tramos la probabilidad de obtener un valor mayor de  $K$  puede no aumentar. Una estantería de tres tramos tiene una mayor probabilidad de estar totalmente cargada que las estanterías que tienen más tramos. Así, la práctica ha mostrado que una estantería de tres tramos puede tener mayor probabilidad de fallar por desplazamiento lateral.

El número de niveles también ejerce influencia sobre el valor de  $K$ . A medida que aumenta el número de niveles completamente cargados, también aumenta el valor de  $K$ . Esto se debe a que la diferencia en las cargas del nivel más bajo y en los miembros del segundo nivel disminuye a medida que aumenta el número de pisos. Cuando la diferencia en las cargas disminuye, el valor de  $K$  aumenta.

Se escogió un valor de  $K = 1,7$  para dar una protección razonable contra el desplazamiento lateral para las configuraciones más comunes de estanterías. El diseñador debería estar consciente de que  $K$  puede en realidad ser mayor o menor que el valor por defecto de 1,7. Si se usa el valor por defecto 1,7, no se pueden tomar más reducciones con base en la utilización puesto que dicha utilización ya se ha considerado al escoger este valor. Se pueden emplear valores de  $K$  diferentes de 1,7 si ellos se pueden justificar con base en el análisis racional. Este análisis racional debe considerar apropiadamente la rigidez de los miembros, la rigidez de las vigas, el comportamiento de la conexión semirrígida y la fijación de la base. Los enfoques comunes para evaluar  $K$  son el análisis de marco que calcula directamente las cargas de pandeo del marco y las tablas de alineación. Este último enfoque se analizará más adelante.

El uso de tablas de alineación para determinar los coeficientes de longitud efectiva se describe en las referencias normativas descritas en los literales B.1.2.16 y B.1.2.17. Los procedimientos descritos en estas referencias necesitan modificarse como se describe más adelante para explicar la naturaleza semirrígida de la conexión de los parales al piso y a las vigas portantes. Se asume que el piso es una viga con la siguiente rigidez:

$$\frac{I_f}{L_f} = \frac{bd^2}{1440}$$

en donde

- b      =      el ancho del paral (paralelo al eje de flexión)
- d      =      la profundidad del paral (perpendicular al eje de flexión)

Se supone que el piso es de concreto, y la conexión del paral al piso debe ser adecuada para desarrollar los momentos de base que son consistentes con esta rigidez. Para un piso de otro material se debería modificar la ecuación.

En el análisis se toma la rigidez de las vigas de estibas para reducirla a  $(I_b / L_b)$  debido a la naturaleza semirrígida de las conexiones.

$$\left( \frac{I_b}{L_b} \right)_{red} = \frac{I_b / L_b}{1 + 6[(EI_b)/(L_b F)]}$$

en donde

- $I_b$       =      el verdadero momento de inercia de las vigas de estibas
- $L_b$       =      la verdadera luz de las vigas de estibas
- $F$         =      la rigidez de la conexión determinada por el ensayo de pórtico del numeral 9.4.2
- $E$         =      el módulo de elasticidad

El análisis para el factor de longitud efectiva para el tramo del paral desde el piso hasta el nivel de la primera viga involucraría los siguientes valores de  $G$  como se define en las referencias normativas descritas en los literales B.1.2.3 y B.1.2.4.

$$G_a = \frac{I_c(1/L_{c1} + 1/L_{c2})}{2(L_b/L_b)_{red}}$$

$$G_b = \frac{I_c/L_{c1}}{I_f/L_f}$$

en donde

- $I_c$       =      el momento de inercia del paral
- $L_{c1}$     =      la distancia desde el piso hasta el nivel de la primera viga
- $L_{c2}$     =      la distancia desde el nivel de la primera viga hasta el nivel de la segunda viga

El factor de longitud efectiva se halla luego directamente a partir de las referencias literales B.1.2.16 y B.1.2.17 con base en  $G_a$  y  $G_b$ .

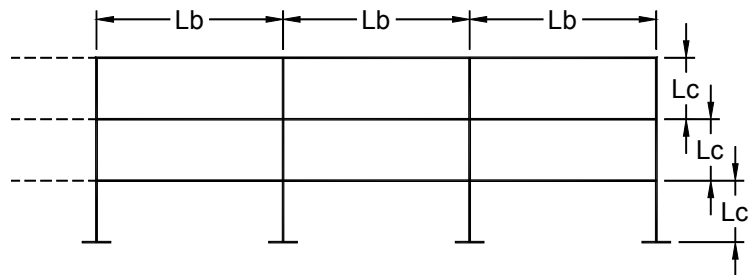
La expresión utilizada antes para  $(I_f / L_f)$  se basa en las referencias normativas literales B.1.2.20 y B.1.2.21. La expresión dada en estas referencias se modifica para reflejar la situación para los miembros de estanterías que comúnmente tienen platinas de base delgadas. Esta expresión es una cruda representación de la fijación de la base. La fijación de la base depende, entre otros parámetros, del radio del momento de la base hasta la carga axial, es decir, la excentricidad de la carga axial. Una formulación general de ello sería bastante compleja. Dado que no están disponibles los datos del ensayo directo, parece razonable esperar que la ecuación anterior estimara la fijación de manera muy aproximada para las excentricidades correspondientes a la carga de diseño y 1,5 % de las cargas laterales. Esta referencia utilizando el procedimiento anterior alcanza una correlación razonablemente satisfactoria entre los resultados calculados del ensayo y los realmente observados. Sin embargo, se debe notar que la fijación de la base es precisamente una de las muchas propiedades de las estanterías que afectan el comportamiento estructural.

La expresión de  $(I_f / L_f)$  dada antes asume que el piso es de concreto. La rigidez de la conexión  $F$  se determina mediante un ensayo de pórtico. Tanto los desplazamientos laterales del marco como lo que implica el tipo de pandeo bajo consideración, las vigas del marco tendrán diferente rigidez de conexión en cada extremo. Esto se debe al hecho de que en un extremo la rotación aumenta mientras que en el otro extremo disminuye. El método de pórtico arroja un valor intermedio entre los valores de la rigidez de los dos extremos.

La Tabla B.1 muestra los resultados del análisis racional para diversas configuraciones. Dependiendo de la configuración de la estantería y de los valores de  $F$ , se ha visto que el valor de  $K$  puede ser conservador o no. Esta tabla es para el caso de  $L_{c1} = L_{c2}$  y  $b = d = 7,62$  cm (3 pulgadas). Se puede desarrollar una tabla similar para los otros valores de  $L_{c1}$ ,  $L_{c2}$ ,  $b$  y  $d$ .

Tabla B.1. Resultados del análisis racional para diversas configuraciones

$I_b/L_b$	$I_c/L_c$	Constante de elasticidad de la conexión viga – paral (F pulgada,kip/rad)							
		200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
0,005	0,005	1,54	1,43	1,38	1,35	1,33	1,32	1,30	1,30
0,010	0,005	1,76	1,66	1,60	1,56	1,54	1,52	1,50	1,49
0,015	0,005	1,92	1,82	1,76	1,72	1,70	1,68	1,66	1,65
0,020	0,005	2,05	1,95	1,90	1,86	1,83	1,81	1,80	1,78
0,025	0,005	2,16	2,07	2,01	1,98	1,95	1,93	1,91	1,90
0,050	0,005	2,63	2,55	2,49	2,46	2,43	2,41	2,39	2,38
0,100	0,005	3,34	3,26	3,21	3,17	3,14	3,12	3,10	3,08
0,005	0,010	1,53	1,40	1,34	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24
0,010	0,010	1,75	1,62	1,55	1,50	1,47	1,45	1,43	1,41
0,015	0,010	1,90	1,78	1,71	1,66	1,62	1,60	1,58	1,56
0,020	0,010	2,03	1,92	1,84	1,79	1,76	1,73	1,70	1,68
0,025	0,010	2,15	2,04	1,96	1,91	1,87	1,84	1,82	1,80
0,050	0,010	2,62	2,51	2,44	2,39	2,35	2,31	2,29	2,26
0,100	0,010	3,33	3,23	3,15	3,10	3,05	3,01	2,98	2,95
0,005	0,025	1,51	1,38	1,31	1,27	1,24	1,22	1,21	1,19
0,010	0,025	1,74	1,59	1,51	1,46	1,42	1,39	1,37	1,35
0,015	0,025	1,89	1,76	1,67	1,61	1,57	1,53	1,50	1,48
0,020	0,025	2,02	1,89	1,80	1,74	1,69	1,66	1,62	1,60
0,025	0,025	2,14	2,01	1,92	1,86	1,81	1,77	1,73	1,71
0,050	0,025	2,61	2,49	2,40	2,33	2,27	2,23	2,19	2,15
0,100	0,025	3,32	3,20	3,11	3,03	2,96	2,91	2,86	2,82
0,005	0,100	1,51	1,37	1,29	1,25	1,22	1,20	1,18	1,17
0,010	0,100	1,73	1,58	1,49	1,43	1,39	1,36	1,33	1,31
0,015	0,100	1,89	1,74	1,65	1,58	1,53	1,49	1,46	1,44
0,020	0,100	2,02	1,88	1,78	1,71	1,65	1,61	1,58	1,55
0,025	0,100	2,13	2,00	1,90	1,82	1,77	1,72	1,68	1,65
0,050	0,100	2,60	2,47	2,37	2,29	2,22	2,17	2,12	2,08
0,100	0,100	3,32	3,19	3,08	2,99	2,91	2,84	2,78	2,72



Configuración supuesta

Miembros 7,62 cm (3 pulgadas) x 7,62 cm (3 pulgadas)

Figura B.4. Configuración general supuesta para la Tabla B.1

**B.6.3.1.2 Estanterías arriostradas contra desplazamiento lateral**

Para que una estructura de estanterías sea tratada como arriostrada contra desplazamiento lateral, debe tener una diagonal arriostrada en el plano vertical para la sección considerada. Esto limitaría los paralelos en el plano arriostrado. Para restringir los miembros en otros planos, es necesario que haya entrepaños que sean rígidos o tengan arriostramiento diagonal en su plano horizontal como se especifica en esta sección. (Algunos de los términos utilizados anteriormente se ilustran en la Figura B.5). La función de este entrepaño rígido o arriostrado es asegurar la restricción para la otra hilera de miembros contra el desplazamiento lateral con respecto a la hilera de miembros arriostrados. Desde luego, todo el arriostramiento debería ser fuerte y efectivo para el uso que se propone.

El movimiento horizontal, o traslación, del miembro frontal con respecto al miembro posterior de la estantería con arriostramiento en el plano vertical posterior puede, en algunos casos, prevenirse mediante la presencia de estibas sobre las vigas de carga. Para prevenir la traslación del miembro frontal, las cargas flexionales entre las estibas y las vigas de carga deben ser capaces de resistir la carga horizontal perpendicular al plano del levantamiento. La magnitud de esta carga en un punto arriostrado debería ser al menos 1,5 % de la carga del miembro inmediatamente inferior a la viga que actúa como arriostramiento horizontal. Si existe o no carga suficiente para prevenir la traslación, se debe determinar mediante análisis racional dando total consideración a los factores como las cargas más livianas que las normales y la ausencia de alguna o de todas las cargas, pero sin limitarse a dichos factores.

Bajo las típicas condiciones de bodega, el coeficiente de flexión entre una estiba de madera o de metal y sus vigas de soporte ha sido objeto de muchos ensayos y se puede tomar de manera conservadora como 0,10. Es necesario dar especial consideración al caso de los congeladores de almacenamiento en frío, donde los procedimientos operacionales pueden producir hielo sobre las superficies de contacto. Se recomiendan ensayos representativas en esta y en otras condiciones, como ambientes grasosos o aceitosos, donde probablemente ellas se pueden garantizar.

Para acortar las longitudes soportadas de los miembros, el arriostramiento diagonal debería dividir el plano de la riostra como se indica en la Figura B.5 [b] y [c]. Al mismo tiempo se proporcionarían entrepaños fijos rígidos o arriostrados en los niveles AA con el fin de tener longitudes no soportadas de h como se muestra en las figuras. Si no se proporcionan dichos entrepaños en los niveles AA, entonces el miembro se diseñará de conformidad con el numeral 6.3.1.1.

Los segmentos inferior y superior de los miembros de la Figura B.5 se diseñarán como miembros de una estantería no arriostrada mientras que los del segmento medio se diseñarán como miembros de una estantería arriostrada.

También se puede emplear un análisis racional semejante al descrito en el literal B.6.3.1.1 para las estanterías arriostradas contra desplazamiento lateral. En este caso es necesario efectuar los siguientes cambios:

$$\frac{I_f}{L_f} = \frac{bd^2}{240}$$

y

$$\left( \frac{I_b}{L_b} \right)_{red} = \frac{I_b / L_b}{1 + 2((EI_b) / (L_b F))}$$

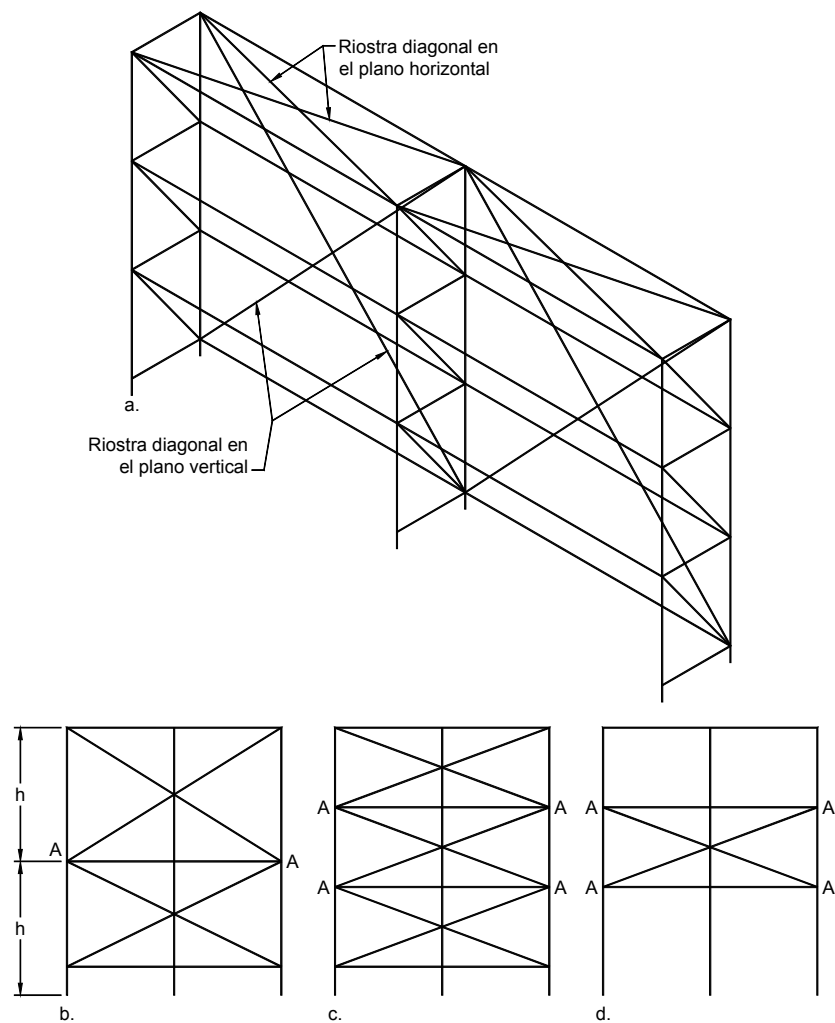


Figura B.5. Estanterías arriostradas contra desplazamiento lateral

### B.6.3.2 Pandeo flexional en el plano del marco

En las estructuras de estanterías los miembros tienen en general formas simétricas con el eje de simetría en el plano de los marcos, o formas doblemente simétricas. Debido a esto, el pandeo en estos planos de los marcos es generalmente flexional. Los marcos tienen una amplia diversidad de patrones de arriostramiento. El más efectivo patrón de arriostramiento es uno en donde las líneas centrales de las riostras y los miembros se intersecan en un punto, como se observa en la Figura B.6 [a]. Esto se debe a que las riostras restringen los miembros en virtud de su rigidez axial. Por otra parte, la acción de arriostramiento en el sistema que se observa en la Figura B.6 [b] depende de la rigidez flexional de las riostras y de las conexiones entre los miembros y las riostras. En consecuencia, este tipo de arriostramiento no es tan efectivo.

El factor de longitud efectiva para el marco de la Figura B.6 [a] se puede tomar en general como 1,0. Esto supone que las riostras son adecuadas y que la conexión entre las riostras y los miembros es suficientemente rígida en la dirección axial de las riostras. El factor de longitud efectiva para el marco de la Figura B.6 (b) es en general mayor que el primero y se puede hallar mediante análisis racional.



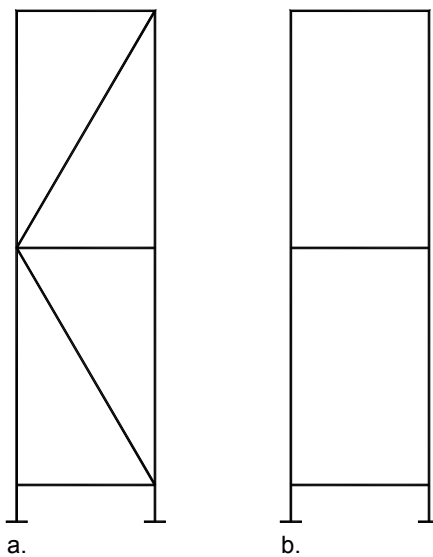


Figura B.6. Marcos arriostrados y no arriostrados

En las estructuras de estanterías, con frecuencia las líneas medias de las riostras horizontales y diagonales y la líneas medias del miembro no se cruzan en un punto. De esta manera, la disposición del arriostramiento cae entre los extremos que se ilustran en las Figuras B.6 [a] y B.6 [b]. Los siguientes tres numerales tratan diversas posibilidades de configuración del arriostramiento.

**B.6.3.2.2 Marcos con riostras diagonales o una combinación de riostras diagonales y horizontales**

Las riostras que intersecan a los párales se ilustran en las Figuras B.7 [a] y [b]. Estas figuras también definen los términos  $L_{\text{largo}}$  y  $L_{\text{corto}}$ . A medida que aumenta la relación  $L_{\text{largo}} / L_{\text{corto}}$ , el marco se aproxima al caso que se muestra en la Figura B.7 [b] y, por consiguiente, el factor de longitud efectiva puede ser mayor que 1.

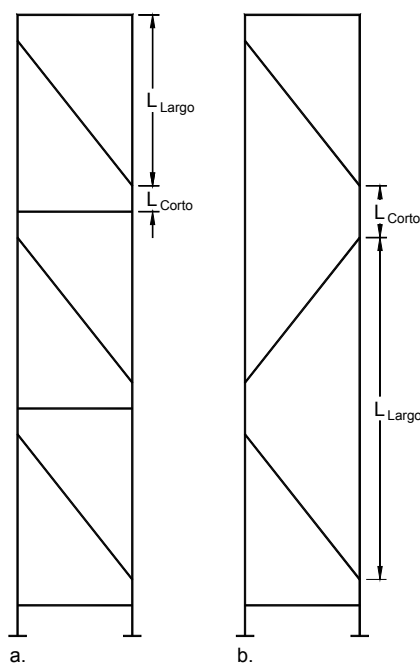
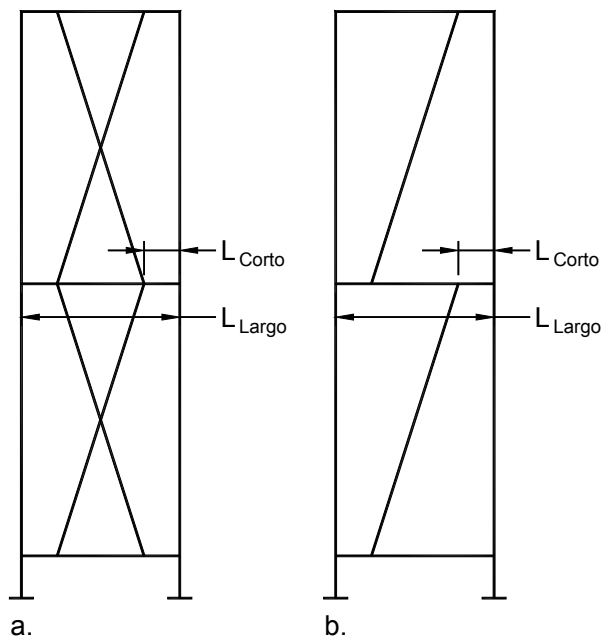


Figura B.7. Marcos con riostras diagonales que intersecan los miembros

La estabilidad del marco depende no solamente de la rigidez relativa axial y flexional de los miembros, sino también de los detalles de las conexiones entre los miembros. La rigidez axial de la conexión que está en la dirección de las riostras depende de los detalles de la conexión.

**B.6.3.2.3 Marcos con riostras diagonales que intersecan riostras horizontales**

Estos se ilustran en las Figuras B.8 [a] y [b]. A medida que aumenta la relación  $L_{\text{largo}} / L_{\text{corto}}$ , el comportamiento básico del marco se aproxima al de la Figura B.8 [b] y por consiguiente el factor de longitud efectiva pueda ser mayor que 1.



**Figura B.8. Marcos con riostras diagonales que intersecan las riostras horizontales**

**B.6.3.2.4** Para los marcos que tienen patrones de arriostramiento como la configuración que se muestra en la Figura B.6[b] no se recomiendan los factores típicos de longitud efectiva. En tal caso, se usa el análisis racional para determinar el factor de longitud efectiva. Alternativamente, la capacidad de carga llevada se puede determinar por ensayo.

**B.6.3.3 Pandeo torsional**

Ya que no es probable que ocurra pandeo torsional en estructuras de estanterías, el pandeo flexo - torsional es comúnmente el modo de pandeo crítico predominante. El factor de longitud efectiva de pandeo torsional es un parámetro en el análisis del comportamiento flexional - torsional. La provisión dada en este numeral se basa en las referencias normativas B.1.2.14 y B.1.2.22. El valor de  $K_t$  dado en este numeral supone una conexión efectiva entre los miembros y las riostras, como se observa en la Figura B.6(a).

**B.6.4 ESTABILIDAD DE LOS MARCOS ARRIOSTRADOS**

Las disposiciones indicadas en este numeral se basan en la referencia normativa B.1.2.23, con excepción del valor de K. Las expresiones dadas en la referencia fueron para los miembros que tienen una carga axial constante a través de toda su longitud. El factor de longitud efectiva K tiene la finalidad de modificar estas expresiones para el caso de la distribución no uniforme de cargas especiales. Las disposiciones de este numeral tienen mayor probabilidad de regir para las estanterías de gran altura.

## **B.7    CONEXIONES Y PLACAS DE BASE**

Las disposiciones de este numeral incluyen las conexiones de campo y las conexiones entre las diversas partes de los ensambles de almacén.

### **B.7.1    Conexiones**

#### **B.7.1.1    General**

Las conexiones del extremo de la viga se deben diseñar para resistir las cargas y los momentos obtenidos a partir del análisis estructural.

Se deben evaluar los efectos de la excentricidad de la conexión y el efecto de rotación de un elemento adjunto al filo de un reborde no rígido. La influencia de estas conexiones en el comportamiento general es considerable. (Remítase al numeral 5.3). Se debería prestar especial atención a las conexiones del paral al arriostamiento.

#### **B.7.1.2    Dispositivo de seguro para las vigas**

La carga ascendente está especificada para prevenir un desenganche accidental de la conexión de la viga. La carga ascendente se debería aplicar a una viga descargada.

La falla del dispositivo de seguro se define como la distorsión del dispositivo de seguro que impide la reaplicación, el retiro o la reinstalación de la carga ascendente, o que reduce la capacidad de transporte.

#### **B.7.1.3    Estanterías de entrepaños removibles**

La frase "conectadas rígidamente entre sí" indica que las vigas están conectadas de modo que se impida la oblicuidad de los miembros transversales en el uso normal.

### **B.7.2    Placas de base**

Las conexiones de la base del miembro se deben diseñar para resistir las cargas y los momentos obtenidos a partir del análisis estructural.

Para reducir la probabilidad de que ocurra pandeo local en la base, se deberían adecuar soldaduras desde la placa de la base hasta el miembro para transferir adecuadamente las cargas. Cuando lo indique el análisis, se deben diseñar platinas de base y soldaduras al miembro de la estantería para las cargas ascendentes. Para las superficies de apoyo diferentes al concreto se requiere un diseño especial.

La experiencia real en campo real y ensayos limitados han mostrado que pueden ser aceptables las placas de base más delgadas que las proporcionadas normalmente bajo las formas estructurales laminadas en caliente, diseñadas para las especificaciones AISC. El propietario se debería asegurar de que la resistencia del piso, incluyendo la resistencia del concreto, pero sin limitarse a ella, el espesor de la plancha del piso, el método de refuerzo, y la calidad de la subrasante son adecuados para la carga de las estanterías de almacenamiento.

Esta especificación es solamente para el diseño de estanterías de almacenamiento. El diseño de las planchas del piso es un asunto separado que no está dentro de la alcance de esta norma.

El propietario debe pedir al proveedor de la estantería dar una consideración especial a las placas de base.

## **B.8    REQUISITOS ESPECIALES DEL DISEÑO DE ESTANTERÍAS**

### **B.8.1    Volcamiento**

Un aspecto muy importante del diseño de estanterías es proporcionar estabilidad contra volcamiento a la estructura de la estantería cuando ésta se somete a fuerzas horizontales. Las fuerzas horizontales sobre la estructura de la estantería pueden ser a causa del viento (véase el numeral 2.6), a un movimiento sísmico (véase el numeral 2.7) o a la fuerza descrita en este numeral.

Se advierte al diseñador que no considere las cargas estabilizadoras proporcionadas por el anclaje corriente para mantener la alineación de la estantería. Sin embargo, si se analizan las cargas que actúan sobre los anclajes y éstos se diseñan para dichas cargas con apropiados factores de seguridad, entonces las cargas de anclaje se pueden considerar en el análisis de estabilidad.

Se impone un límite sobre la relación altura - profundidad de la estantería. Esta relación se define como la altura hasta la viga más alta dividida por el ancho del marco (o el ancho combinado de los marcos interconectados). Aunque se recomienda que todos los marcos estén anclados (véase el numeral 1.4.7), aquí se establece que si se sobrepasa la relación 6:1, se debe analizar la estantería en cuanto a volcamiento incluso en ausencia de cargas sísmicas y de viento. Una carga lateral de 1,56 kN (159 kgf) (350 lbf), que podría resultar al mover el equipo que da servicio a la estantería, se aplica en el nivel del extremo superior del entrepaño a fin de diseñar el anclaje. No es necesario considerar esta carga de corta duración en el diseño del miembro.

Un límite posterior sobre la relación altura - profundidad está dado como 8:1. Generalmente no se recomienda estabilizar una sola hilera de la estantería que sobrepase esta relación con sólo anclajes al piso. Bajo ciertas circunstancias, esto puede ser conveniente pero tales casos deberían ser completamente analizados y certificados por el ingeniero.

Los requisitos de este numeral se aplican a los marcos de profundidad constante por encima de su altura. Otras configuraciones como las patas inclinadas o acodadas requieren análisis más detallado.

### **B.8.2    Conexiones a edificios**

La rigidez relativa de las estanterías y las edificaciones varía de manera significativa. Por consiguiente, cualquier elemento adjunto entre la estantería y la edificación se debe hacer con requisitos para movimientos de construcción verticales y laterales. Estos elementos adjuntos se deben proporcionar de modo que el elemento pueda fallar antes que causar daño a la estructura de construcción. Se debería tener cuidado de que las cargas del techo no se transfieran a las estanterías.

### **B.8.3    Interacción con edificios**

Esta sección reconoce que las estructuras de construcción y las estructuras de las estanterías probablemente tengan características estructurales diferentes. Durante un movimiento sísmico, esto podría tener un efecto multiplicador para las estructuras que están interconectadas pero que tienen períodos de vibración diferentes. De este modo, las conexiones se deben diseñar para asegurar que ninguna estructura cause daño a otra durante un evento sísmico.

## **B.9    MÉTODO DE ENSAYO**

### **B.9.1    General**

Muchos factores que afectan el diseño de la estantería son difíciles de considerar de manera analítica. El numeral 9 explica una serie de ensayos opcionales que se pueden emplear para evaluar los efectos de los componentes sobre el comportamiento general.

Excepto en cuanto sean modificados o complementados en esta especificación, se deben aplicar las especificaciones AISI (véase el literal B.1.2.4) y AISC (véanse los literales B.1.2.2 y B.1.2.3) para el ensayo de los componentes.

Los ingenieros que intervienen en el diseño de las estanterías probablemente estén familiarizados con los procedimientos de ensayo estipulados en la especificación. Sin embargo, conviene reiterar aquí algunos comentarios pertinentes. El factor importante que se debe mantener en mente es que el procedimiento de ensayo debería ser de tal modo que los resultados del ensayo se puedan repetir. Cualquiera que use el mismo procedimiento de ensayo sobre el mismo espécimen debería llegar a los mismos resultados.

También es importante que de cada espécimen se tomen muestras de acero para determinar el esfuerzo de fluencia real. Generalmente este esfuerzo de fluencia real del acero es mayor que el esfuerzo de fluencia mínimo especificado. Es importante conocer el esfuerzo de fluencia real con el fin de analizar los resultados del ensayo. También es determinante tener un reporte completo que explique los procedimientos de ensayo, los resultados y el análisis de dichos resultados.

### **B.9.2    Ensayos de probetas (tramos) de parales de perfiles formados en frío o laminados en caliente**

Debido a la interrelación de las tres influencias que afectan un miembro a comprensión perforado y que ha sido formado en frío (es decir, pandeo local, perforaciones y trabajo de formado en frío) se debe recurrir a ensayos de determinación. Una vez realizado los ensayos de probetas de los parales (es decir, por cuidadosos ensayos de compresión concéntrica de piezas del miembro suficientemente cortas para no resultar afectadas por el pandeo del miembro). Los detalles de dicho ensayo se explican en la parte VII del Manual de diseño de acero formado en frío de la AISI (véase el literal B.1.2.14).

#### **B.9.2.2    Evaluación de los resultados de los ensayos**

Q es un factor que se utiliza en los numerales 4.2.2 y 4.2.3. Las ecuaciones del miembro, así como la determinación de Q mediante ensayo, utilizan el esfuerzo a la fluencia del material. Por consiguiente, es decisivo que el valor de  $F_y$  utilizado en las ecuaciones del paral se conecte al esfuerzo a la fluencia  $F_y$  utilizado para determinar el valor de Q. Esto se explica a continuación.

La definición básica de Q es:

$$Q = \frac{\text{resistencia real del tramo de paral}}{\text{máxima resistencia hipotética sin influencias debilitantes}}$$

A su vez, esta resistencia hipotética en el caso de las secciones no perforadas, es  $A_{total} F_y$ . Para las formas  $Q < 1$  la especificación AISI permite el trabajo en frío en las plataformas que se van a utilizar, pero no en las de las esquinas.

Para los miembros perforados, la especificación supone que la resistencia máxima hipotética va a ser gobernada por la mínima sección neta  $A_{net\ min}$  de una superficie apropiadamente pasada a través de las perforaciones. De manera correspondiente,  $Q$  se define como:

$$Q = \frac{\text{resistencia final del tramo de paral}}{F_y A_{neto\ min}}$$

Con respecto al esfuerzo de fluencia  $F_y$  que se va a usar para determinar  $Q$  mediante ensayo, y el valor  $F_y$  para calcular la resistencia de los paraleles de acuerdo con la sección C4 de la AISI, es necesario prestar atención a los siguientes aspectos. Al calcular la resistencia del miembro de acuerdo con la especificación AISI, sección C4,  $F_y$  es el mínimo esfuerzo de fluencia especificado al cual el acero es ordenado por el fabricante. Por otra parte, el esfuerzo de fluencia del rollo particular a partir del cual se van a hacer los especímenes del ensayo de probeta (tramo) de paral, serán diferentes y en general algo mayores que el mínimo punto de fluencia ordenado. Con el fin de que la determinación de  $Q$  sea precisa, es necesario que el punto de fluencia virgen del material del ensayo de probeta (tramo) de paral (antes de formarse) esté tan cerca como sea posible a la esfuerzo especificado; no se debería desviar de este en más de -10 % a +20 %. Con esta condición, la especificación junto con la especificación citada en AISI (véase el numeral B.1.2.4), apéndice A.5.2.2 permite la determinación de  $F_y$  en la ecuación para calcular  $Q$  y los valores consistentes de  $F_y$  para calcular la resistencia del miembro de acuerdo con las especificaciones de la AISI, sección C4.

Para una serie de paraleles que tienen diferentes espesores, se pueden ensayar para el mayor y menor valor de espesor. Para cualquier espesor intermedio, el valor de  $Q$  se debería determinar usando los cálculos de resistencia del paral de acuerdo con la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4), Sección C4 junto con un valor de  $Q$  obtenido mediante una interpolación similar. Es decir,

$$Q = Q_{min} + \frac{(Q_{max} - Q_{min})(t - t_{min})}{(t_{max} - t_{min})}$$

Donde  $Q_{min}$  es para la probeta (tramo) de paral con el espesor  $t_{min}$ ,  $Q_{max}$  es para la probeta (tramo) de paral con el espesor  $t_{max}$ , determinados ambos como se indicó antes. (Nótese que  $Q_{min}$  no es el menor de los dos valores de  $Q$ , sino el valor de  $Q$  para la probeta (tramo) de paral de menor espesor).

Este método es adecuadamente preciso sólo si los esfuerzos de fluencia reales de las dos probetas (tramos) de paraleles con  $t_{max}$  y  $t_{min}$  no son muy diferentes. Por esta razón la especificación limita esta diferencia a 25 %.

Es aceptable interpolar linealmente los valores de  $Q$  para una serie de formas con idénticas secciones transversales y dimensiones de perforación, pero con una diversidad de espesores. Para este propósito se deberían determinar  $Q_{max}$  y  $Q_{min}$  a partir de los ensayos de probetas (tramos) de paraleles sobre especímenes hechos con los espesores máximo y mínimo del rollo a partir del cual se han hecho las probetas (tramos) de paraleles. Se necesita esta corrección con el fin de evitar un diseño inseguro en el caso en que el esfuerzo de fluencia virgen (antes de la formación) de los especímenes haya sido considerablemente mayor que el mínimo especificado.

Mediante el procedimiento anterior, es posible obtener valores de  $Q$  mayores que 1,0 (uno). Esto es así si los efectos de reforzamiento no considerados del trabajo en frío exceden los efectos de debilitamiento de las perforaciones. Sin embargo, en las especificaciones AISI es básico para el uso de  $Q$  que éste sólo pueda ser igual a 1,0 o menor, pero no mayor. En consecuencia, las especificaciones indican que si el procedimiento seleccionado para determinar  $Q$  da como resultado un valor de  $Q$  mayor que 1,0, se utilice el valor  $Q = 1,0$ .

### **B.9.3 Ensayos de las vigas portantes**

En esta sección, dependiendo de la información que se requiera, se especifican dos tipos diferentes de ensayos (es decir, ensayos de viga portante simplemente apoyadas y vigas portantes montada en marcos).

En estos ensayos la carga se aplica por medio de una máquina de ensayo o gatos. Esta carga puede restringir las distorsiones torsionales y en consecuencia, pueden conducir a resultados no conservadores para los miembros sometidos a dichas distorsiones.

Los métodos de ensayo de las vigas ilustrados no cuentan para el impacto. Sin embargo, en la práctica, los resultados del ensayo se tienen que ajustar para considerar el efecto del impacto añadido.

#### **B.9.3.1 Ensayos de vigas portantes simplemente apoyadas**

Este ensayo también se puede usar en el diseño de vigas, en general, cuando se considera que la restricción final no llevará a un aumento significativo de la capacidad de transporte de carga.

En la determinación y en los momentos de fluencia, el número de ensayos necesarios se debe determinar de acuerdo con la especificación AISI (véase el literal B.1.2.4).

##### **B.9.3.1.1 Disposición del ensayo**

Se debe utilizar la disposición del ensayo que se ilustra en la Figura B.9.

El valor de  $C$  que se indica en la figura, debe estar entre 2,5 y 3 y se ha escogido para evitar la falla de cortante y para asegurar un tramo suficientemente largo con momento constante.

Para la mayoría de las vigas de estibas, el detalle de la conexión terminal es tal que la viga se puede poner directamente sobre la superficie de soporte y tener condiciones terminales simplemente apoyadas. En este caso, probablemente no se necesiten ganchos, diafragmas o rigidez adicional en los soportes.

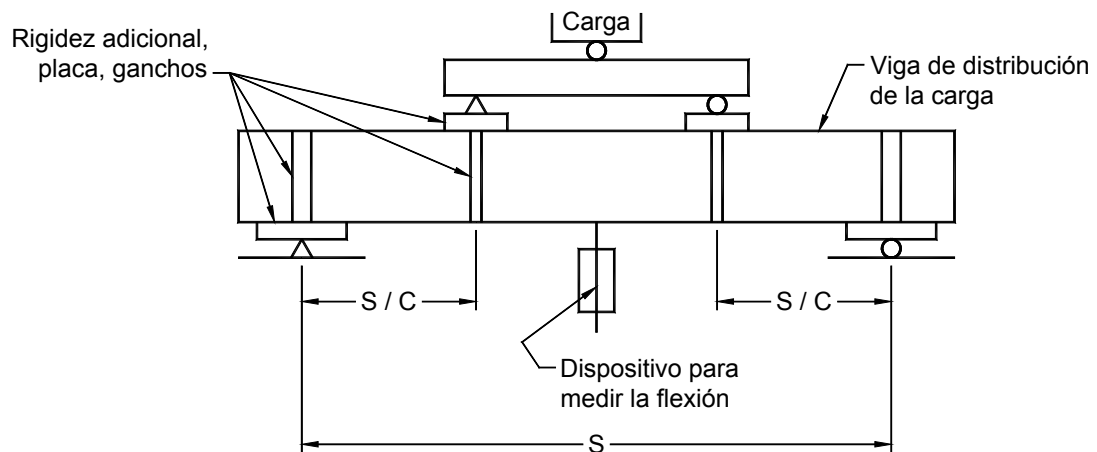


Figura B.9. Ensayo de viga portante simplemente soportada

### B.9.3.1.2 Procedimiento del ensayo

Se deben usar las pautas generales dadas en el numeral 9.1.3 además de los requisitos particulares especificados aquí.

### B.9.3.2 Ensayo de viga portante montada en marcos

Este ensayo tiene el propósito de simular las condiciones de una estantería real tan cerca como sea posible, para determinar la carga permisible.

Este ensayo se puede usar también para determinar la magnitud de la constante de elasticidad  $F$  definida en el literal B.9.4. Para las cargas verticales este ensayo puede reflejar el comportamiento real de las conexiones con mayor exactitud que el ensayo descrito en el numeral 9.4.1.

#### B.9.3.2.1 Disposición del ensayo

Se ha especificado que el marco no esté anclado al piso, incluso si las estanterías reales lo están. El ensayo tiene el propósito de representar el comportamiento de la estantería entre los puntos de inflexión. Por consiguiente, se debería evitar cualquier otra restricción en las bases del paral diferente a la debida a la presión.

Es importante minimizar la fricción entre las vigas y las estibas porque las estibas nuevas o secas o las vigas nuevas y secas, cuando se usan en el ensayo, pueden proporcionar un arriostramiento notablemente mayor que las estibas y las vigas con cierto uso y posiblemente cubiertas con una película de aceite.

#### B.9.3.2.3 Evaluación de los resultados del ensayo

Se deben usar las pautas generales dadas en el numeral 9.1.3 además de los siguientes tres requisitos particulares o criterios para determinar la carga permisible. El primero de estos es la determinación del factor de seguridad o el factor de resistencia de acuerdo con la sección F de la especificación AISI.

El segundo criterio por el cual al determinar las cargas permisibles a partir de los resultados del ensayo prescribe un factor de seguridad de 1,5 contra la excesiva distorsión de carga.



El tercero y último criterio limita la deflexión de las vigas bajo carga de diseño a 1/180 de la luz. Para satisfacer este requisito, la carga que resulta en esta cantidad de deflexión se debería leer a partir de la curva de deflexión de carga representada gráficamente con base en los resultados del ensayo. Si esta carga es más pequeña que aquella obtenida de los dos primeros requisitos, esta predomina.

#### **B.9.4 Ensayos de la conexión viga portante - paral**

Los ensayos especificados en este numeral tienen dos objetivos; el primero es determinar la capacidad a momento de la conexión, y el otro determinar la constante de elasticidad de la conexión  $F$  descrita más adelante para el uso con el enfoque del análisis racional.

En un análisis de marco rígido se supone que los miembros unidos en una conexión mantienen el ángulo entre ellos mientras el marco se deflecta bajo la carga aplicada. Las conexiones entre los parales y la viga portante, en general no se comportan como rígidas. Esto se debe ante todo a la distorsión de los muros de los parales de la conexión y a una menor extensión debida a la distorsión que tiene lugar en los propios conectores. Esta particularidad influye de manera muy significativa en el comportamiento general. Los detalles de conexión varían ampliamente, por lo cual es imposible establecer procedimientos generales para calcular la rigidez y la resistencia de la conexión. Por tanto, es necesario determinar estas características por simple ensayo.

El cambio en el ángulo existente entre el paral y la viga de conexión  $\theta$  (en el radio) se puede representar de la siguiente manera:

$$\theta = \frac{M}{F}$$

donde  $M$  es el momento en la conexión entre los miembros conectores y  $F$  es la constante de elasticidad que relaciona el momento con la rotación.

##### **B.9.4.1 Ensayo tipo cantiliver**

El ensayo tipo *Cantiliver* proporciona un medio simple de determinar la capacidad y rigidez a momento de la conexión. Sin embargo, tiene la desventaja de que el radio de la carga cortante (que es la reacción vertical) al momento en las conexiones no está bien representado. Para las típicas conexiones de estantería esta relación es probablemente más alta que en el ensayo en voladizo, como se explica en esta especificación.

En general, una mayor relación probablemente llevaría a una conexión más rígida. Sin embargo, el momento de flexión y la carga cortante interactuarían y reducirían la carga final de la conexión. Este efecto se debería estudiar mediante la reducción de la longitud del voladizo a la distancia entre el extremo de la viga y la localización esperada del punto de inflexión.

Este ensayo es apropiado para determinar  $F$  a fin de calcular los esfuerzos debidos a cargas verticales. Se puede lograr una determinación más precisa de  $F$  a través de ensayos de acuerdo con el numeral 9.3.2.

##### **B.9.4.1.1 Disposición del ensayo**

Esta disposición del ensayo se ilustra en la Figura B.10.

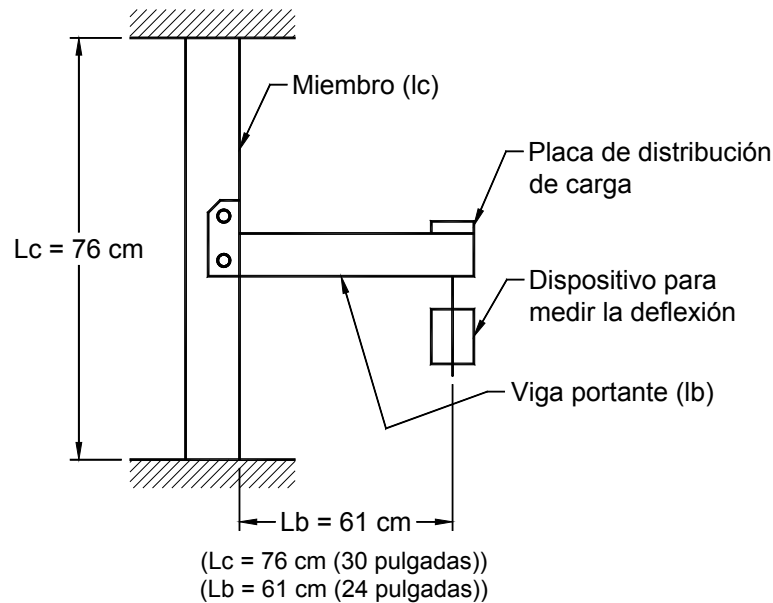


Figura B.10. Ensayo tipo *Cantiliver*

### B.9.4.1.3 Evaluación de los resultados del ensayo

La relación entre el momento y el cambio angular en la conexión no es lineal. La siguiente ecuación parece ser razonable para determinar un valor constante de F para ser utilizado en un análisis lineal.

$$F = \frac{(R.F.)}{\frac{\delta_{0,85}}{P_{0,85}L_b^2} - \frac{L_c}{16EI_c} - \frac{L_b}{3EI_b}}$$

en donde

- $P_{0,85}$  = es 0,85 veces la carga final y
- $\delta_{0,85}$  = es la deflexión del extremo libre del voladizo en la carga  $P_{0,85}$ ,
- $L_c, L_b, I_c, I_b$  = son las mismas longitudes y momentos de inercia de los miembros y la viga, respectivamente.
- (R.F.) = es un factor de reducción para proporcionar seguridad considerando la dispersión de los resultados del ensayo.

Puesto que un menor F significa un mayor momento de diseño para la viga, se debería tomar un (R.F.) = 2/3 en el diseño de la viga. Sin embargo, al determinar los momentos de flexión para los miembros, un F más alto lleva a un valor más conservador del momento de flexión; por consiguiente, se recomienda tomar (R.F.) = 1,0 para este caso.

Se sugiere que la constante de elasticidad F se calcule con base en los resultados promedio sobre dos ensayos de especímenes idénticos asegurando que la desviación con respecto a los resultados promedio de dos ensayos no sobrepasa el 10 %; si la desviación con respecto al promedio sobrepasa dicho 10 %, entonces se ensayara un tercer espécimen. El promedio de los dos valores más altos se considera como el resultado en el diseño de los parales.

**B.9.4.2 Ensayo tipo pórtico**

El ensayo tipo pórtico es aconsejable cuando el valor de F obtenido se va a usar en un análisis de desplazamiento lateral ya sea para deflexiones laterales o para estabilidad. Bajo cargas verticales las conexiones en general se "aprietan". En consecuencia, bajo el desplazamiento lateral la conexión en un extremo de la viga se "aprieta" mientras que la conexión en el otro extremo se "suaviza". El ensayo tipo pórtico da un valor promedio aproximado de las constantes de elasticidad involucradas en el proceso. Por tal razón es aconsejable utilizar el ensayo tipo pórtico para evaluar el comportamiento del desplazamiento lateral, es decir, las longitudes efectivas y las deflexiones horizontales.

**B.9.4.2.1 Disposición del ensayo**

En la Figura B.11 se muestra un esquema de la disposición del ensayo. De acuerdo con la especificación, h = 61 cm (24 pulgadas).

Se debe utilizar el indicador de dial No. 1 para medir la deflexión lateral  $\delta$  de la estantería. Los indicadores de dial No. 2 y No. 3 indican si las bases del miembro están apropiadamente restringidas o no. Se pueden utilizar otros dispositivos de medición en vez de los indicadores de dial. En general, la fricción entre el concreto y las barras semirredondeadas es suficiente para esta restricción.

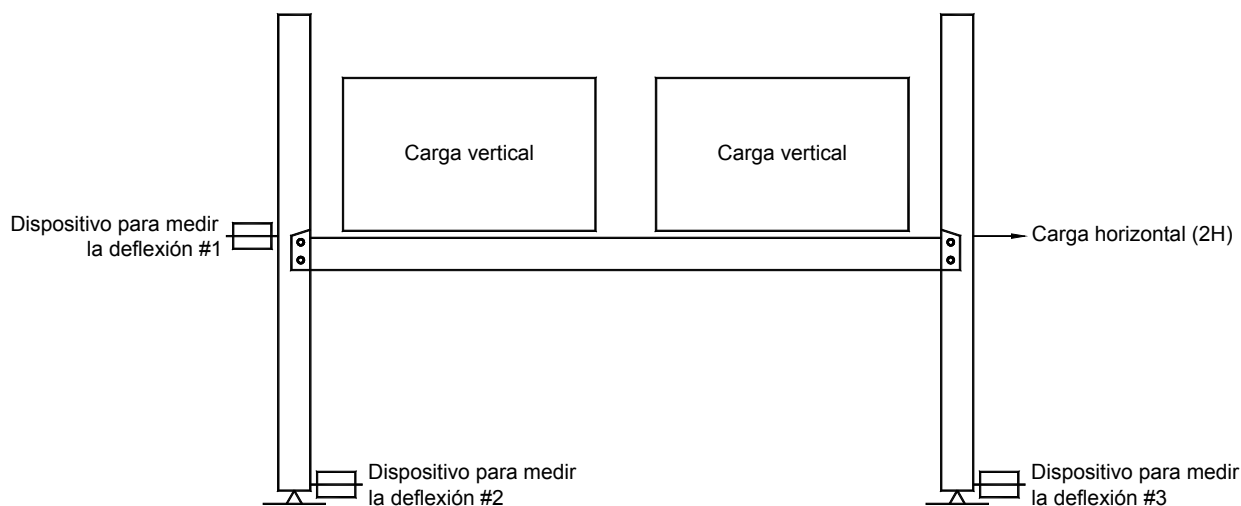


Figura B.11. Ensayo tipo pórtico

**B.9.4.2.3 Evaluación de los resultados del ensayo**

El siguiente es el posible análisis racional para evaluar los resultados del ensayo. Considerando una altura de pórtico h y luz L, con momentos de inercia de los paraleles y vigas designadas como  $I_c$  e  $I_b$ , respectivamente, y la expresión para la máxima deflexión de desplazamiento lateral  $\delta$  correspondiente a la carga lateral de la combinación 2H es como sigue:

$$\delta = \frac{Hh^3}{3EI_c} + \frac{Hh^2L}{6EI_b} + \frac{Hh^2}{F}$$

Al resolver esta ecuación para F, se obtiene lo siguiente:

$$F = \frac{R.F.}{2 \frac{\delta}{Hh^2} - \frac{h}{3EI_c} - \frac{L}{6EI_b}}$$

en donde

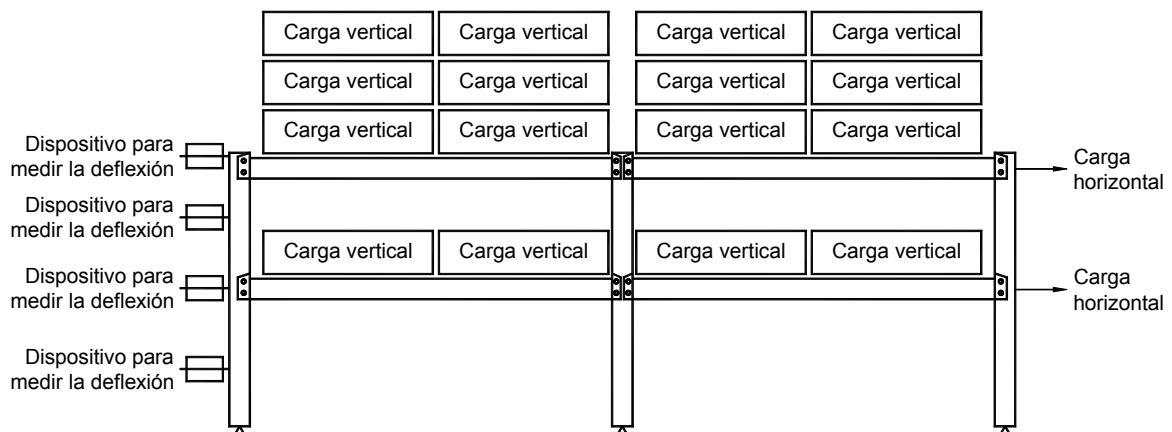
- (R.F.) = es un factor de reducción que se puede tomar igual a 2/3.
- E = el módulo de elasticidad
- h = la distancia desde el piso hasta el tope de la viga
- H = la carga horizontal por viga
- I<sub>b</sub> = el momento de inercia de la viga alrededor del eje paralelo al piso
- I<sub>c</sub> = el momento de inercia del paral alrededor del eje paralelo con la posición vertical del marco
- L = la distancia entre el centro de las dos paralelos paralelos y la viga del entrepaño
- δ = deflexión por desplazamiento correspondiente a una carga lateral de 2H

Puesto que es de interés el comportamiento tanto en la carga de diseño como en la carga final, se efectuaran ensayos tipo pórtico en los dos niveles de carga. También se recomienda aquí hacer múltiples ensayos, tal como se recomiendan en el literal B.9.4.1.3.

**B.9.5 Ensayo de los marcos**

El riesgo de colapso de un sistema completo de estantería de alto alcance representa serios problemas de seguridad. Por consiguiente, los procedimientos de ensayo propuestos aquí se ajustan a una escala reducida que establecerá, simulando un ensayo a escala real, la capacidad del marco de manera segura. Los ensayos están destinados además a simular las condiciones en las estanterías reales con tanta aproximación como sea posible.

**B.9.5.1.1 Disposición del ensayo para carga horizontal en dirección perpendicular al marco**



**Figura B.12. Disposición del ensayo**

**DOCUMENTO DE REFERENCIA**

RACK MANUFACTURERS INSTITUTE. *Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks*. USA, ANSI - RMI, 2004. 68 p. (American National Standard MH16.1-2004).