LA NUEVA NORMA AISI 2007 de ESTRUCTURAS DE ACERO CONFORMADO EN FRIO

COMENTARIO DE LAS NOVEDADES Y CAMBIOS

INTRODUCCIÓN

Los profesionales de la industria del acero reconocen al AISI (American Iron and Steel Institute) como la Institución líder a nivel internacional del diseño y construcción de estructuras de acero formadas en frío . De allí que cuando una norma de diseño que edita AISI cambia y aporta novedades es útil conocerlas a tiempo . En todos los niveles de la tecnología internacional se observan continuas mejoras , sucediéndose cambios que el ingeniero estructural debe conocer si pretende mantenerse actualizado y competitivo en su especialidad.

Este Comentario está dirigido a los profesionales que están relacionados con los proyectos y construcciones de estructuras de perfiles conformados en frío, desde los calculistas y proyectistas hasta los técnicos de los talleres , para los cuales , muchas veces es imposible conocer las novedades que se producen en la tecnología internacional . En estos comentarios se pretende comunicar aquellos cambios más importantes que en algunos casos alteran procedimientos anteriores y en otros presentan nuevas formas de tratar aspectos de diseño .Por lo tanto existe la esperanza de que este Comentario sea de utilidad práctica para el avance de las estructuras de acero .

La nueva edición 2007 de las Especificaciones AISI contienen numerosos cambios respecto de la edición anterior de 2001 . Dentro de estos cambios existen muchos que son simplemente de forma o de organización de textos , al lado de otras que representan novedades de forma y contenido que modifican procedimientos de diseño y cálculo empleados hasta ahora . Como Apéndice a este texto publicamos un Listado de los cambios ,cláusula por cláusula que incluye. la lista de los cambios detectados en el nuevo texto , lo que permitirá a los profesionales interesados en ello ubicarlos y evaluar la importancia que tienen respecto al empleo de la anterior edición de la norma .

Sin embargo dentro de ese listado existen algunas novedades importantes que involucran modificaciones en la forma del cálculo y de diseño de estas estructuras . Esos temas destacados merecen un comentario esclarecedor que frecuentemente no se encuentra en el texto de la norma . En este Comentario se pretende contribuir con explicaciones, principalmente conceptuales destinados a aquellos profesionales que aparte del empleo de las nuevas fórmulas y procedimientos de la norma , tengan interés en la comprensión del motivo y destino de las modificaciones introducidas

Solo se comentan aquellos cambios que representan modificaciones importantes a la anterior versión de la norma del año 2001

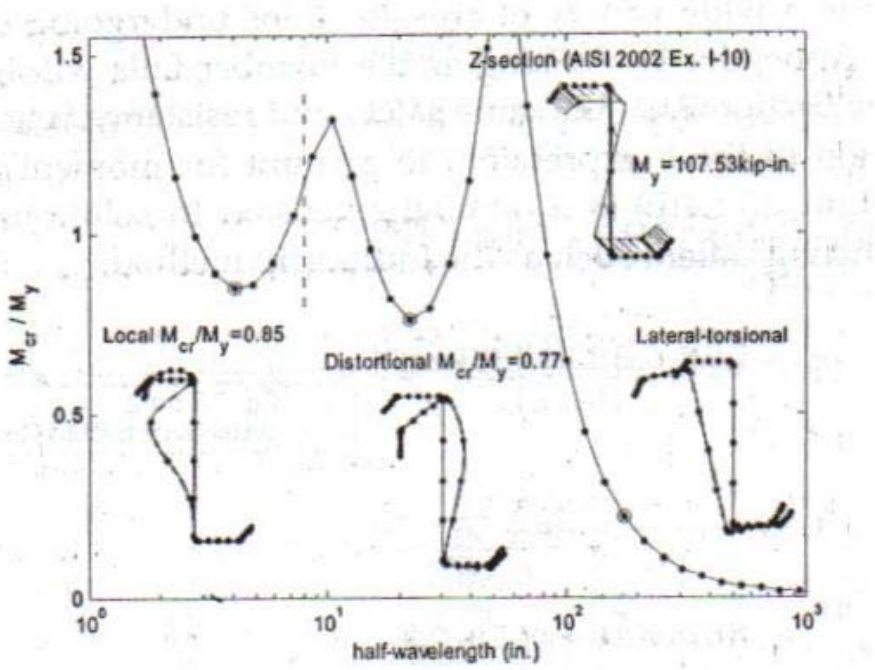
1) PANDEO DISTORSIONAL (C3.1.4)

El pandeo distorsional es un fenómeno de inestabilidad , que a pesar de ser ya ampliamente conocido entre los expertos del tema, recién ahora se incorpora a la norma AISI . En las ediciones anteriores de la norma se trata solo el pandeo flexo-torsional y el pandeo local . Ahora se incorpora el pandeo distorsional que es el que se produce en alas de perfiles abiertos , como los C y Z en los cuales las alas , con pestañas ,cuando están comprimidas pasan a una respuesta inestable y tienden a rotar en conjunto produciendo una deformación general del ala.

En las anteriores ediciones de la norma en el Capítulo B4 esto se ha tratado en forma indirecta para alas con pestañas , pero en esta nueva edición el tema se trata como un caso separado . Siendo un tema bastante complejo, se ofrecen tres métodos distintos de la forma de verificar en forma práctica la tensión Fd de pandeo distorsional de alas de perfiles abiertos . La norma ofrece un método simplificado de verificación en la cláusula C3.1.4.a), otro método más exacto en C3.1.4.b) y la determinación por el método de cálculo directo del Apéndice 1 , según la cláusula C3.1.4.c)

Considerando los casos de perfiles flexionados es importante destacar que los tres fenómenos de pandeo que ahora se consideran en la norma : pandeo general , pandeo distorsional y pandeo local definen ondas de deformación de distintos largos siendo las de pandeo general las más largas , las de pandeo local las más corta y las distorsionales de largo intermedio . Esto se puede apreciar en la figura C-C3.1.4.-1 del Comentario de la norma para un perfil tipo Z , que se reproduce aquí

Figura C-C3.1.4.-1



En los diseños de rutina en general es prudente evitar los problemas de los pandeos locales y los distorsionales, ya sea seleccionando perfiles de espesores tales de eliminar el pandeo local y distorsional o recurriendo a artificios de riostras o fijación a elementos o recubrimientos estabilizantes , tal como se sugiere en la misma norma

Para evaluar si es posible ignorar el peligro distorsional es conveniente emplear el método simplificado de C3.1.4 a) que permite determinar manualmente y en forma rápida si tal peligro existe . Si se verifica que no existe peligro de pandeo distorsional se puede proseguir con el diseño sin ya preocuparse por este problema .

2) FLEXION Y TORSIÓN EN PERFILES ABIERTOS (C3.1 y C3.6)

En la edición de las Especificaciones AISI del año 2001 en la cláusula C3.1 se incluyó la condición de que las prescripciones del pandeo lateral de vigas en flexión eran aplicables a perfiles donde las cargas pasan por el centro de corte. El tema de la torsión de perfiles Canal puede consultarse en el Anexo 3 del MANUAL de INGENIERÍA del STEEL FRAMING , recientemente editado por ILAFA.

En esta edición 2007 de la norma AISI se modificó la redacción de la cláusula C3.1 , en la cual se prescribe que si las cargas no pasan por el centro de corte se debe respetar lo dispuesto en la cláusula C3.6 , en la cual se define un factor R que representa la reducción de resistencia que genera esta torsión . El cálculo de las tensiones en perfiles abiertos como las C y Z , para el caso de torsión por excentricidad es complejo , pero hay que destacar que en los perfiles delgados que se emplean en las estructuras de perfiles conformados en frío , y en especial en las del sistema Steel Framing , la torsión de Saint Venant puede ser ignorada , siendo la de alabeo la preponderante . En esta edición de norma el problema de la verificación a torsión es desviado a una publicación del AISC Steel Design Guide (AISC1997a) “TORSIONAL ANALYSIS of STRUCTURAL STEEL MEMBERS “. Sin embargo en este Comentario se estima que para perfiles delgados es suficiente considerar las resistencias laterales de las alas de perfiles C y Z como los elementos resistentes a la torsión por alabeo y a partir de allí determinar las tensiones por flexión lateral en esas alas por la torsión ,las que pueden aumentar las tensiones en puntos críticos del perfil en el orden de hasta 60% , lo que equivale a reducir la resistencia a la flexión a solo el 40% de la que tiene si la fuerza actuante pasa por el centro de corte . En el citado Anexo 3 del Manual de Steel Framing se trata esta solución aproximada que viene a confirmar los valores de R de la tabla D6.1.1-1 para perfiles C sometidos a succión de viento ,que genera una torsión por excentricidad aun cuando el ala traccionada se encuentra fijado fehacientemente a un revestimiento del tipo diafragma . Los valores de la tabla D6.2.1 -1, son congruentes con lo indicado en la cláusula C3.6

Lo que merece destacarse es que el tema de la estabilidad lateral de vigas tipo C y Z, clausula C3.12.1 es un fenómeno de segundo orden , mientras que la torsión por excentricidad lo es de primer orden . Esto viene a confirmarse por las nuevas y más detalladas exigencias establecidas en el capítulo D3 respecto de las riostras requeridas para resistir las fuerzas generadas por torsión .Las fuerzas que se requieren para evitar el pandeo lateral de una viga son mucho menores .

Es muy importante analizar el contenido del Comentario a la cláusula D3.2.1 que trata en detalle las reacciones que se deben aplicar a los perfiles C y Z en las riostras que se instalan en los perfiles correa . Aun cuando en el texto de la cláusula C3.1 solo se menciona el caso de fuerzas que no pasan por el centro de corte en los comentarios del punto D3.2.1 se aclaran las diferencias entre los perfiles C y los Z . Mientras que en el caso de los C el centro de corte es tá desplazado del centro de gravedad del perfil ,siendo común el caso de cargas actuando con excentricidad , en el caso de los perfiles Z que tienen simetría puntual , el centro de corte coincide con el de gravedad ,por lo cual su funcionamiento es diferente .En los perfiles Z las fuerzas que actúan en el ala pueden tener una excentricidad respecto de ese centro pero cuando coinciden con el plano del alma no existe tal excentricidad de torsión . Sin embargo existe otra respuesta anormal, no destacada en la norma, generada por el hecho que los ejes principales de la Z son oblicuos y la flexión para cargas actuando en el plano del alma generan dos deformaciones ; una normal al eje oblicuo principal y la otra normal al eje secundario oblicuo.

3) RIOSTRAS EN PERFILES CORREAS C Y Z (D3.2.1)

Esta cláusula ha sido ampliada con figuras que representan las acciones que actúan sobre los perfiles C y Z que se emplean como correas en techos y muros y donde ninguna de sus alas se halla conectada a un recubrimiento estabilizador . Además el tema es ampliamente tratado en los Comentarios de la norma , que en las ediciones anteriores se limitaba a dar las fuerzas de riostras por la torsión del perfil sin analizar la combinación de todas las acciones a que quedan sometidas las correas de techo y de muro , que deben combinar las componentes de fuerzas como los pesos , las de nieve y viento combinadas con la torsión por excentricidad . En esta edición se analiza estos casos pero manteniendo el criterio de solo considerar las reacciones de las acciones sobre la correa , sin detallar como se verifican las tensiones de flexión y torsión en estos perfiles abiertos . Para el caso de torsión la norma recomienda recurrir a la ya mencionada publicación del AISC. Pero de todas maneras esta verificación exacta es compleja y parece recomendable que en el futuro se propusiera algún método más simple para estas verificaciones de torsión .

La norma detalla la forma de determinar los esfuerzos que actúan sobre las riostras y destaca la necesidad de que en alguna parte esas fuerzas acumuladas sean ancladas en partes resistentes de la estructura . En techos con nieve y con

pendientes fuertes estos esfuerzos pueden ser importantes y de todas maneras son necesarias para garantizar la estabilidad del techo .

Si bien se trata el caso de las fuerzas actuantes , en la norma se omite tratar la importancia de la posición de los perfiles C y Z en los techos , en relación con la torsión que se genera. . Esto se trata en el Manual de STEEL FRAMING de ILAFA (Cláusula C7) para el caso de perfiles C, explicando que en techos con pendiente siempre las alas deben posicionarse mirando hacia la cumbrera , ya que si se colocan en la posición opuesta el efecto de la torsión aumenta a medida que aumenta la pendiente del techo . En el caso de los perfiles Z lo mismo sucede porque si el ala superior se halla dirigido hacia pendiente abajo , a medida que aumenta la pendiente del techo el perfil queda más expuesto a flexión en el eje más debil en el cual posee una resistencia menor , con lo cual el efecto de la torsión podrá sobrepasar a los coeficientes R de la tabla D6.1.1-1 . Por lo tanto conviene que el usuario tenga en cuenta que los valores de esa tabla pueden aumentar si los perfiles C y Z son instalados en forma incorrecta con sus alas superiores en dirección pendiente abajo .

4) ARROSTRIAMIENTO DE MIEMBROS COMPRIMIDOS (D3.3)

Esta es una nueva cláusula D3.3 que especifica que una riostra lateral de un perfil comprimido debe resistir al menos 1% de la fuerza de compresión en el perfil y prescribe la rigidez requerida para asegurar la fijación lateral del perfil. Esta cláusula agrega dos datos muy importantes , sobre todo en lo conceptual ,al especificar la fuerza necesaria para impedir el pandeo lateral genera de un perfil comprimido y la exigencia de rigidez de la riostra . Que la fuerza sea solo el 1% de la compresión destaca el reducido esfuerzo que se requiere para impedir el pandeo lateral del perfil.

5) CONSTRUCCIÓN DEL TIPO STEEL FRAMING (D4 y D4.1)

Para el caso del STEEL FRAMING de perfiles livianos la cláusula detalla una lista de Especificaciones de AISI , que han sido asignadas con nuevos números y que deben ser empleados en este tipo de construcción, especialmente aplicable a la construcción de viviendas , y que son :

North American Standard for Cold-Formed Steel Framing -

- AISI 200 General Provisions
- AISI 210 Floor and Roof System Design
- AISI 211 Wall Stud Design
- AISI 212 Header Design
- AISI 214 Truss Design

En la cláusula D4.1 se elimina la posibilidad de considerar los revestimientos de muros (placas en base de madera , yeso cartón, etc) como elementos estabilizadores al pandeo lateral de los montantes (autorizado en las ediciones anteriores de la norma) permitiendo solo el denominado sistema "all steel". Es decir solo la estabilización lateral por medio de perfiles o cintas (flejes) de acero. De esta manera se elimina la cláusula D4.1 de la edición AISI 2001 en la que se especificaba en que forma se debía tener en cuenta la resistencia y rigideces de los distintos revestimientos para garantizar la estabilidad de los montantes . Es destacable el hecho de que en el citado MANUAL de INGENIERIA del STEEL FRAMING de ILAFA se haya anticipado este criterio debido a que la permanencia de estos revestimientos no está garantizada , en cuyo caso los montantes no quedan asegurados contra fallas de compresión

6) **DIAFRAGMAS de ACERO de PISOS y TECHOS (D5)**

Este es un capítulo nuevo de la norma en que se menciona el hecho de que tradicionalmente los pisos y techos son arrostrados en su plano por diagonales de acero. En la norma se autoriza el empleo de revestimientos de acero como estabilizadores laterales de los planos de los pisos y techos . En este sentido la misma norma menciona al STEEL DECK INSTITUTE (SDI) de EEUU, institución que trata este tema en detalle . Es recomendable que el profesional que desea profundizar sus conocimiento en esta área consulte las normas y publicaciones del SDI.

En todo caso , cuando se emplea estos revestimientos es posible eliminar los arrostramientos de diagonales en el plano del techo o piso , con lo cual se logra una reducción de costo y una sensible simplificación constructiva.

Sin embargo la adopción de estos recubrimientos como diafragmas resistentes y capaces de resistir las acciones de sismos, viento y explosiones no debe ser una aplicación empírica sino que verificada en su seguridad según lo especificado en esta norma . El dimensionamiento de estos diafragmas puede hacerse por cálculo o por ensayos , respetando los coeficientes de seguridad y/o factores de carga establecidos en la tabla D5 de la norma .

Se debe verificar la seguridad de los fijadores que pueden ser tornillos , otros o soldadura ,siendo en general el detalle crítico de los diafragmas , analizado en la norma y en sus Comentarios .

Otro factor a controlar es la posibilidad de pandeo general del revestimiento fuera de su plano . Aunque la norma no lo aclara en general estos revestimientos son placas del tipo ondulado , trapezoidal u otras formas con nervaduras formadas en una dirección , destinadas a darle rigidez transversal a las mismas .

La norma no trata el tema de la rigidez en el plano de los diafragmas , que puede ser importante en caso que deben compararse rigideces laterales entre distintos planos de diafragmas . En la norma se dan referencias de otras normas

que permiten resolver estos problemas, que pueden ser importantes en el calculo de sismo o viento , para establecer la colaboración de cada diafragma en la resistencia lateral .

La norma no menciona los revestimientos de placas tipo madera y yeso cartón como aptas para actuar como diafragmas de pisos y techos . Esto es lógico como para establecer un margen de seguridad general de diseño . Sin embargo en el caso del sistema STEEL FRAMING es posible contar con la acción de diafragma de los revestimientos de placas del tipo estructural en base a madera . Para ello el proyectista deberá consultar lo indicado en el capítulo D4 .

Sin perjuicio de que en general solo se autorizan los diafragmas de acero en pisos y techos , el proyectista conviene que de alguna manera tome en cuenta la existencia de los revestimientos de placas de madera y/o yeso cartón , cuando las rigideces de estos revestimientos son importantes y pueden influenciar la distribución de fuerzas laterales (sismo o viento) , y modificar los períodos u otro efecto que puede resultar imprevisto, si se ignora la presencia de estos revestimientos no metálicos.

7) SISTEMAS DE MUROS Y TECHOS METÁLICOS (D6)

Se agrega esta nueva sección D6 en la cual se trata en general el caso de techos y muros formados por perfiles de correas o viguetas con revestimientos de paneles y/o planchas con nervios de unión (standing seam) . Cláusulas que en las ediciones anteriores estaban en la sección C han sido trasladadas a esta nueva sección D6 ,tal como la que trata el caso de perfiles comprimidos que tienen un ala conectada a un revestimiento .

En esta sección se trata el caso de miembros en flexión que tienen un ala de los perfiles conectados fehacientemente a un revestimiento metálico , cuyas cualidades mínimas se establecen en la norma , así como las dimensiones y espesores mínimos de los perfiles, tratándose especialmente el caso de estos perfiles sometidos a flexiones que producen compresión en el ala libre no conectada al revestimiento . Para estos casos se establecen coeficientes R de reducción de resistencia que oscilan entre un 70 y 40 % según el perfil y sus dimensiones . Estas prescripciones en la edición del 2001 estaban en la cláusula C3.1.3 En los Comentarios de la norma se aclara que estos importantes coeficientes de reducción , que llegan a reducir a solo 40% la resistencia de perfiles C , son el resultado de numerosos ensayos realizados sobre estos perfiles C y Z . Sin embargo es oportuno aclarar que el origen de estas reducciones es el efecto de la torsión por excentricidad respecto del centro de corte en los perfiles C , tal como se aclara en el Manual del STEEL FRAMING de ILAFA, y en el caso de los perfiles Z el efecto de que la flexión de estos perfiles se produce según sus ejes principales , que son oblicuos y que producen un efecto de pseudo torsión , generador de una reducción en su capacidad de flexión .

En esta misma sección se han agregado el caso de miembros con planchas del tipo nervios de unión , el caso de miembros comprimidos con solo un ala conectado a un revestimiento y los requerimientos de arrostramiento y anclaje de sistemas de correas de techo sometidos a cargas gravitacionales y que tienen sus alas superiores conectadas fehacientemente a los revestimientos . Esta cláusula reemplaza a la anterior cláusula D3.2.1 con cambios en la redacción y a las expresiones , incluyendo las nuevas tablas D6.3.1.1 y D6.3.1.2 de Coeficientes de restricción C1 a C6 a aplicar en las expresiones de esta cláusula .

La nueva cláusula D6.3.2 da una solución alternativa para arrostrar lateralmente las correas de techo.

8) APENDICE 1 : METODO DE RESISTENCIA DIRECTA

Este Apéndice introduce un Capítulo nuevo a la Norma , relacionado con la manera de tratar el problema de los fenómenos de pandeo que afectan a los perfiles que se emplean en la técnica del conformado en frío. El tratamiento del pandeo general de los perfiles y el pandeo local desde la primera edición de la norma AISi en 1946 se ha hecho por separado . El pandeo local fue enfocado por un criterio creado por Von Karman de los “anchos efectivos” y en EEUU adaptado al uso práctico por George WINTER , en una modalidad empleada hasta ahora y ampliamente divulgada y empleada en normas de muchos países. Sin embargo al ser un método aproximado existen diversos casos en los que no aportan soluciones muy exactas . Por ejemplo el ancho efectivo se evalúa en forma independiente en cada ala de cada perfil sin considerar la influencia mutua entre los pandeos de alas contiguas . En las normas británicas eso se ha tenido en cuenta desde hace varios años , pero aún manteniendo el criterio de los anchos efectivos .

En esta nueva edición de las Especificaciones AISI se introduce por ahora en la forma de un Apéndice el METODO de RESISTENCIA DIRECTA , de empleo limitado a un grupo de perfiles especialmente definidos en sus formas y dimensiones límite , donde se omite el método de los anchos efectivos y se enfoca el problema de los pandeos en forma integral y con una base teórica más rigurosa que en los tratamientos en base a anchos efectivos . Sin embargo la Norma no elimina los métodos hasta ahora usados sino que permite el empleo de ambos métodos a criterio del usuario .

El método de la Resistencia Directa consiste en recurrir a la evaluación simultánea de los tres pandeos posibles en estos perfiles que son : el pandeo general de la pieza , el pandeo distorsional y el pandeo local en las alas de los perfiles . Para ello recurre a dos métodos alternativos : la estimación por expresiones dadas en el texto de la norma y en los Comentarios que permiten el cálculo manual de estos casos . Además en los Comentarios de la norma

existe la posibilidad del cálculo por elementos finitos , en donde los elementos son tiras (strips) longitudinales de los perfiles, a lo largo de estos perfiles y donde sometidos los perfiles a acciones externas es posible evaluar la respuesta de pandeo mediante un programa de computación .

Como las novedades contenidas en este Método de Cálculo Directo introduce muchas modificaciones es imposible en este Comentario dar mayores precisiones . Cada Profesional interesado en el empleo de este nuevo método deberá recurrir a la misma norma si desea emplearla .

El desarrollo del programa de Elementos Finitos que se ofrece como complemento a la norma ha sido hecho por el Profesor B. SCHAFER y puede ser bajado sin costo de Internet para su empleo por los usuarios de esta Norma . Ese programa se denomina CUPSM y está disponible en

< **www. Ce.jhu.edu/ bschafer/cupsm**>

Para el Ingeniero Estructural que realiza cálculos rutinarios esto implica un completo reenfoque del trabajo . De allí que la norma permite emplear el método tradicional de la norma y un método manual aproximado para el pandeo distorsional en las cláusulas C3.1.4 (flección) y C4.2 (compresión).

En este apéndice el Método Directo es posible resolverlo vía manual pero se recomienda emplear el método de elementos finitos antes citado , y explicado en los comentarios a este Apéndice .

En el texto de la Norma se comenta que no existe actualmente una sensible diferencia en la exactitud entre ambas . Sin embargo este criterio es posiblemente solo transitorio para no afectar procedimientos rutinarios que se emplean hace décadas . Pero es necesario destacar que en rigor habrá casos en los cuales el nuevo Método Directo ofrecerá sensibles mejoras en la exactitud cuando se trate de pandeos de alas contiguas de perfiles que hoy se estiman por anchos efectivos no teniendo en cuenta las influencias mutuas

9) APENDICE 2 ANALISIS DE SEGUNDO ORDEN

Este es un segundo apéndice que se agrega a esta Norma que especifica la forma en que deben realizarse los cálculos de segundo orden En especial interesa conocer los efectos de estas excentricidades sobre la estabilidad lateral, de estructuras como los racks, estructuras en las cuales las respuestas estructurales pueden ser influenciadas por las deformaciones elásticas propias de los componentes de las estructuras (δ) , tales como las deformaciones laterales de una columna o viga , y por otro lado los desplazamientos laterales propios de los nudos de la estructura (Δ).

En el caso de uniones no compactas , como en el caso de racks , la norma exige tener en cuenta este hecho que afecta a la estabilidad de estas estructuras, asi como una reducción de un 20% en las rigideces de sus miembros.

9) APENDICE A) DISPOSICIONES PARA EEUU Y MEJICO

Desde la edición 2001 de la especificación AISI esta norma ha sido redactada para NORTEAMÉRICA, es decir EEUU, Méjico y Canadá . Sin embargo existen algunas diferencias en ciertos criterios y fórmulas entre EEUU y Méjico respecto de Canadá . Debido a ello la Norma incluye el Apéndice A para los dos primeros y otro Apéndice B) para Canadá . A los paises latinoamericanos entendemos que corresponde y/ o conviene adaptar el Apéndice A , sin perjuicio que si el proyecto se refiere al area de Canadá sea conveniente respetar el apéndice B)

De todas maneras estos Apéndices son mencionados en el texto de la Norma y el usuario los deberá emplear donde corresponda

9) APENDICE B DISPOSICIONES PARA CANADA

Es aplicable para proyectos destinados al Canadá y deben tenerse en cuenta estas prescripciones para diseños que se realicen en ese país .

Es oportuno aclarar el significado de denominado Método de Diseño de Estados Límites (Limit States Design) en lugar del Método de Diseño de los Factores de Carga y Resistencia (LRFD) que se usa en EEUU y Méjico .

El método de los Estados Límites ,que se halla especificado en el NBC (Nacional Building Code) de Canadá , exige que en la verificación de la seguridad de estructuras , se contemplen tres estados límites ,cuando así corresponda .

Casos Límites

- Estado Límite Ultimo (ULS) contempla el caso de la seguridad de la estructura al colapso, fractura , volcamiento , deslizamiento y deformación excesiva .
- Estado Límite de Fatiga (FLS) es el caso de falla de la estructura causado por repetición de cargas que pueden causar la fatiga del material.
- Estado Límite de Servicio (SLS) es la evaluación de deformaciones y/o vibraciones de las estructuras que pudieran afectar el uso normal y continuo de la estructura