

Manual de Construcción para Estructuras Metálicas con base en Perfiles Doblados en Frío



Abstract

Intended to supply the urgent need in the process of building metallic structures from cold-formed profiles, a guideline including the most applicable and important aspects of designing and building these profiles has been developed. It pretends to establish a simple and efficient calculation method, as required by our country's requisites, to diminish defects and to correct errors in practice.

Several written and oral sources were consulted for obtaining the necessary information. The 1980 edition of the Cold Formed Steel Design Manual was the main source for establishing a calculation method in a Microsoft Excel electronic sheet format. Several observations were carried out in structures under construction, and recommendations to follow in this process were given. In a cold-formed steel factory, several types of profiles were measured and, in the laboratory, tension tests were carried out to pipettes made of the same type of steel used to manufacture the profiles.

It was found that those profiles with the highest thickness do not meet with the stiffening-lip condition. The steel tested under tension showed a yield point higher than the reported by the manufacturer.

Keywords: Metallic Structures; Cold-Formed Profiles; Metallic Construction.

Resumen

Para satisfacer una necesidad urgente en la construcción de estructuras metálicas a base de perfiles formados en frío, se desarrolla una guía que contemple los aspectos de mayor aplicación y trascendencia en el diseño y construcción con éstos perfiles; buscando establecer una metodología de cálculo sencilla y eficaz, acorde con los requerimientos de nuestro país, disminuyendo los vicios y corrigiendo los errores que se dan en la práctica.

Se recurrió a fuentes escritas y verbales para obtener la información necesaria, siendo el Cold Formed Steel Design Manual, edición 1980 la principal fuente consultada para conformar un método de cálculo en hoja electrónica, formato Microsoft Excel. Se realizaron observaciones en estructuras en proceso de construcción, generando recomendaciones a seguir en dicho proceso. En una planta productora de perfiles doblados en frío, se tomaron medidas de las dimensiones de variados tipos de perfiles; en el laboratorio se realizaron pruebas de tracción a probetas de acero con el que se fabrican los perfiles.

Se encontró que los perfiles de mayor espesor no cumplen la condición de labio atiesado. El acero probado en tracción presenta un esfuerzo de fluencia mayor al reportado por el fabricante.

Palabras clave: Estructuras Metálicas; Perfiles Formados en Frío; Construcción Metálica.

Manual de Construcción para Estructuras Metálicas con base en Perfiles Doblados en Frío

Manual de Construcción para Estructuras Metálicas con base en Perfiles Doblados en Frío

Danilo Monge Guillén
Rohanny Vindas Umaña

Setiembre 2002

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

<i>Prefacio</i> _____	2
<i>Resumen Ejecutivo</i> _____	3
<i>Introducción</i> _____	5
<i>Metodología</i> _____	7
<i>Marco Teórico</i> _____	11
<i>Resultados</i> _____	38
<i>Análisis de Resultados</i> _____	46
<i>Recomendaciones para la Construcción</i> _____	49
<i>Conclusiones</i> _____	55
<i>Apéndices</i> _____	56
<i>Anexos</i> _____	63
<i>Referencias Bibliográficas</i> _____	69

Prefacio

En un mundo en el que cada vez se acortan más las distancias en todos los campos del quehacer humano, por los procesos de integración y globalización imperantes en la actualidad, y en donde se exige la constante actualización de conocimientos a riesgo de quedarse rezagados en la carrera tecnológica. Es vital que los sectores académicos, como fuente proveedora de conocimiento y profesionales que impulsan un importante sector de la economía; sean de los primeros en demarcar el camino para esta carrera.

El Instituto Tecnológico de Costa Rica se ha distinguido por su papel de ente desarrollador de tecnología y formador de profesionales que el país requiere, a través de las diversas Escuelas y Centros de Investigación que lo conforman.

La Escuela de Ingeniería en Construcción se encuentra inmersa en este rol, por su trayectoria de formación de profesionales de la Ingeniería en Construcción. Ha comprendido que ésta tarea implica un permanente contacto con el entorno nacional y un gran conocimiento de la naturaleza de los problemas que se dan en este sector, a fin de poder brindar soluciones que ayuden a mitigarlos y que tiendan a mejorar la calidad de las construcciones.

El empleo de un determinado material de construcción es un asunto que atañe directamente a la Escuela, sobre todo si dicho material se está utilizando masiva e indiscriminadamente, en algunos casos en forma errónea y con implicaciones gravísimas de seguridad y economía.

La gran utilización de los perfiles doblados en frío como material de construcción en nuestro país; con la consiguiente problemática de su uso y abuso, constituye una de estas situaciones, en las que los Ingenieros en Construcción deben involucrarse marcando pautas que encaminen, hacia una correcta utilización de estos perfiles. Es de suma importancia que estudiantes e investigadores, generen iniciativas tendientes a mejorar la calidad

y seguridad de las estructuras metálicas con base en perfiles doblados en frío.

El presente trabajo constituye una de estas necesarias iniciativas. Pretende brindar una solución al problema planteado anteriormente, mediante una guía práctica que integra elementos de diseño y del proceso de la construcción, para estructuras metálicas con base en perfiles C doblados en frío.

Se agradece primeramente a Dios y a nuestras familias, quienes estuvieron con nosotros en todos éstos meses de labor, apoyándonos constantemente.

El reconocimiento especial a los Ingenieros Hugo Navarro y Orlando Morales Quintana, quienes desde el inicio de la investigación la respaldaron compartiendo con los autores su basto conocimiento y experiencia en el tema.

A los ingenieros Asdrúbal Gamboa Cerdas y Oscar Jiménez Alpizar, Gerentes de Producción de TUBOTICO S.A. , así como al personal técnico que facilitaron la toma de datos en la planta de proceso y mostraron enorme interés en el desarrollo del Proyecto.

Al ingeniero Roberto Vega Guzmán por la labor de guía y revisión del documento final y por su colaboración en la ejecución de los ensayos de las probetas de acero, así como al ingeniero Gustavo Rojas por su ayuda en la mejoría del libro de cálculo.

A la ingeniera Sonia Vargas por su labor en la coordinación.

A los funcionarios del Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria (CIIBI) por su colaboración en la realización de los ensayos de tracción.

A todas las personas que de una u otra forma, prestaron desinteresadamente sus recursos de tiempo y conocimiento en la elaboración de este trabajo.

Resumen Ejecutivo

En los últimos años se ha dado en el sector de la construcción de nuestro país, un uso en forma masiva de los perfiles doblados en frío, especialmente de los perfiles C con labios atiesados, conocidos popularmente como perling.

Las ventajas que ofrecen estos perfiles como material de construcción son muchas y tales que lo han colocado entre los materiales más empleados como elemento base de gran cantidad de estructuras. Entre estas ventajas se pueden enumerar: su relativo bajo peso, su facilidad de manipulación, su versatilidad para fungir en infinidad de aplicaciones así como su precio relativamente bajo, que incide en costos bajos de construcción; siendo éste uno de los factores de más peso al momento de decidirse por un determinado material para construir una estructura.

Sin embargo, la falta de diseño en este auge ha generado un abuso en la construcción, empleando mal los perfiles, a veces por desconocimiento, otras por exceso de confianza en el material.

Es entonces como se detectó que en nuestro país, por años ha existido un vacío en la difusión de buenas prácticas, tanto en las metodologías de diseño como de construcción para estructuras metálicas con base en perfiles atiesados doblados en frío.

Al ser éste un problema que atañe a la construcción, es sumamente importante que la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica, propicie iniciativas que busquen solucionar esa problemática.

Para contribuir a reducir ese vacío se realizó éste proyecto, empleando metodologías de investigación de tipo documental y por observación, en el que se desarrolló una guía práctica, integrando elementos de diseño y del proceso de la construcción, de manera sencilla y efectiva.

Se logró integrar una metodología de cálculo para dimensionar elementos estructurales conformados por perfiles doblados en frío, integrando fórmulas y conceptos del Manual de Diseño para Perfiles Dobladados en Frío del AISI, edición 1980 con parámetros especificados en las normativas nacionales como el Código Sísmico de Costa Rica y el Reglamento de Construcción; todo esto en un libro de cálculo electrónico con formato de Microsoft Excel. El libro agrupa ocho hojas electrónicas distintas, siendo éstas:

1. Propiedades mecánicas de los perfiles más comunes en el mercado nacional que distribuyen METALCO y TUBOTICO; necesarias para el cálculo.
2. Tipos de láminas metálicas para cubiertas que se venden en el mercado nacional, que aportan los datos de peso requeridos para el cálculo de largueros y vigas de entrepiso.
3. Sobrecargas mínimas dadas por el CSCR para el cálculo según cada situación de uso.
4. Presión básica del viento: proporciona los datos para calcular las cargas debidas al viento, según la ubicación de la estructura.
5. Diseño de Largueros: presenta el cálculo para determinar el o los tipos de perfiles a emplear como larguero y en el caso que se requiera de las soldaduras de unión.
6. Diseño de Elementos de Armaduras: calcula las secciones transversales de los elementos de una armadura y determina los perfiles a emplear así como las soldaduras de unión.
7. Diseño de Vigas: determina los perfiles a emplear en una viga y sus soldaduras de unión.
8. Diseño de Columnas: calcula las secciones apropiadas y los perfiles para una columna, también dimensiona las soldaduras de unión.

Adicionalmente se presentan algunas recomendaciones para el proceso de construcción que se agruparon por el tipo de elemento estructural que se quiera erigir. Son recomendaciones prácticas y de fácil comprensión que buscan ayudar al constructor a obtener una estructura segura y de mayor calidad sin que le implique una inversión alta de recursos.

Se revisó también la variación de las medidas de los perfiles que se producen en la planta de TUBOTICO SA, para esto se tomaron las dimensiones de 40 perfiles diferentes, concretamente se midió el peralte, el ala, el labio y el espesor de cada perfil. Se encontró que nueve de estos perfiles presentaron una variación en alguna de sus dimensiones que se encuentra por fuera del ámbito que establece la Norma JIS, que es la que regula el acero empleado y la manufactura de los perfiles.

Al revisar las condiciones de atiesamiento de los perfiles ofrecidos por METALCO y TUBOTICO, se encontró que los de mayor espesor no cumplen el atiesamiento por cuanto su labio tiene una dimensión nominal menor que la requerida para considerar el perfil como de labios atiesados.

Esta condición tiene implicaciones en el diseño, por cuanto los valores de las propiedades mecánicas de estos perfiles cambian, variándose su comportamiento y debiéndose tratar el perfil de forma diferente desde el punto de vista del cálculo. En el libro de cálculo se incorpora esa variación de las condiciones de atiesamiento y en caso de que el perfil no cumpla, el cálculo se desarrolla empleando las fórmulas respectivas a perfiles con labios sin atiesar.

Para verificar los valores de resistencia del acero reportados por el fabricante de perfiles en su catálogo, se fallaron ocho probetas de acero realizándoles la prueba de tracción. Cuatro probetas eran de acero galvanizado y cuatro de acero negro. Se encontró que los valores de punto de fluencia de las probetas falladas, están por encima del valor reportado por el fabricante.

La ejecución de este trabajo de investigación permitió adquirir mejores herramientas para atacar la labor de diseño y construcción empleando perfiles doblados en frío. Se amplió enormemente, el criterio tan necesario para una persona que se relaciona con las estructuras metálicas con base en perfiles doblados en frío, de discernir los elementos que le ayudaran a desarrollar una estructura en forma segura y económica.

Introducción

En los últimos años se ha venido dando en el sector de la construcción de nuestro país, un uso en forma masiva de los perfiles metálicos doblados en frío, especialmente de los conocidos popularmente como perling o perfil C, debido principalmente a su facilidad de manejo y a su bajo costo.

La falta de diseño en este auge ha generado un abuso en la construcción. En el diseño se encuentran faltas como, por ejemplo, procedimientos de cálculo erróneos por desconocimiento de los conceptos básicos que rigen, malas especificaciones para las uniones en general, exceso de confianza en los datos reportados por los fabricantes para los parámetros de diseño y mal empleo de factores de seguridad. En la construcción se tienen graves problemas también, por ejemplo la gran cantidad de estructuras construidas totalmente en forma empírica; la variación de los diseños originales sin una justificación técnica, impulsada por la necesidad ilógica de bajar costos a expensas de la seguridad; así como la incorrecta manipulación de los elementos, entre muchas otras.

En nuestro país existen catálogos y manuales técnicos que tratan algunos aspectos de diseño, en su mayor parte se limitan a ofrecer tablas con las propiedades mecánicas de los perfiles. Es muy escasa la información documentada que trate aspectos del proceso de la construcción, mientras que la poca existente deja de lado muchos problemas reales que se presentan en forma práctica.

Internacionalmente existe una institución que se ha encargado de regular el diseño y la construcción con perfiles doblados en frío, llamada Instituto Americano del Hierro y el Acero, AISI, por sus siglas en inglés; sin embargo, en nuestro país la valiosa información difundida por este instituto en sus publicaciones, es obtenida prioritariamente por personas con formación profesional como ingenieros y arquitectos, debido a las limitaciones dadas por el idioma y el alto

costo. Esto excluye, por tanto, a personal clave en la ejecución de obras civiles como maestros de obras y operarios; así mismo casi nadie se ha preocupado por difundir esos conocimientos que son esenciales para la buena práctica de la construcción metálica a la mano de obra especializada, quienes son, a fin de cuentas, los encargados de plasmar materialmente lo que se ha concebido en planos.

Es entonces, como se ha detectado que en el área de la construcción de estructuras metálicas en nuestro país, concretamente en las fabricadas a partir de perfiles C doblados en frío, existe un vacío en la difusión de buenas prácticas tanto en las metodologías de diseño como de construcción. Ese faltante existente es un elemento sumamente preocupante que debe hacer reflexionar a las personas involucradas de alguna u otra manera en ésta área.

El interés por contribuir a reducir ese vacío y propiciar elementos valederos para cubrirlo en una medida aceptable, ha llevado a la realización de este trabajo, que persigue el desarrollo de una guía práctica, integrando elementos de diseño y del proceso de la construcción de una manera sencilla y efectiva para estructuras metálicas que utilicen perfiles C doblados en frío.

En el marco de este objetivo general se tienen los objetivos específicos como lo son:

1. Proporcionar una metodología de cálculo que sea práctica y adecuada a los requerimientos de nuestro medio.
2. Disminuir en alguna medida el empirismo predominante con se que construye gran cantidad de éstas estructuras en nuestro país, difundiendo buenas prácticas para los procesos constructivos,
3. Corroborar las propiedades de los perfiles mayormente empleados en Costa Rica.

Se busca llegar tanto a diseñadores como a constructores, de manera que cada uno pueda hacer uso de los elementos que le interesen. Por ejemplo un profesional de la ingeniería contará con una herramienta práctica de cálculo; mientras que una persona con baja formación académica, pero con un alto grado de conocimiento en la construcción, tendrá una orientación que le ayude a producir estructuras más confiables.

El trabajo se ha conformado acometiendo dos puntos centrales: por un lado el diseño, concretamente el proporcionamiento de elementos estructurales; por el otro, los aspectos a considerar en el proceso constructivo de estos elementos.

Por la situación expuesta al inicio, sobre las estructuras metálicas con base en perfiles doblados en frío que se construyen en nuestro país, se considera que ambos puntos deben ser tratados en conjunto para poder dar una solución lo más amplia y completa posible al problema. Los aspectos de diseño se han limitado al proporcionamiento de elementos basándose en las especificaciones del Manual de Diseño para Perfiles de Acero Doblados en Frío, edición 1980, del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI por sus siglas en inglés).

Metodología

Para la elaboración del proyecto se realizaron los siguientes pasos:

1. Detectar las posibles fuentes de información, obteniéndose dos fuentes básicas: la verbal y la documental.

2. Realizar entrevistas a profesionales involucrados en el desarrollo de estructuras. Con éstas entrevistas se obtuvo una dirección hacia donde orientar la investigación documental. Dicha investigación se realizó buscando en fuentes escritas los métodos de cálculo para dimensionar elementos estructurales formados por perfiles con bordes atiesados doblados en frío; así como también los aspectos concernientes al proceso de construcción que se trataran en éstas fuentes. La fuente escrita primeramente consultada fueron los apuntes de clase del Curso Estructuras de Acero, del programa de bachillerato en Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Consecuentemente y referidos por ésta primer fuente, se investigó otras publicaciones concernientes al tema.

3. Se obtuvo una copia del Manual de Diseño de Perfiles de Acero Formados en Frío, edición de 1980, del Instituto Americano del Hierro y el Acero. Este manual es una de las principales fuentes de consulta empleadas en el proyecto y de él se ha extraído gran parte de los procedimientos de cálculo aquí tratados.

4. Se consultaron más fuentes que contienen información de enorme importancia para complementar lo ya obtenido de los apuntes del curso de Estructuras de Acero y del Manual AISI. Dichas fuentes corresponden al Código Sísmico de Costa Rica, Edición 1986; Reglamento de Construcciones del Instituto Costarricense de Vivienda y Urbanismo; catálogos de fabricantes de perfiles comerciales en nuestro país, concretamente de las empresas TUBOTICO S.A. y METALCO S.A.; así como libros de texto de estática, mecánica de sólidos, estructuras de acero y procesos de soldadura.

5. Se revisó toda la información con que se contaba, se procesó y definió que era de interés y aplicación al propósito perseguido.

6. Se trasladó al español la información obtenida del Manual AISI, debido a que éste se encuentra en su versión original en idioma inglés; una vez realizada esta traducción se procesó la información referente a conceptos y fórmulas que conforman el procedimiento de cálculo.

7. Recopilación del método de proporcionamiento de elementos. Éste se enfocó para cuatro diferentes componentes estructurales que comprenden la mayoría de casos en que se emplean los perfiles doblados en frío:

- Largueros o clavadores de techo.
- Elementos de cerchas y armaduras
- Vigas
- Columnas

El procedimiento de cálculo de secciones para los dos primeros componentes se desarrolló tomando de referencia los apuntes del curso de Estructuras de Acero, ampliándolo con conceptos del Código Sísmico de Costa Rica y del Reglamento de Construcciones, así como del Manual AISI. En el caso de los componentes 3 y 4 el desarrollo se basó en los métodos expuestos por el Manual AISI, complementándolo también con el Código Sísmico de Costa Rica y del Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC).

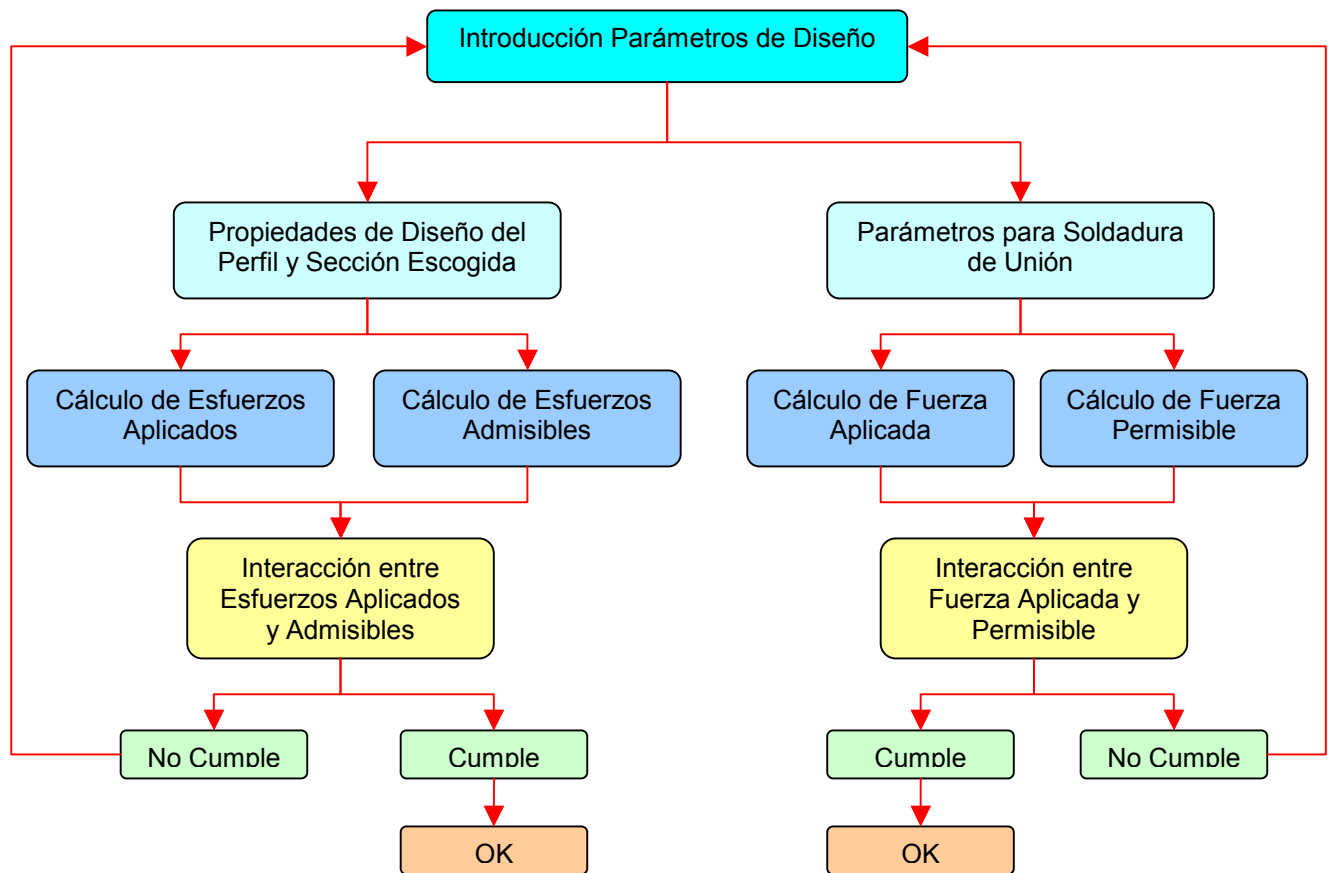
Las partes tomadas como referencia de los citados manuales y códigos corresponden a:

- Manual AISI: Secciones 1, 2, 3 y 4 tanto de las Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales con Perfiles de Acero Dobladados en Frío, como de su Comentario, Edición 1980.
- Manual AISC: Tabla B5.1 y Tabla C 1.8.1
- Código Sísmico de Costa Rica: Tabla 2.5.1. y Capítulo 2.13
- Reglamento de Construcciones: Artículo XX.8, XX.9, XX.10, XX.11, XX.12 y XX.13

8. Se realizaron diagramas de flujo para el proceso de cálculo (este esquema se amplía en el marco teórico del presente trabajo) para cada uno de los componentes estructurales contemplados. Los diagramas de flujo tienen como objeto facilitar la comprensión del procedimiento de cálculo a fin de trasladarlo a una hoja de cálculo electrónica. Todos los procedimientos de cálculo se incorporaron en hojas electrónicas de Microsoft Excel XP, de manera que se sigue una secuencia conforme a los métodos de diseño recopilados de las fuentes de información. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo general desarrollado para la adecuación del método de cálculo en cada una de las hojas

electrónicas para diseño de elementos estructurales.

Las fórmulas que conforman los diferentes procesos de cálculo se programaron de manera ordenada según el caso que se esté contemplando, esto es, se programó una hoja con el procedimiento y fórmulas para el proporcionamiento de largueros, una para el de elementos de cerchas ó armaduras, otra para vigas con sus variaciones en condiciones de apoyo y sección transversal y finalmente una para columnas también contemplando sus variaciones en condiciones de apoyo y sección transversal.



Word XP

Figura 1: Diagrama de Flujo
Para Método de Cálculo en Hoja Electrónica

9. Se tomaron de las diferentes tablas proporcionadas por los fabricantes en sus catálogos, las dimensiones nominales detalladas para cada tipo de perfil y se recalcularon las propiedades mecánicas corroborando las fórmulas del AISI. Con los resultados obtenidos se construyó una nueva tabla que agrupa los perfiles disponibles en el mercado nacional proveídos por TUBOTICO y METALCO. Ésta tabla que corresponde a la primer hoja del libro, así como otra más en la segunda hoja, conteniendo las propiedades de las láminas para techo disponibles en el mercado nacional, constituyen dos bases de datos de las que se alimenta el libro en sus hojas de cálculo.

10. Consecuentemente a como se fue incorporando el método de cálculo en el libro electrónico, iban surgiendo dudas con respecto a determinado concepto, variable de una fórmula o aplicación de alguna de éstas. Ante dicha situación se acudió a las fuentes de tipo verbales, realizando consultas específicas a personas de gran experiencia en el campo de las estructuras, que proporcionaron sus invaluable conocimientos a fin de resolver estos inconvenientes.

11. Preparación de los aspectos a considerar durante el proceso de construcción de las estructuras:

- Se aplicó el método de la observación directa de estructuras a base de perfiles doblados en frío, tanto en proceso de erección como ya terminadas.

- Se realizó un examen de la situación de servicio de la estructura así como de los elementos que la componen, anotando los aciertos y desaciertos en cuanto a posición de las secciones transversales, uniones, situaciones de apoyo, deformaciones presentes, protección que se aplicó al acero, condiciones en que se almacenaron los perfiles previo a su empleo, etc.

- Con base en estas observaciones se pudo determinar que tipo de errores se cometen y el por qué, a fin de analizarlos y proponer soluciones prácticas que los corrijan. Estas soluciones se redactaron agrupándolas según el elemento estructural que se desee fabricar de acuerdo al orden seguido en el libro de cálculo:

1. Largueros o clavadores de techo.
2. Elementos de cerchas ó armaduras
3. Vigas
4. Columnas

- Para lograr una mayor comprensión de las consideraciones anotadas, se realizaron algunas ilustraciones gráficas que las complementan muy convenientemente.

- Finalmente para complementar el trabajo se realizó una labor de investigación en la planta productora de perfiles de TUBOTICO S.A. Esta investigación tuvo como propósito corroborar las características que se indican en las tablas de propiedades publicadas por ésta empresa; concretamente las dimensiones y tipos de perfiles así como el tipo de acero y sus valores de resistencia.

Las acciones efectuadas en la planta de TUBOTICO en forma secuencial fueron:

1. Recopilación de información escrita sobre las características y tipo de acero empleado para la fabricación de los perfiles así como de las normas que rigen para el tipo de acero y los perfiles.

2. Observación directa del proceso de fabricación de los perfiles.

3. Muestreo para la determinación de las características geométricas de los perfiles, correspondientes a: peralte, ancho, altura del labio atiesador y espesor.

4. Muestreo del material para la obtención de probetas para los ensayos del acero.

La prueba de tracción de acero se realizó con cuatro probetas de acero galvanizado y cuatro de acero negro obtenidas de flejes de la planta de producción de TUBOTICO. Las dimensiones de las probetas y la metodología para la prueba así como la interpretación de los datos obtenidos se especifican en la Designación E 8M-00b, Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

Una vez que se contó con los datos, éstos se ordenaron para su correspondiente análisis y poder ser comparados con los especificados en las normas y los reportados en los catálogos.

El trabajo no se realizó en un lugar o empresa específica, las observaciones fueron hechas en varias obras en las que se utilizó perfiles doblados en frío como material principal de la estructura. Entre estas obras tenemos:

- Centro de acopio para raíces y tubérculos en Santa Rosa de Pocosol.
- Centro de acopio para mango en Jicaral de Puntarenas.
- Cobertizo para cámara de refrigeración en Cañas, Guanacaste.
- Planta procesadora para plantas medicinales en Peñas Blancas de San Ramón.
- Edificio de apartamentos en Piedades de Santa Ana.
- Casas de habitación en diversos sitios del Área Metropolitana.

Como se indico anteriormente, en la planta de producción de TUBOTICO situada en Pavas, se tomaron las dimensiones y probetas de los perfiles de acero.

Las pruebas de tracción fueron realizadas en el Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO) y en el Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria (CIIBI)

Marco Teórico

El fundamento teórico de éste trabajo investigativo lo constituye una serie de material documental que comprende códigos técnicos, tales como: Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales con Perfiles de Acero Doblados en Frío, Edición 1980, del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), Código Sísmico de Costa Rica, Edición 1986, Reglamento de Construcciones del Instituto Costarricense de Vivienda y Urbanismo. Manuales de fabricantes de perfiles comerciales en nuestro país, concretamente de las empresas TUBOTICO S.A. y METALCO S.A. Libros de texto de estática, mecánica de sólidos, estructuras de acero y procesos de soldadura. Material recopilado del curso de Estructuras de Acero de la Escuela de Ingeniería en Construcción del ITCR y del curso de Soldadura y Corte Con Arco Eléctrico del INA. Entrevistas con profesionales y personal vinculados a la fabricación, diseño y construcción de perfiles doblados en frío. Artículos publicados en revistas técnicas.

Las Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales con Perfiles de Acero Doblados en Frío, conocidas abreviadamente como Manual del AISI, constituyen la principal guía de diseño que se emplea en nuestro país. La gran mayoría de aspectos concernientes al diseño que se aplican en el presente trabajo, han sido tomados del AISI para el desarrollo de las hojas de cálculo.

Las especificaciones de diseño del AISI han sido desarrolladas para países como Estados Unidos, en donde se presentan condiciones de servicio diferentes en algunos aspectos, a las dadas en nuestro país. Esta situación implica que los procesos de diseño y construcción deban ser adaptados considerando las condiciones imperantes en nuestro medio.

La necesidad de dicha adecuación se satisface empleando herramientas de primer orden que rigen en nuestro país, como lo son el Código Sísmico de Costa Rica y el Reglamento

de Construcciones. Ambos documentos establecen los parámetros y metodologías de diseño y construcción que norman las estructuras en nuestro medio.

Los manuales de fabricantes de perfiles en nuestro país, constituyen un elemento imprescindible para el desarrollo de este trabajo. Proporcionan la información básica referente a las propiedades mecánicas de cada perfil que circula en el mercado nacional. Esta información documentada en formato de tablas de consulta práctica, ha sido recopilada y ampliada con otros parámetros de importante aplicación al cálculo estructural y se fusionan en una sola tabla que forma parte de este informe.

Como complemento a todo este conjunto de información, es necesario revisar y agregar conceptos básicos de cálculo de estructuras y de construcción de las mismas, a fin de poder conformar un panorama completo del uso de los perfiles doblados en frío. En este sentido los libros de texto y material de consulta recopilados en los cursos básicos de Estática, Mecánica de Sólidos y Estructuras de Acero, así como material obtenido para la correcta aplicación de uniones soldadas, han sido de gran ayuda en este desarrollo.

Por último, ningún código, manual ni procedimiento de cálculo, tiene validez por sí mismo, sino es por la correcta interpretación y aplicación realizada por las personas responsables de llevar a la práctica los conceptos teóricos.

Fabricación de perfiles

Los perfiles doblados en frío que se fabrican en nuestro país, concretamente los perfiles con bordes atiesados, se confeccionan a partir de láminas de acero procedentes de Brasil y Venezuela. Las propiedades para este acero son reguladas por la norma japonesa JIS-G-3132, que especifica a los flejes o bandas de acero al carbono laminadas en caliente, con espesor menor a 6.0 mm empleados para fabricar caños y tubos de acero soldados.

Su clasificación con la norma lo identifica como un acero tipo JIS-G-3132-SPHT-2, con composición química aproximada de: (Ref. #1)

Carbono: 0.18% máximo

Silicio: 0.35 % máximo

Manganeso: 0.25 – 0.60 %

Potasio: 0.40 % máximo

Azufre: 0.40% máximo

En una prueba de tracción su resistencia mínima debe ser 35 kg/mm² y 25% su alargamiento mínimo.

Este acero pertenece al grupo de más bajo contenido de carbono, su resistencia es relativamente baja, posee excelentes propiedades de forjabilidad, soldabilidad y puede ser trabajado en frío. Se usa en aplicaciones estructurales. Dichas propiedades hacen que este acero sea ideal para la fabricación de perfiles delgados doblados en frío.

En este punto se hace necesario comentar un aspecto concerniente al método de fabricación del acero y del perfil. Es importante dejar en claro las características de cada proceso, para así poder comprender la diferencia entre ambos y por consiguiente que no se de confusión y un mal empleo de términos.

Después que se ha llevado a cabo todo el proceso de fundición y constitución del acero, éste puede adquirir cualquiera de las siguientes dos formas: en placas ó en lingotes, ambas formas son dadas en caliente. De las placas aún en caliente se generan otras tres formas, dos de las cuales, de acuerdo al proceso de laminación dan origen a otros tipos de productos diferentes. El laminado final se puede dar de dos maneras: 1) el laminado en caliente, que consiste en formar láminas con un determinado espesor todavía en caliente y luego son arrolladas en bobinas. 2) el laminado en frío, que consiste en pasar la placa por una serie de rodillos que van conformando poco a poco el espesor final que tendrá la hoja, este proceso se da completamente en frío, la lámina final se arrolla también en bobinas.

De las bobinas laminadas en caliente se cortan los flejes que sirven para formar los perfiles C con labios atiesados que se conocen en nuestro país. Estos flejes son pasados por un conjunto de rodillos que van doblándolo poco a poco en un proceso secuencial hasta dar la forma final al canal. El proceso de doblado se realiza sin aplicar calor alguno al fleje por lo que el producto final se conoce como perfil doblado o formado en frío.

La norma que rige para los perfiles doblados en frío, es la JIS-G-3350-SSC-41, Perfiles de Pequeño Espesor para Construcción de Edificios.

La tolerancia en la forma y las dimensiones de los perfiles deberán estar conformes con lo establecido en la Tabla 1 mostrada en la siguiente página.

TABLA 1: TOLERANCIA EN LA FORMA Y LAS DIMENSIONES
(Ref. #1)

Descripción y dimensión		Tolerancia
Altura (H)	Menos de 150 mm	±1, 5 mm
	Más de 150 y menos de 300 mm	±2, 0 mm
	Más de 300 mm	3, 0 mm
Lado (A) o (B)		1, 5 mm
Reborde (C)		2, 0 mm.
Angulo formado por las partes planas adyacentes		±1. 5°
Longitud	Menos de 7 m	+40mm 0
	Más de 7 m	Por cada aumento de 1 m o fracción sobre el largo, se agregará a la tolerancia arriba mencionada 5 mm más.
Comba		Menos de 0, 2% de la longitud total
Espesor de la parte plana (t)	1,6mm	± 0,22 mm.
	2, 0 mm, 2,3 mm,	± 0,25 mm,
	2,8 mm	± 0,28 mm
	3,2mm.	± 0,30 mm
	4, 0 mm, 4,5 mm	± 0,45 mm.
	6,0 mm	± 0,60 mm

Word XP

Efecto Post-Pandeo

Debido al pequeño espesor de los perfiles, se presenta el pandeo local a bajos esfuerzos, pero el perfil sigue soportando carga adicional después de que ha ocurrido el pandeo local.

Cuando una sección está sometida a esfuerzos de compresión, se debe de tomar en cuenta el pandeo local introduciendo un factor Q en las formulas respectivas. Este factor Q depende de las relaciones ancho-espesor del elemento y de los esfuerzos de trabajo.

Las propiedades de la sección se deben calcular tomando en cuenta las reducciones de área que dependen del esfuerzo a que esté trabajando la sección (factor Q).

El factor Q es definido como la relación que existe entre el área efectiva de diseño, calculada con los anchos y alturas efectivas, y el área total de la sección.

Cuando un perfil de pared delgada es sometido a esfuerzos de compresión, es necesario trabajar con anchos efectivos de diseño menores que los reales. En las figuras 2 y 3 se muestran las zonas afectadas por el fenómeno de pandeo local, y que se deben calcular en base a las fórmulas 1 y 2. Las áreas rayadas en las figuras no trabajan. Estas zonas son de compresión.

Para el análisis de carga los anchos reales son totalmente efectivos ($b=w$) si la relación ancho-espesor w/t es menor que $1430/\sqrt{f}$

Si $w/t > 1430/\sqrt{f}$ se debe aplicar la fórmula 1:

$$\frac{b}{t} = \frac{2117}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{463}{\left(\frac{w}{t}\right)\sqrt{f}} \right]$$

Para cálculos de deflexiones, si $w/t > 1850/\sqrt{f}$ se aplica la fórmula 2:

$$\frac{b}{t} = \frac{2728}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{597}{\left(\frac{w}{t}\right)\sqrt{f}} \right]$$

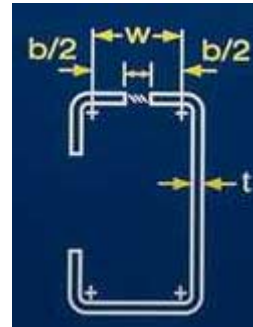
w/t = Relación ancho espesor

b = Ancho efectivo de diseño (cm)

f = Esfuerzo de compresión real calculado en base al ancho efectivo (kg/cm^2)

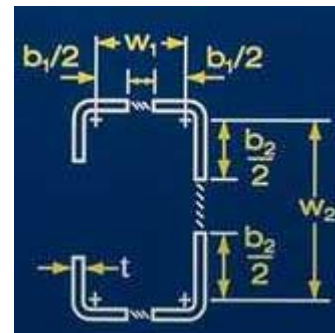
w = Ancho del elemento excluyendo los filetes (cm)

t = Espesor del material (cm)



Corel Draw. 8.0

Figura 2: Ancho Efectivo en Miembros a Flexión



Corel Draw. 8.0

Figura 3: Ancho Efectivo en Miembros a Compresión

Diseño de Largueros

Los largueros o clavadores como se les conoce popularmente en nuestro medio, cumplen la función de transmitir las cargas impuestas en el techo.

La función descrita anteriormente es quizá la que más se asigna en nuestro país a los perfiles doblados en frío y por tanto es en este caso en donde mayor cantidad de errores se cometen tanto de diseño como de construcción.

La correcta escogencia y utilización de un perfil determinado como larguero parte de un buen proceso de diseño. El procedimiento desarrollado en la hoja electrónica para el diseño de largueros se describe a continuación en su secuencia paso por paso.

1. Determinación de las cargas que se estarán aplicando al elemento.

Las cargas que se consideran en este paso son las gravitacionales y las de viento. Las primeras comprenden el peso de los elementos constructivos como lo son: cubiertas, cielos, iluminación y el peso propio del RT; también se debe considerar las cargas vivas especificadas por el CSCR en 40 kg/m² (Tabla 2.5.1.CSCR). Las segundas se refieren a la carga que ejerce el viento al chocar con la cubierta del techo y que se calcula de acuerdo a la Sección XX del Reglamento de Construcción.

2. Análisis de la carga gravitacional.

La sumatoria de todas las cargas gravitacionales aplicadas proporciona la carga gravitacional total (W), dicha resultante ejerce su acción en forma normal al plano horizontal del suelo; el clavador se coloca con un determinado ángulo referido a este plano horizontal, por lo que es necesario calcular las dos componentes que actúan perpendicularmente a cada eje de la sección transversal del RT, o sea, la componente gravitacional sobre el eje X (W_x) y la componente sobre el eje Y (W_y) (Ver Figura 4)

Una vez determinadas las componentes gravitacionales es posible entonces calcular los momentos flectores aplicados en cada uno de los ejes del elemento, denominados M_x y M_y. El momento aplicado alrededor del eje X-X(o eje fuerte de la sección) se calcula conforme a la expresión

$$M_x = \frac{W_x l^2}{8}$$

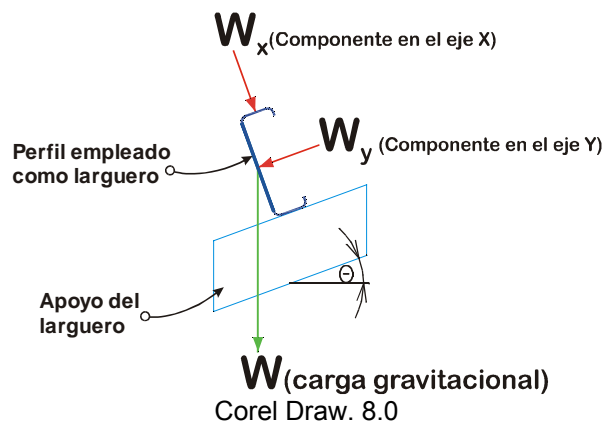


Figura 4: Carga Gravitacional

Dicha expresión corresponde al momento máximo en una viga simplemente apoyada con una carga aplicada uniformemente distribuida (Ver Figura 5).

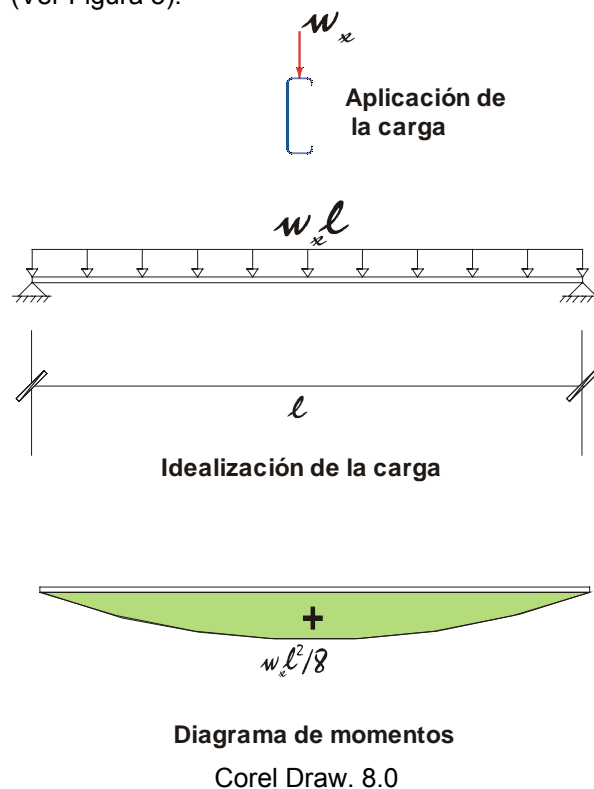


Figura 5: Eje Fuerte del Larguero

Para el momento flector aplicado alrededor del eje Y-Y (o eje débil de la sección) se debe de considerar si al larguero se le ha colocado un tensor en el medio de su luz, o dos tensores en sus tercios medios, puesto que estas dos condiciones de apoyo implican diferentes valores para el momento máximo alrededor del eje Y-Y, denominado M_Y (Ver Figuras 6 y 7).

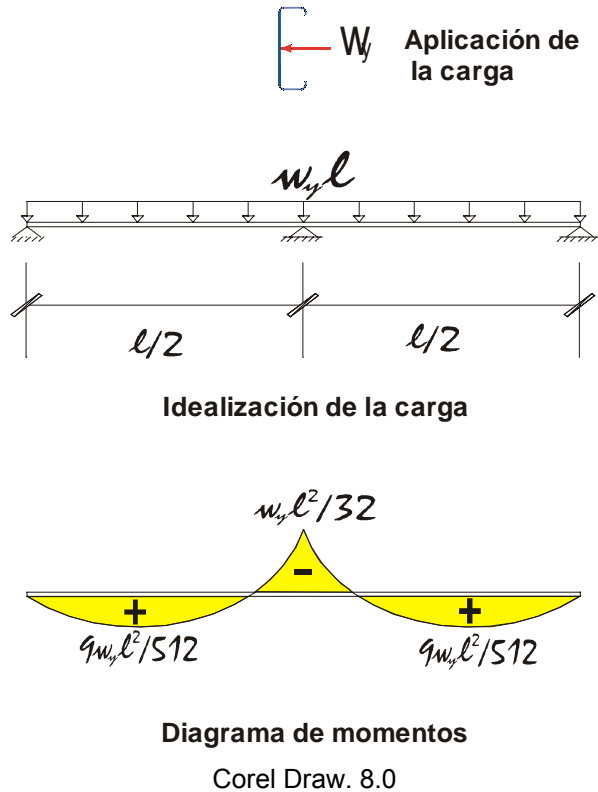


Figura 6: Larguero con un Tensor al Centro en el Eje Débil

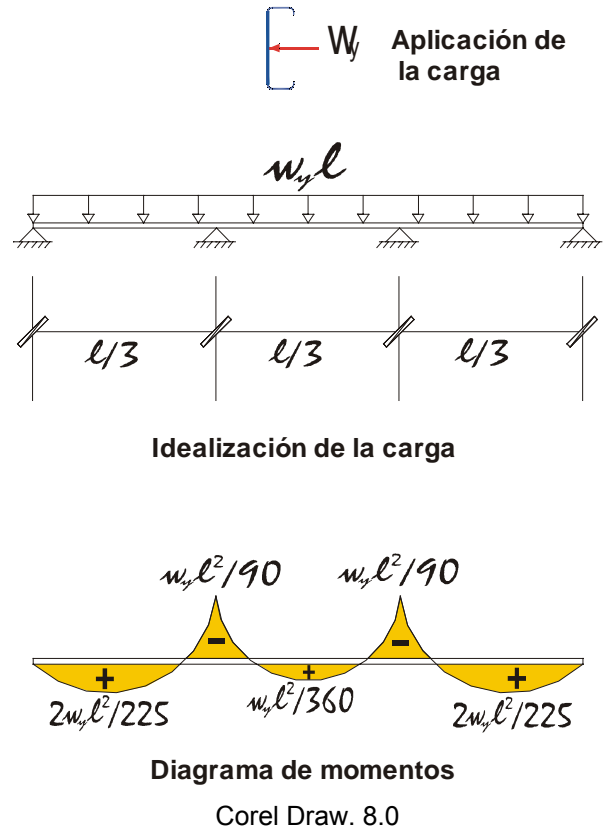
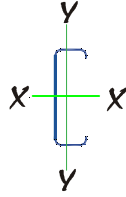


Figura 7: Larguero con Tensor en Tercios Medios en el Eje Débil

3. Propiedades de la sección propuesta

Se asume una sección transversal proponiendo un determinado perfil, dicha sección puede ser simple (un solo perfil) o compuesta (dos perfiles). El perfil que se propone para que funcione como larguero tiene una sección transversal específica con propiedades mecánicas inherentes a ésta (Ver anexo 2). Concretamente se requiere de los valores correspondientes a los momentos de inercia en los ejes X-X e Y-Y de la sección transversal (Ver figura 8), I_{xx} e I_{yy} respectivamente, así como de las distancias existentes entre el eje neutro en cada uno de sus dos planos y la fibra más alejada (distancia que se denota con la letra c).



Corel Draw. 8.0

Figura 8: Ejes X-X e Y-Y de la Sección Transversal del Perfil

Al determinar los valores anteriormente mencionados es posible calcular el módulo de sección (S) para cada uno de los ejes:

(Ref. #2)

$$S_x = I_{xx}/c_y$$

$$S_y = I_{yy}/c_x$$

Si se está empleando un solo perfil la sección transversal es asimétrica en el eje X-X por lo que existen dos diferentes valores para c, teniéndose por consiguiente también dos valores diferentes para Sy:

(Ref. #2)

$$S_{y1} = I_{yy}/c_{x1}$$

$$S_{y2} = I_{yy}/c_{x2}$$

Por seguridad en el diseño para efectos de cálculo se debe tomar de entre los dos, el menor valor como el módulo de sección para el eje Y-Y.

4. Esfuerzos de flexión aplicados:

Corresponde en esta sección el cálculo de los momentos flectores que actúan en el elemento como consecuencia de la aplicación de las cargas gravitacionales.

Se obtienen dos valores:

$$f_{bX} = \frac{M_x}{S_x}, \quad (\text{Ref. \#2})$$

calcula el momento flector aplicado en el eje X-X.

Para obtener el momento flector aplicado en el eje Y-Y se emplea la expresión:

$$f_{bY} = \frac{M_y}{S_y} \quad (\text{Ref. \#2})$$

5. Esfuerzos de flexión permisibles:

En este punto se establece el valor del esfuerzo permisible de flexión en ambos planos, denominados F_{bX} y F_{bY} . El apartado 3.1 de la Sección 3 del manual AISI Edición 1980,

establece el máximo esfuerzo permisible como 3/5 del valor mínimo especificado del punto de fluencia del acero empleado, o sea $0,6F_y$. En el caso de los perfiles doblados en frío se toma el valor del punto de fluencia reportado por los proveedores en el mercado nacional para un acero JIS G 3132 SPTH2, que corresponde a 2310 kg/cm^2 . Por tanto el esfuerzo máximo permisible en flexión es de 1386 kg/cm^2 .

6. Interacción:

Para obtener un valor de la interacción entre los esfuerzos aplicados y los permisibles y la conjugación en los dos ejes de la sección transversal, se aplica la ecuación unitaria o fórmula de Bressler especificada en el apartado 3.7.1 de la Sección 3 del manual AISI Edición 1980 (Ecuación 3.7.1-3), en la que se combinan los esfuerzos axiales y de flexión. Como el caso que se analiza corresponde a un elemento sujeto únicamente a fuerzas que producen flexión pura, se desestima el componente de la ecuación que involucra los esfuerzos producidos por las cargas axiales, teniéndose entonces la siguiente expresión:

$$\frac{f_{bX}}{F_{bX}} + \frac{f_{bY}}{F_{bY}} \leq 1,0 \quad (\text{Ref. \#2})$$

Con esta primer interacción se intuye si el perfil propuesto cumple con los requerimientos para soportar las cargas gravitacionales al sustituir los valores en la ecuación en el componente izquierdo verificándose dicha ecuación, prosiguiéndose entonces con el análisis para las cargas de viento. Por el contrario, si no se verifica la ecuación, esto indica que el perfil propuesto no cumple para esta primer condición, y consecuentemente no cumplirá para la segunda condición de carga gravitacional aumentada con la de viento, implicando por lo tanto que debe desecharse el perfil propuesto inicialmente y volver a ejecutar el análisis empleando otro perfil, cuyas propiedades mecánicas sean mayores.

7. Análisis de carga gravitacional sumada con la carga de viento:

Una vez que se ha comprobado que el perfil propuesto cumple para la carga gravitacional, se procede a adicionar el efecto de la carga de viento, cuyo valor fue determinado en el paso 1). Al actuar la fuerza del viento en forma perpendicular a la cubierta del techo se producen esfuerzos únicamente en el eje X-X del perfil, siendo esta fuerza la correspondiente a la presión ejercida por el viento; la fuerza de succión se desprecia del análisis si su valor es mucho menor al de la presión.

Teniendo ya establecida la carga de viento se obtiene una carga total que actúa en el eje X-X sumando el valor de la gravitacional. Seguidamente se calculan los momentos flexionantes aplicados como se indicó anteriormente en el paso 2) pero utilizando la carga total.

8. Esfuerzos de flexión aplicados para la carga total.

Se procede de igual forma que en el punto 4) expuesto atrás, obteniendo un valor para el momento flector que se aplica al elemento, producto de la carga total en cada uno de los dos ejes de la sección transversal.

9. Interacción para la carga total

Igualmente que en el punto 6 aquí se interaccionan la totalidad de las fuerzas que ejercen sobre el larguero empleando la expresión:

$$\frac{f_{TbX}}{F_{bX}} + \frac{f_{TbY}}{F_{TbY}} \leq 1,33 \quad (\text{Ref. \#2})$$

La variación en el valor límite de la expresión, de 1,0 a 1,33 obedece a la especificación dada en el punto 3.1.2.1 de la Sección 3 del manual AISI Edición 1980, en la que se establece un incremento del 33 % para elementos que soportan cargas de viento o sismo.

Diseño de armaduras

Las armaduras o cerchas, como se conocen en nuestro país, son elementos que sirven de soporte a las cargas originadas por el techo, largueros, cielos rasos, instalaciones electromecánicas, etc.

Este elemento corresponde en realidad a una viga generalmente simplemente apoyada, la cuerda superior es la que apoya directamente a los largueros por lo que toma esfuerzos de compresión y debe ser correctamente arriostrada para evitar su pandeo lateral, esto se logra con una buena conexión entre los largueros y la cuerda. La cuerda inferior debe tomar esfuerzos de tracción principalmente y por esa razón su sección transversal puede ser más pequeña. Los elementos verticales (muñecos) y diagonales transmiten las fuerzas cortantes de la viga como fuerzas axiales.

Cuando los largueros coinciden con los nudos la cuerda superior se ve sometida únicamente a cargas de compresión axial, sin embargo dicha condición es a veces difícil de conseguir en la práctica, por lo que también la flexión es una fuerza que actúa en esta cuerda al haber largueros colocados entre nudos.

En nuestro medio generalmente se aprovecha toda la longitud del larguero por lo que el distanciamiento entre cerchas es de seis metros normalmente.

Para el diseño se parte primeramente de las fuerzas axiales que actúan en cada elemento que conforma la cercha, y en el caso de que se den, también de los momentos flectores. Ambos tipos de fuerzas son obtenidas con el análisis estático de las cargas externas actuantes. En cada elemento de la cercha puede presentarse una de las siguientes situaciones de fuerza interna actuante: 1) compresión pura, 2) compresión y flexiones combinadas, 3) tracción.

En el método de diseño desarrollado en la hoja electrónica se contemplan las tres situaciones anteriores.

Caso1) El elemento se encuentra sometido a una fuerza interna de compresión pura.

En este caso el procedimiento a seguir es el siguiente:

Se asume una sección transversal proponiendo un determinado perfil, dicha sección puede ser simple (un solo perfil) o compuesta (dos o más perfiles).

Inmanentes a esta sección propuesta se tienen una serie de propiedades mecánicas de vital importancia en el diseño, tales como: el momento de inercia en ambos ejes de la sección (I_{xx} e I_{yy}), el área de la sección transversal (A), los radios de giro de la sección sobre cada eje principal (r_x y r_y), por consiguiente se calculan los módulos de sección (S), al dividir el momento de inercia de cada eje entre la distancia del centroide de la sección a la fibra extrema (c).

$$S_x = \frac{I_{xx}}{c_y} \text{ y } S_y = \frac{I_{yy}}{c_x} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Si se está empleando un solo perfil la sección transversal es asimétrica en el eje X-X por lo que existen dos diferentes valores para c , teniéndose por consiguiente también dos valores diferentes para S_y : (Ref. #2)

$$S_{y1} = \frac{I_{yy}}{c_{x1}}$$

$$S_{y2} = \frac{I_{yy}}{c_{x2}}$$

Por seguridad en el diseño para efectos de cálculo se debe tomar de entre los dos, el menor valor como el módulo de sección para el eje Y-Y.

A la vez que se definen las propiedades de la sección, se debe definir las propiedades correspondientes al elemento, referentes a su longitud sin arriostrar en sus dos ejes principales (L_x y L_y) y a los coeficientes de esbeltez (k_x y k_y) que se derivan de las condiciones de apoyo del mismo en ambos ejes. Los elementos que conforman una cercha se consideran individualmente como columnas con apoyos en ambos extremos articulados, por lo que sus factores de esbeltez corresponden a uno, $k_x = k_y = 1$ (Ver anexo 1)

Una vez se tienen definidas las anteriores propiedades se procede a calcular el esfuerzo permisible en compresión considerando primeramente las siguientes condiciones:

$$\text{Si el factor } \frac{kL}{r} < \frac{133}{\sqrt{Q}}, \quad (\text{Ref. \#3})$$

considerando el valor menor entre

$\frac{kL_x}{r_x}$ y $\frac{kL_y}{r_y}$; el esfuerzo permisible se calcula como:

$$F_a = 1200Q - 0,0341(QkL/r)^2 \quad (\text{Ref. \#3})$$

Si por el contrario el factor $\frac{kL}{r} \geq \frac{133}{\sqrt{Q}}$; entonces

el valor para el esfuerzo permisible estará dado por la fórmula:

$$F_a = 10,64 * 10^6 (kL/r)^2 \quad (\text{Ref. \#3})$$

Q se define como el factor de forma de la sección propuesta y corresponde a la relación entre el área efectiva de diseño y el área bruta de la sección transversal (Ver anexo 2)

El esfuerzo aplicado en compresión se obtiene dividiendo el valor correspondiente a la fuerza interna que se obtuvo del análisis estático para el correspondiente elemento, entre el área bruta de la sección transversal propuesta.

$$\text{Esto es: } fa = \frac{C}{A} \quad (\text{Ref. \#5})$$

Una vez se tienen definidos los valores para cada uno de los esfuerzos de compresión, se procede entonces a verificar la relación entre el esfuerzo aplicado y el permisible, esto es:

$$fa / Fa \quad (\text{Ref. \#5})$$

Si la relación $fa / Fa > 0,15$, se debe cumplir simultáneamente con las dos condiciones siguientes:

$$fa / Fa \leq 1,0 \text{ y } fa / F_{ao} \leq 1,0$$

donde F_{ao} es el esfuerzo permisible en compresión bajo carga concéntrica determinado por la sección 3.6.1.1 del AISI, para L igual a cero ($L = 0$), en kg/cm^2

$$F_{ao} = \frac{12}{23} * QF_y \quad (\text{Ref. \#5})$$

Si se cumplen ambas condiciones simultáneamente, tenemos entonces que la sección propuesta cumple para soportar la fuerza de compresión que se aplica.

Contrariamente si la relación $fa / Fa \leq 0,15$, se debe cumplir la condición:

$$fa / Fa \leq 1,0$$

Asegurándose así que la sección propuesta cumple.

Caso 2) El elemento se encuentra sometido a una combinación de esfuerzos de flexión y compresión

Con respecto al análisis para la fuerza de compresión se sigue el mismo procedimiento descrito en el caso 1) adicionando los parámetros requeridos para analizar la fuerza de flexión.

Por definición en el apartado 3.1 de la Sección 3 del manual AISI Edición 1980, se establece el máximo esfuerzo permisible en flexión como cero punto seis del valor mínimo especificado del punto de fluencia del acero empleado, o sea $0.6F_y$.

En el caso de los perfiles doblados en frío, se toma el valor del punto de fluencia reportado por los proveedores en el mercado nacional para un acero JIS-G-3132-SPHT-2, que corresponde a 2310 kg/cm^2 . Por tanto el esfuerzo máximo permisible en flexión corresponde a $F_{bx} = F_{by} = 1386 \text{ kg/cm}^2$.

El siguiente paso consiste en definir el valor del esfuerzo de flexión aplicado en cada eje, o sea el esfuerzo que se genera por la influencia del momento flector en el eje X-X y en el eje Y-Y; calculándose con las expresiones:

$$fb_x = \frac{M}{S_x} ; fb_y = \frac{M}{S_y} \quad (\text{Ref. \#2})$$

donde M es el momento máximo que se obtiene del diagrama de momentos generado para el elemento en análisis, S_x y S_y corresponden al valor del módulo de sección del perfil propuesto, con respecto a sus ejes X-X y Y-Y de la sección transversal.

Se revisa la relación fa / Fa (Ref. #5)

Si la relación $fa / Fa > 0,15$, se debe cumplir simultáneamente con las dos condiciones siguientes:

$$\frac{fa}{Fa1} + \frac{Cmx * fbx}{\left(1 - \frac{fa}{F'ex}\right) * Fbx} + \frac{Cmy * fby}{\left(1 - \frac{fa}{F'ey}\right) * Fby} \leq 1,0$$

(Ec. 3.7.1-1- AISI) (Ref. #5)

$$\frac{fa}{Fa0} + \frac{fbx}{Fb1x} + \frac{fby}{Fb1y} \leq 1,0$$

(3.7.1-2- AISI) (Ref. #5)

Cuando $\frac{fa}{Fa1} \leq 0,15$, la siguiente fórmula

puede ser usada, en vez de las dos antes descritas.

$$\frac{fa}{Fa1} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1,0$$

(Ec. 3.7.1-3- AISI) (Ref. #5)

Los subíndices "X" y "Y", en las fórmulas indican el eje de torsión alrededor del cual un esfuerzo en particular o propiedades de diseño son aplicables.

C_m : Es un coeficiente que toma en cuenta las condiciones de empotramiento en los extremos y su valor se define de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para miembros en compresión en estructuras que se pueden trasladar lateralmente (ladeo), C_m es igual a 0,85

- Para miembros en compresión en estructuras arriostradas contra desplazamiento lateral y no sujetas a cargas transversales entre sus apoyos, en el plano de flexión, $C_m = 0,6 - 0,4*(M1/M2)$, pero no menor de 0,40

- Para miembros en compresión arriostrados contra desplazamiento lateral en el plano de flexión y sujetos a cargas transversales entre sus apoyos en el plano de flexión, el valor de C_m puede ser determinado por análisis racional. Sin embargo en lugar de dicho análisis, los siguientes valores pueden ser usados:

a) Para miembros cuyos extremos están empotrados, $C_m = 0,85$

b) Para miembros cuyos extremos no están empotrados, $C_m = 1,0$

Donde: $\frac{M_1}{M_2}$

es la relación del momento menor al momento mayor en los finales de la porción del miembro no arriostrado en el plano de flexión que está en consideración.

$\frac{M_1}{M_2}$ Es positivo cuando el miembro en

consideración está en curvatura inversa y negativo cuando está en curvatura simple. (Ref. #5)

A = Área de la sección transversal.

F_{ao} = Esfuerzo permisible en compresión bajo carga concéntrica determinado por la sección 3.6.1.2 del AISI, en kg/cm².

$$F_{ao} = 0,522 * Q * F_y$$

El esfuerzo de pandeo F'e para ambos ejes de la sección transversal, se calcula de la siguiente manera:

$$F'e = \frac{P_e}{A} = \frac{\pi^2 * E * I}{l^2 * A} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Si tomamos en cuenta que:

$$r^2 = \frac{I}{A} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Entonces tenemos:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{(l/r)^2} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Donde:

F_e = Esfuerzo de pandeo (kg/cm²).

P_e = Carga de pandeo (kg).

A = Área de la sección transversal (cm²)

E = Modulo de elasticidad de la sección transversal (2,1 * 10⁶ kg/cm²).

I = Momento de inercia de la sección transversal (cm⁴).

l = Longitud del elemento no arriostrado (cm).

r = Radio de giro de la sección transversal (cm).

Esta ecuación se generaliza para diferentes condiciones de apoyo utilizando un factor de longitud efectiva conocido como "k".

Por lo anterior el esfuerzo de diseño se define como sigue:

$$F_e = \frac{12\pi^2 * E}{23(k * l/r)^2}$$

(Ec. 3.7.2.2-18- AISI) (Ref. #5)

Donde:

k*I = Se define como la longitud entre los puntos de inflexión.

Si se cumplen ambas condiciones simultáneamente, tenemos entonces que la sección propuesta cumple para soportar la fuerza de compresión que se aplica.

Por el contrario si no se cumplen, esto indica que el perfil propuesto no cumple para las condiciones de carga aplicadas, por lo tanto debe desecharse el perfil propuesto inicialmente y volver a ejecutar el análisis empleando otro perfil cuyas propiedades mecánicas sean mayores.

Caso 3) El elemento se encuentra sometido a una fuerza de tracción.

Igualmente que los otros dos casos se primicia asumiendo una sección transversal proponiendo un determinado perfil, dicha sección puede ser simple (un solo perfil) o compuesta (dos perfiles).

El valor del área de la sección transversal es la única propiedad mecánica que interviene en el proceso de diseño.

El procedimiento desarrollado en la hoja electrónica es muy sencillo, teniendo determinada la fuerza interna de tensión que se esta aplicando al elemento, se divide ésta entre el valor del área de la sección transversal, obteniéndose así el esfuerzo de tracción aplicado.

$$\sigma = \frac{T}{A} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Este esfuerzo se compara con el esfuerzo permisible en tensión que corresponde a un valor de 1386 kg/cm² según se anotó anteriormente. (apartado 3.1 de la Sección 3 del manual AISI Edición 1980). Si el valor del esfuerzo aplicado es menor que el esfuerzo permisible entonces la sección propuesta cumple para soportar la fuerza de tracción aplicada.

Diseño de Vigas

Los aspectos que se deben considerar en el diseño de las vigas son los siguientes:

- Momentos flexionantes
- Fuerzas cortantes
- Aplastamiento y pandeo del alma
- Soporte lateral
- Fatiga

El procedimiento para el análisis de vigas es el siguiente:

- 1- Realizar un recuento estricto de las cargas actuantes (cargas vivas, cargas muertas y cargas debidas a sismos).
- 2- Calcular el momento flexionante máximo para las cargas muertas y vivas.
- 3- Escoger una sección que tenga un momento resistente semejante al aplicado.
- 4- Realizar un análisis en el rango elástico:

$$F = Mc/I \quad (\text{Ref. \#4})$$

Donde:

F = Esfuerzo de la fibra más alejada a la distancia c del eje neutro.

c = Distancia del eje neutro hasta la fibra más alejada.

I = Momento de inercia de la sección transversal

Si se requiere una viga para un momento máximo conocido (M) y un esfuerzo conocido (F), entonces el módulo de la sección que se busca se puede obtener rápidamente de la siguiente forma:

$$M/F = I/c = S \quad (\text{Ref. \#4})$$

Esto en el caso de tratar de aproximar a una sección mediante un valor de módulo de sección.

Para escoger la sección del perfil requerido debe considerarse dos aspectos importantes:

- Costo por unidad de longitud (a mayor peso mayor costo).
- El módulo de sección que variará con su peralte, debido a la variación de su inercia en el eje X-X.

En el análisis estructural de vigas se debe tener muy claro el estado de soporte lateral que se da. El soporte lateral en vigas es la restricción que se provee al patín superior en estado de compresión, para evitar su pandeo

lateral. Por ejemplo, el patín superior de una viga que da apoyo a losas de concreto de edificios y puentes, quedando dicho patín embebido en la losa de concreto o se sueldan a éste, conectores que quedan embebidos en el concreto. Otro ejemplo de apoyo lateral en vigas, es el provisto a los largueros por parte del apoyo directo del techo, que se atornilla directamente al patín superior de compresión.

Es necesario contar con un buen criterio para definir si la fricción proporciona soporte lateral en los casos expuestos anteriormente.

En el caso de vigas que no se consideren soportadas lateralmente y se requiera ese soporte en uno de los diferentes tramos a lo largo de ésta, deben calcularse vigas secundarias que lateralmente se unen entre una viga y otra, conectando prioritariamente su patín de compresión o toda la altura o peralte de la viga. Debe tenerse cuidado de revisar si estos conjuntos de vigas secundarias con las vigas principales no tienen movimientos en conjunto, para lo cual deberá de proveerse de un contraventeo que forme una armadura horizontal localizada en un tablero. Este sistema de contraventeo suministra suficiente apoyo lateral a las vigas por varios tramos o tableros.

Para vigas con soporte lateral, el esfuerzo permisible $F_b = 0.6 \cdot F_y$ debe ser mayor o igual a $F = Mc/I = M/S$. (Ref. #2)

En Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members del AISI, Edición 1980, se analizan Vigas sin Soporte Lateral (Sección 3.3). En ésta sección se desarrollan las ecuaciones para calcular el esfuerzo permisible de compresión en la fibra extrema de la sección, estas fórmulas fueron trasladadas al sistema internacional de unidades, quedando de la siguiente forma:

$$\text{Si } 3180 * C_B < \frac{L^2 * S_{xc}}{d * I_{yc}} < 15880 * C_B \quad (\text{Ref. \#3})$$

$$F_b = 1555 - 0,04855 * \left(\frac{L^2 * S_{xc}}{C_B * d * I_{yc}} \right) \quad (\text{Ref. \#3})$$

$$\text{Si } \frac{L^2 * S_{xc}}{d * I_{yc}} > 15880 * C_B \quad (\text{Ref. \#3})$$

$$Fb = 12,22 * 10^6 * C_B * \left(\frac{d * I_{yc}}{L^2 * S_{xc}} \right) \quad (\text{Ref. \#3})$$

En cualquier caso Fb debe ser menor o igual que 1400 kg/cm².

En donde:

L = Longitud sin arrojamiento en la zona de compresión (cm).

I_{yc} = Momento de inercia de la porción a compresión de la sección respecto al eje centroidal de la sección y paralelo al alma. Conservadoramente se puede tomar como la mitad del I_y total (cm⁴).

C_B = El factor C_B es un coeficiente de flexión que se da para estimar el efecto de las condiciones de empotramiento en el apoyo, así como las condiciones de cómo se aplique la carga, que pueden ser tales que proporcionen resistencia al pandeo lateral. Se puede tomar conservadoramente como 1 ó calcularse como lo especifica la sección 3.3-5 del A.I.S.I edición 1980.

$$(a) \quad C_B = 1,75 + 1,05 * \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 * \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2$$

(3.3-5 AISI) (Ref. #5)

Pero no mayor a 2.3

Siendo M₁ y M₂ momentos mínimo y máximo en los extremos de las vigas sin soporte lateral, su signo será positivo cuando tengan la misma dirección (flexión en curvatura inversa), y será de signo negativo cuando tengan direcciones opuestas entre si (flexión en curvatura simple). Cuando el momento flexionante en cualquier punto dentro de la longitud de la viga no soportada lateralmente sea mayor que los momentos en los extremos, la relación C_B debería ser tomada como unitaria (1.0), al igual que para miembros sujetos a combinación de esfuerzos de flexocompresión, el C_B debería de tomarse como 1.0.

Las condiciones de empotramiento en el apoyo, así como las condiciones de aplicación de la carga, pueden ser tales que proporcionen una apreciable resistencia al pandeo lateral; C_B es un factor de modificaciones que se da para estimar el efecto de estos aspectos.

En la ecuación anterior M₁ y M₂ son valores mínimos y máximos del momento flexionante en la longitud no arrojada.

d = Peralte de sección (cm).

S_{xc} = Módulo de la sección que resulta de dividir el I_x entre la máxima distancia que existe del eje neutro a la fibra en compresión más alejada (cm³).

Fb= Esfuerzo permisible (kg/cm²), en flexión.

Esfuerzo Cortante:

Aunque la sección de perfiles de vigas de acero, raramente se controla mediante esfuerzos cortantes, es prudente verificarlo. Particularmente si son cortes excesivamente cargados, la fuerza cortante máxima ocurre normalmente cerca de los apoyos, pero el esfuerzo cortante está presente a lo largo de la viga.

La fórmula conocida que nos permite calcular el esfuerzo cortante unitario en cualquier punto se detalla como sigue:

$$v = \frac{V * Q}{b * I} \quad (\text{Ref. \#4})$$

(Esta fórmula se aplica a vigas con sección transversal abierta, que no están sujetas a torsión).

Donde:

V = Fuerza cortante en la sección considerada.

Q = Factor de área que modifica el esfuerzo axial permisible, depende de las relaciones ancho espesor del elemento y de los esfuerzos de trabajo.

I = Momento de inercia de la sección total, con respecto al eje neutro.

Las condiciones en las que más frecuentemente se presentan esfuerzos cortantes y en donde pueden resultar excesivos son:

a. Cuando se aplican cargas concentradas intensas cerca de los apoyos de la viga que ocasionan fuerzas cortantes, sin los correspondientes incrementos en los momentos flectores.

b. Cuando dos o más miembros como es el caso de vigas y columnas, se conectan rígidamente de tal manera que sus almas queden en el mismo plano y por lo tanto deben de reforzarse en estas zonas por aumento de espesor.

c. Cuando ocurren concentraciones de esfuerzos en vigas despatinadas o en vigas con almas agujereadas para el paso de ductos.

d. Cuando se tienen vigas cortas y fuertemente cargadas.

El esfuerzo cortante puede ser problema cuando se tienen casos ordinarios de cargas en vigas conformadas de perfiles de alma muy delgada o cuando son perfiles doblados en frío hechos con láminas muy delgadas.

Siempre que los esfuerzos cortantes excedan de los admisibles ($0.40 \cdot F_y$) debe reforzarse las zonas sobrecargadas con atiesadores o placas que aumenten el espesor de las almas de los perfiles.

La fórmula de esfuerzos cortantes para cualquier sección es la siguiente:

$$f_v = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t_w} \quad (\text{Ref. \#6})$$

El esfuerzo cortante promedio se calcula de la siguiente forma:

$$f_v = \frac{V}{d \cdot t_w} \quad (\text{Ref. \#6})$$

Donde:

V = Cortante máximo en la sección transversal (kg).

Q = Momento estático de la porción de la sección que queda arriba de la recta paralela al eje neutro, que contiene el punto para el cual se desea f_v , tomado con respecto al eje neutro (cm^3).

I = Momento de inercia de la sección total con respecto al eje neutro (cm^4),

T_w = Espesor del alma de la viga (cm).

d = Peralte de la sección.

El esfuerzo cortante permisible para las secciones dobladas en frío se calcula de la siguiente forma:

$$f_v = 0,32 \cdot F_y \quad (\text{C.S.C.R.}) \quad (\text{Ref. \#7})$$

$$f_v = 0,40 \cdot F_y \quad (\text{A.I.S.C.}) \quad (\text{Ref. \#6})$$

$$f_v = 0,33 \cdot F_y \quad (\text{A.A.S.H.T.O.}) \quad (\text{Ref. \#6})$$

$$f_v = 0,35 \cdot F_y \quad (\text{A.R.E.A.}) \quad (\text{Ref. \#6})$$

Según la sección 3.4.1. del A.I.S.I. edición 1980, el esfuerzo cortante máximo permisible sobre el área bruta del alma de las vigas, no debería exceder:

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq 237 \cdot \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} : (3.4-1 \text{ AISI}) \quad (\text{Ref. \#5})$$

$$F_v = \frac{65,7 \cdot \sqrt{k_v \cdot F_y}}{\left(\frac{h}{t}\right)} \leq 0,40 \cdot F_y \quad (3.4-1 \text{ AISI})$$

(Ref. \#5)

$$(b) \text{ Para } \frac{h}{t} > 237 \cdot \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \quad (3.4-2 \text{ AISI})$$

(Ref. \#5)

$$(c) F_v = \frac{15600 \cdot k_v}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (3.4-2 \text{ AISI}) \quad (\text{Ref. \#5})$$

Donde:

F_v = Esfuerzo promedio cortante (kg/cm^2)

F_y = Punto de fluencia del alma de la viga (kg/cm^2)

f_v = Esfuerzo cortante máximo promedio del área bruta del alma (kg/cm^2)

t = Espesor efectivo del alma del elemento en centímetros.

H = Distancia efectiva entre alas medida a lo largo del plano del alma en cm

k_v = Coeficiente adimensional de pandeo por cortante determinado como sigue:

1. Para almas no reforzadas, $k_v = 5.34$

2. Para almas de vigas con atiesadores que satisfagan los siguientes requerimientos (sección 2.3.4.2. del A.I.S.I. edición 1980):

- Atiesadores transversales para alma de viga .
- Atiesador de apoyo.

El atiesador transversal fijado al alma de la viga en puntos de concentración de la carga o reacción debería ser diseñado como un miembro de compresión. Las cargas concentradas o reacciones deberían ser aplicadas directamente hacia el interior del atiesador, y cada atiesador debería ajustarse perfectamente lo más cercano al ala, para proveer carga de apoyo directo al extremo del atiesador.

Medios para transferir cortante entre el atiesador y el alma deberían ser provistos de acuerdo con la sección 4 del AISI edición 1980.

Las cargas concentradas o reacciones no deberían exceder el mínimo de las cargas permisibles dado con la siguiente fórmula:

$$(d) P_{\text{permisible}} = 0,50 * F_y * A_c, \text{ o (2.3.4-1 AISI) (Ref. \#5)}$$

$$(e) P_{\text{permisible}} = F_{a1} * A_b \text{ (2.3.4-2 AISI) (Ref. \#5)}$$

En la cual:

$A_b = b_1 * t + A_s$; para atiesadores transversales en el interior del apoyo y bajo cargas concentradas (cm^2)

$A_b = b_2 * t + A_s$; para los atiesadores transversales al extremo de los apoyos (cm^2).

$$(f) A_c = 18 * t^2 + A_s; \text{ (2.3.4-5 AISI) (Ref. \#5)}$$

Para atiesadores transversales en el interior del apoyo y bajo cargas concentradas. (cm^2)

$$(g) A_c = 10 * t^2 + A_s; \text{ (2.3.4-6 AISI) (Ref. \#5)}$$

Para los atiesadotes transversales al extremo de los apoyos (cm^2).

Donde:

A_s = Área de la sección transversal del atiesador transversal, (cm^2).

$$(h) b1 = 25 * t * \left[0,0024 * \left(\frac{L_{st}}{t} \right) + 0,72 \right] \leq 25 * t$$

en cm. (2.3.4-7 AISI) (Ref. \#5)

$$(f) b2 = 12 * t * \left[0,0044 * \left(\frac{L_{st}}{t} \right) + 0,83 \right] \leq 12 * t$$

en cm. (2.3.4-8 AISI) (Ref. \#5)

F_{a1} = esfuerzo permisible en compresión, determinado de acuerdo con la sección 3.6.1.1 del AISI edición 1980.

Cuando el atiesador del alma de la sección, tiene un área de sección transversal A_b , es designado como una carga de compresión axial del miembro con $K=1$, en kg/cm^2 .

F_y = Es el valor más bajo del punto de fluencia del alma de la viga, o sección del atiesador, en kg/cm^2 .

L_{st} = Longitud total del atiesador transversal, en cm.

t = Espesor del alma de la viga, en cm.

La relación w/ts (relación ancho espesor del atiesador), para elementos atiesados y no atiesados, de atiesadores transversales de acero doblado en frío, no debería exceder $221/\sqrt{F_{ys}}$

y $63,3/\sqrt{F_{ys}}$, respectivamente, donde F_{ys} es el punto de fluencia y ts el espesor del acero del atiesador, (kg/cm^2).

• Atiesadores intermedios.

Donde el atiesador intermedio es requerido, el espaciamiento debería ser tal que el esfuerzo cortante en el alma, f_v , no debería exceder el valor de F_v permitido por la sección 3.4.1 del AISI edición 1980, y la relación a/h no debería exceder

$$\left[260 / \left(\frac{h}{t} \right) \right]^2, \text{ ni } 3,0. \quad (\text{Ref. \#5})$$

El momento de inercia de un par de atiesadores intermedios, o de un atiesador intermedio simple, con referencia a un eje en el plano del alma, no debería ser menor que:

$$(i) I_s = 5 * h * t^3 * \left(\left(\frac{h}{a} \right) - 0,70 * \left(\frac{a}{h} \right) \right) \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4$$

(2.3.4-9 AISI) (Ref. \#5)

El valor del área, en centímetros cuadrados, de los atiesadores intermedios, no debería ser menor que:

$$(j) A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} * \left[\frac{a}{h} - \frac{\left(\frac{a}{h} \right)^2}{\left(\frac{a}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2} \right)} \right] * Y * D * h * t$$

(2.3.4-10 AISI) (Ref. \#5)

En la cual:

$$(k) \quad C_v = \frac{45000 * k_v}{F_y * \left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad \text{donde } C_v \leq 0,80$$

(2.3.4-11 AISI) (Ref. #5)

$$C_v = \frac{190}{\left(\frac{h}{t}\right)} * \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \quad \text{donde } C_v > 0,80$$

(2.3.4-12 AISI) (Ref. #5)

$$k_v = 4,00 + \frac{5,34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \text{donde } \frac{a}{h} \leq 1,0$$

(2.3.4-13 AISI) (Ref. #5)

$$k_v = 5,34 + \frac{4,00}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \text{donde } \frac{a}{h} > 1,0$$

(2.3.4-14 AISI) (Ref. #5)

a = Distancia entre los atiesadores transversales, en cm.

Y = $\frac{\text{Punto de fluencia del acero del alma}}{\text{Punto de fluencia del acero del atiesador.}}$

D = 1.0, para atiesadores dobles o pares.

D = 1.8, para atiesadores simples con ángulo.

D = 2.4, para atiesadores simplemente trazados.

t y h están definidos en la sección 2.3.4.1 del AISI edición 1980.

La capacidad de carga permisible de un miembro, con atiesadores que no cumplen los requerimientos de la sección 2.3.4.2.1 o 2.3.4.2.2, como es el caso de los atiesadores transversales rolados, deberían ser determinados por pruebas de laboratorio, tal y como lo indica la sección 6 de las especificaciones AISI edición 1980.

Análisis de Columnas

Se trata de elementos que deben soportar compresión axial sin sufrir esfuerzos por flexión en ningún punto, en otras palabras se puede decir que no soportan ningún tipo de momento.

Las columnas pueden fallar de dos maneras:

1. Columnas cortas: Este tipo de falla se da cuando la sección transversal alcanza el esfuerzo permisible o la fluencia.

2. Columnas Esbeltas: Este tipo de falla sucede cuando el elemento pandea.

Cuando una columna se carga axialmente por vez primera, se acorta o comprime en la dirección de la carga. Pero cuando se alcanza la carga de pandeo, lo que sucede es que la deformación de acortamiento se detiene y se presenta una deformación o pandeo lateral, en dirección perpendicular al eje de la columna, limitándose la capacidad de carga axial.

La carga de pandeo se identifica mediante la formula de Euler:

$$P_e = \frac{\pi^2 * E * I}{l^2} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Donde:

Pe = Carga de pandeo (kg).

E = Modulo de elasticidad de la sección transversal ($2,1 * 10^6$ kg/cm²).

I = Momento de inercia de la sección transversal (cm⁴).

l = longitud o altura total de la columna (cm).

El esfuerzo de pandeo se calcula de la siguiente manera:

$$F_e = \frac{P_e}{A} = \frac{\pi^2 * E * I}{l^2 * A} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Si tomamos en cuenta que:

$$r^2 = \frac{I}{A} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Entonces tenemos:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{(l/r)^2} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Donde:

F_e = Esfuerzo de pandeo (kg/cm²).

P_e = Carga de pandeo (kg).

A = Área de la sección transversal (cm²)

E = Modulo de elasticidad de la sección transversal (2,1 * 10⁶ kg/cm²).

I = Momento de inercia de la sección transversal (cm⁴).

l = Longitud del elemento no arriostrado (cm).

r = Radio de giro de la sección transversal (cm).

Esta ecuación se generaliza para diferentes condiciones de apoyo utilizando un factor de longitud efectiva conocido como "k".

Por lo anterior el esfuerzo de diseño se define como sigue:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{(k * l / r)^2} \quad (\text{Ref. \#2})$$

Donde:

K*I = Se define como la longitud entre los puntos de inflexión.

La diferencia principal entre las columnas cortas y largas es que las primeras tienen su resistencia definida en términos de F_y , mientras que las columnas largas o esbeltas lo tienen en función de F_e .

Para columnas con altura intermedia se da una transición entre F_y y F_e , que depende de factores como:

-Curvatura inicial

-Excentricidad accidental en los extremos.

-Esfuerzos residuales (puede ser un aspecto de mucho peso y depende de enfriamiento desigual, después de que se cuele el elemento, corte de las piezas usando oxígeno, uso de soldadura y por doblado en frío; caso típico es el de la unión de 2 o más perfiles).

El procedimiento seguido para el análisis de columnas es el siguiente:

- 1.Revisión del pandeo Local en las alas y en el alma (Tabla B5.1 del AISC)
- 2.Cálculo de $(k * l / r)_x$ y $(k * l / r)_y$
- 3.Cálculo del esfuerzo en compresión P/A (kg/cm²)

4.Cálculo de los esfuerzos permisibles a compresión:

a)Para perfiles no sujetos a pandeo por torsión o flexo torsión (perfiles doblemente simétricos de sección transversal cerrada o secciones cilíndricas y otros perfiles no sujetos a pandeo por torsión o flexo torsión):

$$\text{Si } \frac{k * l}{r} < \frac{C_c}{\sqrt{Q}} \quad (\text{Ref. \#5})$$

$$F_{a_1} < \frac{12}{23} * Q * F_y - \frac{3 * (Q * F_y)^2}{23 * \pi^2 * E} * \left(\frac{K * L}{R} \right)^2$$

(Eq. 3.6.1-1 AISI) (Ref. #5)

$$\text{Si } \frac{k * l}{r} > \frac{C_c}{\sqrt{Q}} \quad (\text{Ref. \#5})$$

$$F_{a_1} = \frac{12 * \pi^2 * E}{23 * \left(\frac{K * L}{r} \right)^2}$$

(Eq. 3.6.1-3- AISI) (Ref. #5)

Las fórmulas anteriores solo se usan para perfiles doblemente simétricos en donde el centro de cortante coincide con el centro de gravedad (CS=CG).

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

(Eq. 3.6.1-5- AISI) (Ref. #5)

P = Carga total en (kg).

A = Área total de la sección en centímetros

Fa1= Esfuerzo permisible en compresión bajo cargas concéntricas (kg/cm²).

E = Módulo de elasticidad (kg/cm²).

K = Factor de longitud efectiva.

L = Longitud del miembro sin apoyo (cm).

r = Radio de giro de la sección total no reducida (cm).

F_y = Punto de cedencia del acero (kg/cm²)

Q = Factor forma.

b) Para perfiles no sujetos a pandeo por torsión o flexo torsión):
 Cuando

$$t \geq 2,286mm \text{ y } \frac{k * l}{r} < Cc \quad (\text{Ref. \#5})$$

$$Fa_1 = \frac{\left[1 - \frac{(K * L/r)^2}{2 * (Cc)^2} \right] * Fy}{\frac{5}{3} + \frac{3 * (K * L/r)}{8 * (Cc)} - \frac{(K * L/r)^3}{8 * (Cc)^3}}$$

(3.6.1-6 AISI) (Ref. #5)

Nota1: Esta fórmula sólo se usa para perfiles doblemente simétricos, en donde el centro de cortante es igual al centro de gravedad.

Nota2: Según la sección 3.6.2 del AISI edición 1980, la máxima relación de esbeltez KL/r, de miembros en compresión no debería exceder de 200, excepto durante la construcción KL/r no debería exceder de 300.

5. Cálculo del esfuerzo axial en compresión aplicado:

$$fa = \frac{P}{A} \quad (\text{Ref. \#2})$$

6. Cálculo de los esfuerzos por flexión aplicados:
 (Ref. #2)

$$fb_x = \left(\frac{M}{S} \right)_x \quad fb_y = \left(\frac{M}{S} \right)_y$$

7. Cálculo de la relación de combinación de esfuerzos por flexión y carga axial (Depende de la carga a la que se someta la columna y la forma en que es cargada).

a) Perfiles con doble simetría o perfiles no sujetos a pandeo por torsión o flexo torsión.

Cuando se está sujeto a ambos esfuerzos, compresión axial y flexión, en perfiles de doble simetría o perfiles que no están sujetos a pandeo torsional o flexotorsional, deberían ser proporcionados para encontrar los siguientes requerimientos:

$$\frac{fa}{Fa1} + \frac{Cmx * fbx}{\left(1 - \frac{fa}{F'ex} \right) * Fbx} + \frac{Cmy * fby}{\left(1 - \frac{fa}{F'ey} \right) * Fby} \leq 1,0$$

(Ec. 3.7.1-1- AISI) (Ref. #5)

$$\frac{fa}{Fao} + \frac{fbx}{Fb1x} + \frac{fby}{Fb1y} \leq 1,0$$

(Ec. 3.7.1-2- AISI) (Ref. #5)

Cuando $\frac{fa}{Fa1} \leq 0,15$, la siguiente fórmula

puede ser usada, en vez de las dos antes descritas.

$$\frac{fa}{Fa1} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1,0$$

(3.7.1-3- AISI) (Ref. #5)

Los subíndices “x” y “y”, en las fórmulas indican el eje de torsión alrededor del cual un esfuerzo en particular o propiedades de diseño son aplicables.

Cm: Es un coeficiente que toma valor de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para miembros en compresión en estructuras sujetas a juntas de traslación (ladeo), Cm es igual a 0,85
- Para miembros en compresión empotrados en estructuras arriostradas contrajuntas de traslación y no sujetas a cargas transversales entre sus apoyos, en el plano de flexión, Cm = 0,6 – 0,4*(M1/M2), pero no menor de 0,40
- Para miembros en compresión arriostrados contra juntas de traslación en el plano de flexión y sujetos a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de Cm puede ser determinado por análisis racional. Sin embargo en lugar de dicho análisis, los siguientes valores pueden ser usados:

c) Para miembros cuyos extremos están empotrados, Cm = 0,85

d) Para miembros cuyos extremos no están empotrados, Cm = 1,0

Donde: $\frac{M_1}{M_2}$ es la relación del momento menor al

momento mayor en los finales de la porción del miembro no arriostrado en el plano de flexión que está en consideración.

$\frac{M_1}{M_2}$ Es positivo cuando el miembro en

consideración está en curvatura inversa y negativo cuando está en curvatura simple.

A = Área de la sección transversal.

F_{ao} = Esfuerzo permisible en compresión bajo carga concéntrica determinado por la sección 3.6.1.2 del AISI, en kg/cm² como:

$$F_{ao} = 0,522 * Q * F_y \text{ (Ec. 3.6.1-1 AISI)} \\ \text{(Ref \#5)}$$

Uniones Soldadas

Por las numerosas ventajas que ofrece la soldadura como elemento de unión para componentes estructurales metálicos, se ha convertido en la más empleada por fabricantes y constructores.

Las juntas soldadas hacen posible las estructuras continuas, con economía y rapidez en la fabricación. Las juntas deben diseñarse específicamente para soldadura, con el fin de obtener todas las ventajas que ofrece esta unión por lo que no es recomendable la conversión en juntas soldadas de juntas inicialmente diseñadas para sujetadores mecánicos como pernos. En general, el acero que se va a soldar debe estar limpio y libre de aceite, grasa, pintura, escamas, etc. por lo que en lo posible la pintura debe aplicarse únicamente después de la operación de soldar.

Dentro de las uniones soldadas, en la construcción con perfiles laminados en frío la de soldadura de arco con electrodo revestido, conocida en idioma inglés como Shield Metal Arc Welding (SMAW), es la de mayor empleo en nuestro medio por razones como: la soldadura por arco puede hacerse en taller o en el campo debido a la portabilidad y versatilidad del equipo y la libertad en el diseño de la junta, sólo un lado de la junta debe estar accesible y no requiere traslape de las partes si el ajuste de la junta es bueno.

Un problema muy frecuente que se presenta con las soldaduras en aceros de poco calibre como el de los RT, es la distorsión por el calor, este puede minimizarse evitando la soldadura excesiva. El tamaño de la soldadura debe ser adecuado a los requisitos de servicio.

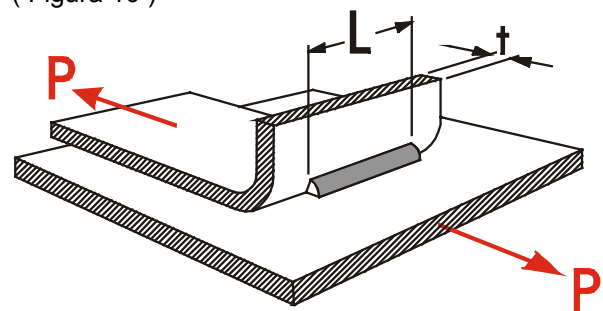
Las juntas siempre se diseñan para minimizar el encogimiento, las ondulaciones y las torceduras. Deben usarse soportes y sujeciones para fijar el trabajo durante la soldadura para controlar la distorsión, las direcciones y las cantidades de distorsión pueden predecirse y algunas veces contrarrestarse angulando previamente las partes. Debe utilizarse una secuencia de soldadura, seleccionada para controlar la distorsión.

El tipo de soldadura aplicado en las uniones de RT es la conocida como soldadura de filete (que se hace poniendo a tope los bordes de las láminas o placas), por lo que el procedimiento de diseño desarrollado en la hoja electrónica está basado en las secciones 4.2 (apartado 4.2.1.2.5) y 4.3 del manual AISI Edición 1980; en las que se especifica las cargas y separaciones permisibles en las soldaduras de este tipo. La carga permisible en una soldadura esta gobernada por el espesor de la lámina de acero adyacente a la soldadura.

Soldadura de elementos con carga axial.

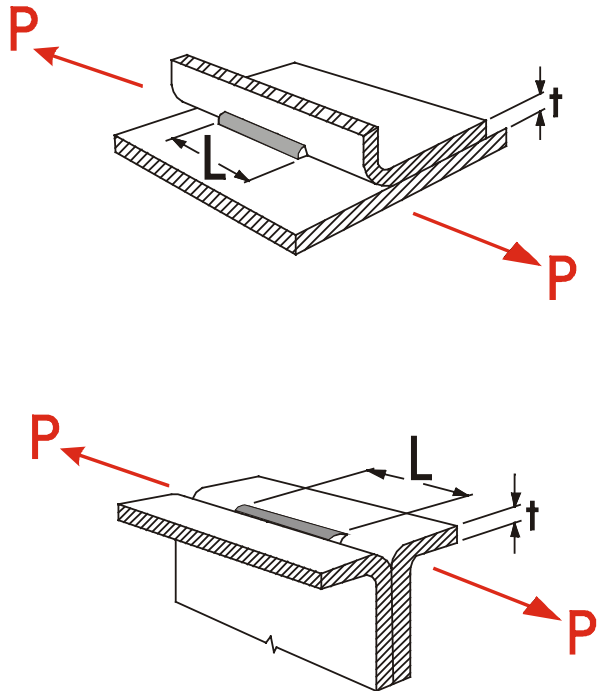
Si la fuerza actuante en el elemento corresponde a una fuerza de compresión o de tensión, el proceso se realiza así:

1. Definir la dirección en que se esta aplicando la carga con respecto al eje axial del cordón de soldadura
2. Puede presentarse dos situaciones con respecto a la dirección de aplicación de la carga, que sea transversal (Figura 9) ó sea longitudinal (Figura 10)



Corel Draw. 8.0

Figura 9: Carga Transversal



Corel Draw. 8.0

Figura 10: Carga Longitudinal

3. Se introduce el valor de la fuerza interna
4. Se asume o propone una longitud para el cordón de soldadura denominada L_s
5. Se determinan las propiedades del elemento (longitud sin arriostrar, L) y de la sección transversal referentes al radio de giro del RT (r_{cy}) y de la sección transversal total (r_1)
6. Se define la separación entre soldaduras

$$S_{\max} = \frac{Lr_{cy}}{2r_f}$$

(ec.4.3-1 AISI) (Ref. #5)

7. Se determinan el número de soldaduras presentes en la longitud del elemento mediante la expresión:

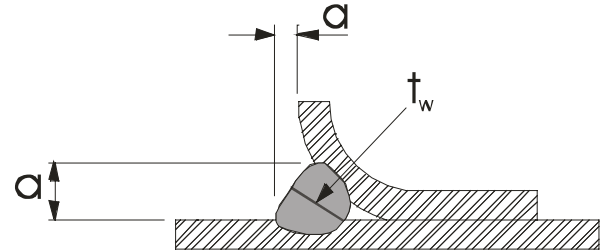
$$\# = \frac{L}{S_{\max}}$$

8. En este punto se introducen los siguientes parámetros:

- espesor del elemento a unir : t
- diámetro del electrodo : ϕ
- garganta efectiva : $t_w = 0,707 * \phi$

La dimensión de la garganta se calcula como 0,707 veces la longitud del cateto más corto de la soldadura.

"a" es el tamaño de la soldadura y es igual al diámetro del electrodo. (ver Figura 11)



Corel Draw. 8.0

Figura 11: Garganta Efectiva

- labio del perfil : l_b
- esfuerzo permisible en tracción : F_u
- carga aplicada en cada soldadura :

$$P_a = \frac{\text{Carga}}{\# \text{ soldaduras}}$$

9. Se hace el cálculo de la carga permisible en la soldadura según sea el caso de dirección de aplicación de la carga.

Si la carga se aplica longitudinalmente y se cumple alguna de las siguientes condiciones:

$$\text{Si } t \leq t_w < 2t \text{ ó } l_b < L_s ;$$

entonces la carga permisible estará dada por la ecuación

$$P_p = 0,3tLF_u \quad (\text{Ref. \#5})$$

(Ec. 4.2.1-18 AISI edición 1980)

$$\text{Si } t_w \geq 2t \text{ ó } l_b \geq L_s ;$$

la carga permisible se calcula con la expresión

$$P_p = 0,6tLF_u \quad (\text{Ref. \#5})$$

(Ec.4.2.1-19 AISI edición 1980)

En el caso que la carga ejerza su acción transversalmente la carga permisible en cada soldadura se calcula como

$$P_p = \frac{tLF_u}{3} \quad (\text{Ref. \#5})$$

(Ec.4.2.1-17 AISI edición 1980)

Para ambas aplicaciones si la carga permisible es mayor que la carga aplicada entonces la soldadura propuesta cumple los requerimientos.

Soldadura de elementos en flexión

Para unir dos elementos formando una sección I o un cajón en que la fuerza actuante corresponda a un momento flector (una viga es la muestra más común) el procedimiento de cálculo a ejecutar es similar al de fuerza axial descrito anteriormente, pero adicionando otros parámetros requeridos para el cálculo del distanciamiento entre soldaduras.

Los pasos a seguir se resumen así:

1. Definir la dirección en que se esta aplicando la carga con respecto al eje axial del cordón de soldadura, pudiéndose dar dos posibles direcciones, transversal ó longitudinal, como se mostró en las figuras 8 y 9 anteriores

2. Se propone una longitud para el cordón de soldadura denominada L_S

3. Se introducen los siguientes parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza de tensión que se aplica en las soldaduras:

- espesor del elemento a unir : t
- tipo y diámetro del electrodo : ϕ
- garganta efectiva de soldadura : $t_w = 0,707 * \phi$

La dimensión de la garganta se calcula como 0,707 veces la longitud del cateto más corto de la soldadura.

"a" es el tamaño de la soldadura y es igual al diámetro del electrodo.(ver Figura 11)

- esfuerzo permisible en tracción: F_u

4. Se hace el cálculo de la fuerza de tensión que se aplica en las soldaduras según sea el caso de dirección de aplicación de la carga.

Si la carga se aplica longitudinalmente y se cumple alguna de las siguientes condiciones:

$$\text{Si } t \leq t_w < 2t \text{ ó } l_b < L_S ; (\text{Ref. \#5})$$

entonces la fuerza de tensión permisible estará dada por la ecuación

$$T_{Sp} = 0,3tLF_u \quad (\text{Ref. \#5})$$

(Ec. 4.2.1-18 AISI edición 1980)

$$\text{Si } t_w \geq 2t \text{ ó } l_b \geq L_S ; (\text{Ref. \#5})$$

la tensión permisible se calcula con la expresión

$$T_{Sp} = 0,6tLF_u \quad (\text{Ref. \#5})$$

(Ec.4.2.1-19 AISI edición 1980)

En el caso que la carga ejerza su acción transversalmente la fuerza permisible en la conexión se calcula como

$$T_{Sp} = \frac{tLF_u}{3} \quad (\text{Ref. \#5})$$

(Ec.4.2.1-17 AISI)

5. Se introducen los siguientes parámetros que intervienen en el cálculo de la separación entre soldaduras:

- fuerza cortante aplicada en el apoyo del elemento: V
- luz de la viga : L
- distancia vertical entre las dos filas de conexiones del ala superior y la inferior : g
- longitud de apoyo o de presión: L_1
(corresponde a una sección de la longitud total que se encuentra en contacto directo con el apoyo)
- intensidad de la carga en la viga: q es obtenida dividiendo la magnitud de las cargas concentradas o reacciones entre la longitud de presión o del apoyo (L_1). Para vigas diseñadas con cargas uniformemente distribuidas, la intensidad, q , debe tomarse igual a tres veces la intensidad de la carga uniformemente distribuida de diseño.
- proyección de las alas desde la cara interna del alma : w_f (Para perfiles con alas de anchura desigual, w_f se tomará como la anchura del ala más ancha)
- peralte del perfil : d
- profundidad del labio del perfil : l_b
- inercia del perfil en el eje X-X : I_x

6. Determinar la separación centro a centro entre los cordones de soldadura empleando los criterios siguientes:

- El primer criterio (Ec. 4.3-2 AISI edición 1980) es un límite arbitrariamente seleccionado para impedir alguna posible deformación excesiva del borde o ala superior del perfil entre conectores.

$$S_{\max 1} = \frac{L}{6} \quad (\text{Ref. \#5})$$

Siendo L la longitud entre apoyos de la viga

- El segundo criterio (Eq. 4.3-3 AISI edición 1980) esta basado en la fuerza y distribución de las conexiones y la intensidad de la carga que actúa en la viga. Esto se debe al hecho que cuando la carga transversal es aplicada a la viga, la carga Q que transmite cada canal (la mitad de la carga total en la viga sobre la longitud, s) actúa en el plano del alma, como se muestra en la Figura 12. Debido a que la carga Q no pasa a través del centro de cortante de la sección transversal, cada canal tiende a rotar sobre su propio centro de cortante separándose a lo largo de su parte superior. El momento de torsión Q*m es resistido por el torque, Ts*g, proporcionado por los conectores. La localización del centro de cortante (m) está dada por las ecuación 4.3-5 AISI edición 1980 para canales con bordes atiesados y se calcula

(Ref. #5)

$$m = \frac{dtw_f}{4 I_x} \left[dw_f + 2l_b \left(d - \frac{4l_b^2}{3d} \right) \right]$$

Para perfiles con bordes sin atiesar:

$$m = \frac{w_f^2}{2w_f + d/3}$$

(Eq. 4.3-4 AISI) (Ref. #5)

Teniendo definidos todos estos parámetros se calcula la separación entre soldaduras con la expresión:

$$S_{\max 2} = \frac{2gT_s}{mq}$$

(Ec. 4.3-3 AISI) (Ref. #5)

La máxima separación entre soldaduras está definida por éste segundo criterio, debiéndose emplear el menor valor entre $s_{\max 1}$ y $s_{\max 2}$.

7. Se chequea si el valor del espaciamiento (s) es mayor que la longitud de apoyo o presión (L1), en cuyo caso al darse ésta condición en concordancia con la sección 4.3(b), la fuerza de tensión aplicada en las soldaduras directamente en la reacción o carga aplicada se calcula como :

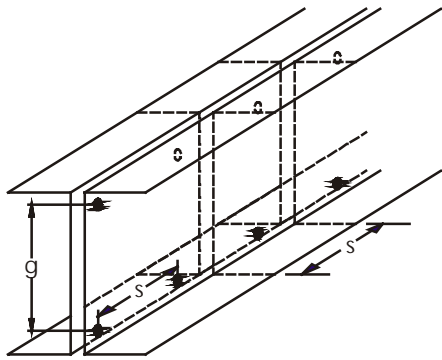
$$T_{SA} = \frac{Pm}{2g}$$

(Ec. 4.3-6 AISI) (Ref. #5)

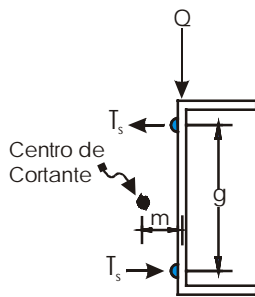
Donde P es la carga o reacción proveniente del análisis estático (cortante en el apoyo).

Se corrobora que el valor obtenido para la fuerza de tensión aplicada en la unión, sea menor que la fuerza de tensión dada o permisible. Si se cumple esta condición, significa que la longitud del cordón de soldadura propuesta es acertada. Por el contrario, debe aumentarse ésta longitud o disminuir la separación entre soldaduras.

Las ecuaciones anteriores se han desarrollado a partir del criterio de que en perfiles delgados formados en frío, específicamente para espesores menores a 0,15 pulgadas (3,81mm), unidos por soldaduras de ranura en bisel, y cargados transversalmente o longitudinalmente; la falla de la unión se da por rasgadura de la hoja de metal base a lo largo del contorno de la soldadura, y no, en la soldadura propiamente. De aquí que las ecuaciones están planteadas para prevenir esta falla y consideren el esfuerzo permisible en tensión del acero de la hoja base (F_u), en lugar del esfuerzo permisible en tensión del electrodo empleado. (Sección 4.2.1.2.5 y r2 sección 4.2.1.2.5 AISI) (Ref. #5)



Típica Viga I



Canal derecho de la sección en la viga indicada con línea punteada

Corel Draw. 8.0

Figura 12: Aplicación de la Carga en una Viga

Elección del Electrodo

Un electrodo es una varilla metálica, de composición aproximada a la del metal a soldar y recubierta con una sustancia que recibe el nombre de revestimiento. Cuando se establece una corriente a través del circuito de soldadura, salta un arco eléctrico entre el extremo del electrodo y la pieza, este arco provoca la fusión del electrodo y el metal base; el metal fundido procedente del electrodo, cae en el cráter originado por la fusión del metal base y se forma el baño de fusión, que al solidificar, da lugar al cordón de soldadura que establece la unión entre las dos piezas.

Los electrodos los podemos clasificar en cinco grandes familias: electrodos para aceros ordinarios, para aceros de alto contenido en

carbono, para aceros especiales y aleados, para fundición de hierro y para metales no férricos.

La mayor aplicación de la soldadura por arco con electrodos revestidos, la encontramos en el soldeo de aceros ordinarios, por lo que los electrodos más utilizados son los pertenecientes a este grupo, que es el caso que nos ocupa.

Además de fabricar electrodos para distintos materiales, se hacen también para soldar con corriente continua y para soldar con corriente alterna y algunos funcionan igualmente con los dos tipos de corriente. También se fabrican electrodos para soldar en determinadas posiciones, por ejemplo, algunos solo se adaptan para soldar en posición horizontal; otros son adecuados para soldar en horizontal y plana; y, por último, hay algunos que sirven para soldar en todas posiciones.

Para la soldadura de aceros ordinarios se encuentran dos tipos de electrodos: los desnudos y los revestidos. Inicialmente, los electrodos, desnudos eran simples varillas metálicas sin ningún tipo de recubrimiento, pero en la actualidad, reciben este nombre los electrodos con una ligerísima capa de revestimiento. El empleo de estos electrodos en la soldadura es muy limitado, pues producen uniones muy frágiles y de pequeña resistencia. Prácticamente todas las uniones se realizan con electrodos revestidos.

Los electrodos revestidos llevan recubrimientos relativamente gruesos, a base de sustancias tales como celulosa, silicato sódico, silicato potásico, óxido de titanio (rutilo), óxidos de hierro, hierro en polvo y otros diversos ingredientes. Cada una de estas sustancias está incluida en el revestimiento para que desarrolle una determinada función durante la soldadura. Las principales funciones del revestimiento son:

1. Actuar como agente limpiador y desoxidante del baño de fusión.
2. Liberar gases inertes que protejan el baño de fusión contra la oxidación y nitruración atmosférica. Tanto el oxígeno como el nitrógeno, si entran en contacto con el metal fundido debilitan considerablemente la soldadura; por lo que es importante evitar este tipo de contaminación.
3. Formar sobre el metal depositado una capa de escoria que lo proteja hasta que haya enfriado lo suficiente, para que no pueda ser contaminado por la atmósfera que lo rodea. La escoria también disminuye la velocidad de enfriamiento del metal

depositado, lo que conduce a una soldadura más dúctil.

4. Facilitar el cebado y el mantenimiento del arco y reducir las proyecciones.

5. Permitir una mejor penetración y facilitar la consecución de una calidad de soldadura que supere el control radiográfico.

Algunos revestimientos contienen polvo de hierro que, al fundir el electrodo, pasa a formar parte del metal depositado; este polvo de hierro incrementa la velocidad de aportación y contribuye a conseguir cordones de mejor aspecto.

Identificación de electrodos: En principio, todos los electrodos vienen marcados con el nombre comercial que les asigna el fabricante. Puesto que estos nombres comerciales no están sujetos a ninguna norma, resulta difícil establecer comparaciones entre distintas marcas de electrodos.

Con vistas a asegurar un cierto grado de uniformidad en la fabricación de electrodos, la American Welding Society (AWS) y la American Society for Testing of Materials (ASTM), han establecido una serie de requerimientos para los electrodos, así como unas normas de designación. De esta forma, los electrodos de distintos fabricantes que se mantengan dentro de las clasificaciones establecidas por la AWS y la ASTM, se puede esperar que reúnan similares características de soldadura.

En esta clasificación, a cada electrodo se le asignan una serie de símbolos específicos, tales como E-6010, E-7010, E-8010, etc. El prefijo E identifica a un electrodo para soldadura por arco. Las dos primeras cifras nos indican la resistencia a tracción mínima del metal depositado, en miles de libras por pulgada cuadrada (Ksi).

La tercera cifra indica las posiciones para las que es apto el electrodo. Un 1 nos indica que el electrodo puede utilizarse en todas posiciones, un 2, que el electrodo debe limitarse a las soldaduras en horizontal y plana, y un 3, que el electrodo sólo puede aplicarse para soldadura plana.

TABLA 2: SIGNIFICADO DE LA CUARTA CIFRA

CUARTA CIFRA	REVESTIMIENTO	CORRIENTE	CARACTERISTICAS DE LA SOLDADURA
0	Celulosa con silicato sódico	CC+	Penetración profunda. Cordón plano o cóncavo. Fusión rápida.
1	Celulosa con silicato potásico	CA, CC+.	Penetración profunda. Cordón plano o cóncavo. Fusión rápida.
2	Rutilo con sales de sodio	CA, CC-	Penetración media. Cordón convexo. Gota fría.
3	Rutilo con sales de potasio	CA, CC+,CC-	Penetración media, Cordón convexo. Gota fría.
4	Rutilo con polvo de hierro	CA, CC+,CC-	Penetración media. Gran velocidad de aportación.
5	Básico con sales de sodio	CC+	Penetración moderada. Cordón convexo. Soldadura de aceros con bajo carbono y alto azufre.
6	Básico con sales de potasio	CC+, CA	Penetración moderada. Cordón convexo. Soldadura de aceros con alto contenido en C y alta contenido en S.
7	Con polvo y óxidos de hierro	CA, CC+,CC-	Penetración media. Cordones planos. Gran aportación.
8	Básico con polvo de hierro	CA, CC+	Penetración ligera o media. Cordón convexo. Gran aportación.

CC+ Corriente continua con polaridad inversa (+ al electrodo).

CC- Corriente continua con polaridad directa (- al electrodo).

CA Corriente alterna.

La cuarta cifra determina alguna característica específica del electrodo, tal como tipo de revestimiento, calidad de la soldadura, exigencias eléctricas y poder de penetración. Esta cuarta cifra puede tomar los valores 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 u 8 y sus significados se muestran en la Tabla 2. Hay que hacer notar que la cuarta cifra no debe considerarse individualmente, sino que hay que asociarla a la tercera. De esta forma se consideran simultáneamente la polaridad y la posición de soldadura.

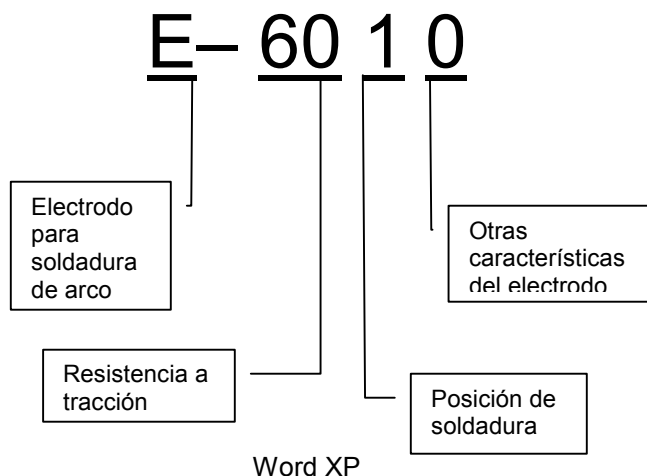


Figura 13: Identificación del Electrodo

Elección del electrodo adecuado: El electrodo ideal es aquel que suministra una buena estabilidad de arco, un cordón de soldadura liso y bien presentado, una buena velocidad de depósito, escasez de proyecciones, máxima resistencia y fácil eliminación de la escoria. Para alcanzar estas características hay que considerar diversos factores a la hora de seleccionar el electrodo, como:

- Características del metal base. Una soldadura de buena calidad debe tener tanta resistencia como el metal base. Esto quiere decir que debe utilizarse un electrodo que deposite un material con las mismas características mecánicas que el metal base. Según esto antes de iniciar cualquier operación de soldadura debemos asegurarnos de la composición química del metal base y seleccionar el electrodo recomendado para este material. La mayoría de los fabricantes de

material de soldadura suelen suministrar este tipo de información.

- Diámetro del electrodo. Como regla general, no deben utilizarse nunca electrodos de diámetro superior al espesor de las piezas a soldar. Algunos soldadores prefieren los diámetros grandes debido a que permiten conseguir mayores depósitos sin interrupción, lo que aumenta la velocidad de soldeo. Sin embargo, este tipo de electrodos exige una mayor habilidad. Por ejemplo, para depositar una cierta cantidad de material con electrodos para aceros ordinarios, de 6 mm de diámetro, se emplea, aproximadamente, la mitad de tiempo que si el trabajo se realiza con electrodos del mismo tipo, pero de diámetro 4. Los grandes diámetros no sólo permiten el empleo de mayores intensidades de corriente, sino que además disminuyen el número de paradas para cambiar el electrodo. De acuerdo con esto, desde el punto de vista de la economía, siempre es recomendable el empleo del mayor diámetro posible que sea compatible con el trabajo a realizar. Cuando se suelda en vertical o en sobrecabeza, independientemente del espesor de las piezas a soldar, el mayor diámetro recomendable es el de 4 mm. Los diámetros mayores hacen muy difícil el control del metal depositado.

- Posición de soldadura. La posición de soldadura es uno de los factores más importantes en la elección del electrodo. Algunos electrodos dan mejores resultados cuando se aplican en horizontal. Otros, por el contrario, están diseñados para soldeo en vertical, plana y sobrecabeza.

- Corriente de soldadura. Hay electrodos que sólo funcionan en corriente continua con una polaridad determinada. Otros funcionan bien en corriente continua y en corriente alterna.

- Rendimiento en el trabajo. La velocidad de aportación es un factor muy importante en cualquier trabajo de producción. Cuanto mayor es la velocidad de soldadura, menor es el costo. Aunque al aumentar la intensidad de corriente aumenta la velocidad de aportación, no todos los electrodos están preparados para dar una gran velocidad de aportación con cordones en buenas condiciones. Si esta gran velocidad se intenta conseguir con un electrodo que no sea el adecuado, el soldador encontrará grandes dificultades y la soldadura no quedará con buenas características

Condiciones de servicio. Los requerimientos en servicio de la pieza que se trata de soldar, pueden demandar una soldadura de especiales características, por ejemplo, gran resistencia a la corrosión, gran ductilidad o elevada resistencia a tracción. En estos casos, los electrodos deben seleccionarse para responder a esas características específicas.

Conservación y almacenado de electrodos: La mayoría de los electrodos son caros. Por consiguiente, hay que tratar de aprovecharlos al máximo, No deben dejarse «colillas» de más de 30 o 40 mm de longitud.

Los electrodos deben almacenarse en lugares secos, a temperatura ambiente y con una humedad relativa que no exceda del 50 %. Cuando el electrodo se expone a la humedad su revestimiento tiene tendencia a desintegrarse. Al manipular los electrodos para su almacenaje, procurar no golpearlos, doblarlos o majarlos, pues hay peligro de que se desconche el revestimiento, con lo que el electrodo queda inservible.

Electrodo E-6013: Tomando en cuenta las consideraciones anotadas atrás para la elección de un electrodo, que sea apropiado al procedimiento de soldadura en construcción con perfiles laminados en frío, se deduce que el indicado es el E-6013, por las propiedades que presenta.

Este electrodo ha sido diseñado para soldar en cualquier posición, con corriente alterna o directa, produce un mínimo de salpicaduras y tiene una tendencia mínima al socavamiento. Los cordones obtenidos son planos, tienen una fina ondulación y una buena apariencia, su escoria es de fácil remoción, particularmente con electrodos de diámetro pequeño (1,6 a 2,4mm).

Su revestimiento es muy similar al de los E-6012, contiene rutilo, materiales siliciados, celulosa, ferro-manganeso y aglomerantes de silicato; sin embargo una diferencia importante, sobre todo, es que, materiales fácilmente ionizables son incorporados al revestimiento, permitiendo el establecimiento y mantenimiento del arco en corriente alterna (AC), con corrientes bajas y bajo voltaje de circuito abierto. Algunos fabricantes han introducido también pequeñas cantidades de polvo de hierro en el revestimiento del E-6013 haciendo que su velocidad de aportación sea mayor y el cordón resultante presente un mejor aspecto. Estas características hacen que el E-6013 sea el electrodo ideal para

soldar metales delgados; el arco es suave y la penetración muy ligera; características muy convenientes para el soldeo de perfiles cuyos espesores no sobrepasan los 3,17 mm. Las propiedades mecánicas y radiográficas son ligeramente mejores que las del E-6012.

Intensidad de corriente: Un aspecto de mucha importancia en la ejecución de uniones soldadas se refiere a la intensidad de corriente apropiada, sin embargo en la construcción de estructuras metálicas en nuestro país, este es un aspecto subestimado y en el que no se pone la debida atención, tendiéndose más bien a aumentar el amperaje en forma indiscriminada sin contemplaciones sobre el espesor de los elementos a unir ni del diámetro y tipo de electrodo que se está utilizando. Esto trae como consecuencia una mala práctica obteniéndose frecuentemente perfiles perforados sobre todo cuando los espesores son muy delgados.

La selección de la intensidad de corriente apropiada está en función del diámetro del electrodo y del espesor del perfil a soldar. La Tabla 3 proporciona los amperajes recomendados para electrodos E-6013 de acuerdo a su diámetro; en la Tabla 4 se proporciona una guía para escoger el diámetro del electrodo en función del espesor del metal base a unir y se especifican los amperajes para los electrodos en general considerando este espesor.

TABLA 3: INTENSIDAD RECOMENDABLE PARA ELECTRODOS E-6013

DIAMETRO DE ELECTRODO (mm]	AMPERIOS
1,5	20- 40
2	25- 50
2,5	30- 80
3.25	80-120
4	120-190
5	140-240
6	250-350

Word XP

Para el caso de los perfiles doblados en frío empleados en nuestro medio, los espesores varían desde 1,20 mm hasta 3,17 mm.

Según la tabla 4, entonces, el máximo amperaje a emplear es de 175 amperios para soldar perfiles de 3,17 mm de espesor, pero específicamente, se debe emplear un electrodo E-6013 de 3,2 mm de diámetro y el amperaje recomendado está entre 80 a 120 amperios. Para el perfil más delgado, 1,2 mm, el electrodo E-6013 a utilizar es uno de 1,5 mm de diámetro con un amperaje no mayor a 40 preferiblemente.

TABLA 4: ELECCIÓN DE TAMAÑO Y AMPERAJE DE ELECTRODO

Espesor del metal		Tamaño del electrodo		Amperaje
Milímetros	Calibre o pulgadas	Milímetros	Calibre o pulgadas	
1,3 mm	18 calibre	1,6 mm	1/16 pulg	50-80
1,6	16	2,5	3/32	50-80
1,9	14	3,2	1/8	90-135
2,7	12	3,2	1/8	90-135
3,4	10	4,0	5/32	120-175
4,8	3/ 16	4,0	5/32	120-175
6,4	1/4	4,0	5/32	120-175
7,9	5,16	5,0	3/16	200-275
12,7	1/2	6,0	1/4	250-350
19,0	3,14	6,0	1/4	250-350
25,4	1	6,0	1/4	325-400

Word XP

Resultados

Método de cálculo

El método de cálculo recopilado en este proyecto, se realizó con el fin de disminuir la laboriosidad en la tarea de diseño, concretamente el dimensionamiento de secciones transversales para elementos estructurales que se construirán con perfiles formados en frío. El procedimiento recopilado se programó en un libro de cálculo electrónico cuyo formato es Microsoft Excel, puede ser corrido en las versiones para Office 97 y la más reciente Office XP.

Es aconsejable que se tengan claros los conceptos de diseño, pues obviamente ningún programa de computación reemplaza el buen juicio y criterio de un profesional responsable, por lo tanto se debe saber discernir e interpretar los resultados, en prevención de que se produzca una falla en la hoja de cálculo y arroje deducciones erróneas.

El método de cálculo programado en la hoja electrónica está basado en las secciones 1, 2, 3 y 4, del Manual de Diseño de Miembros Estructurales con Perfiles de Acero Doblados en Frío, Edición 1980, del Instituto Americano del Hierro y el Acero. Se enmarca en el Método Elástico o Esfuerzos de Trabajo, que considera las propiedades de los materiales en el rango elástico de deformación.

El libro de cálculo se divide en varias hojas que serán descritas a continuación:

1. Perfiles estructurales C:

En ésta hoja se confeccionó una tabla mostrando la lista de perfiles de hierro negro y galvanizados que manufacturan las empresas TUBOTICO y METALCO. En ella se dan los valores de las propiedades mecánicas requeridas para el diseño; las cuales se calcularon empleando las fórmulas especificadas por AISI, partiendo de las dimensiones nominales de los perfiles, proporcionadas por las tablas de los fabricantes.

2. Tipos de cubierta:

Esta hoja da una tabla con los diferentes tipos de cubierta que manufacturan Galvatica y Metalco. Los datos que suministra son requeridos para el análisis de largueros de techo y vigas de entrepiso.

Para el caso de las cubiertas del tipo M-MTL (Metallock, producido por METALCO) debe introducirse las variables de largo de la hoja, cubrimiento útil de la hoja y peso; esto porque es una cubierta que se fabrica contra pedido y de acuerdo con la arquitectura del techo de la obra.

3. Sobrecargas mínimas:

Consiste en la tabla 2.5.1 del Código Sísmico de Costa Rica que proporciona los valores mínimos a considerar como sobrecargas según la aplicación que se esté dando al piso.

4. Presión Básica de Viento:

Proporciona los valores de presión básica que ejerce el viento según la ubicación de la estructura y de la altura de la misma, está basada en la Sección XX del Reglamento de Construcción.

5. Diseño de largueros:

Esta hoja de cálculo se basa en las fórmulas suministradas por AISI y la Sección XX del Reglamento de Construcción, así como la información dada en el Curso Estructuras de Acero del Programa de Bachillerato de la Escuela de Ingeniería en Construcción.

La mecánica de la hoja es la siguiente:

Se da la opción de emplear un solo perfil, ó dos perfiles unidos en caja mediante soldadura. Para esta segunda opción se calcula también la separación y largo de los cordones de soldadura.

En las celdas con color celeste deben de introducirse las variables solicitadas como lo son:

– El sitio donde se planea construir (si es campo o ciudad); esto debido a que el comportamiento y la fuerza con que el viento actúa es distinto para estos sitios.

– Tipo de edificación: se refiere a si es una edificación cerrada de paredes planas ó edificación abierta.

- La altura máxima del techo, que corresponde a la diferencia de alturas que se tiene entre el nivel de terreno y la cumbrera del techo.
- La altura de la cercha, corresponde a la medida que tiene ésta en la parte más alta, es decir la diferencia de niveles entre la cuerda inferior y la cumbrera.
- Longitud de la cercha: Corresponde a la medida de la cercha de punta a punta.
- Pendientes: Un techo puede tener en un mismo sentido, un agua o dos aguas.
- El tipo de cubierta: debe introducirse en esta celda la lámina de techo seleccionada tal y como se describe en la hoja del tipo de cubierta.
- El tipo de perfil a utilizar se escoge de la hoja de perfiles estructurales C introduciéndose en ésta celda.
- La unidad de perfiles se refiere a la cantidad de los perfiles que se usaran por clavador (1 o 2); según se estime.
- El F_y es el esfuerzo de fluencia para el acero especificado por el fabricante del perfil. En nuestro medio el más empleado es un acero con 2310 kg/cm^2
- La separación entre largueros corresponde a la distancia que se colocará entre un clavador y otro.
- La luz entre cerchas corresponde a la distancia entre una cercha y otra, o bien la distancia entre los puntos de apoyo del larguero.
- La carga viva del techo por metro cuadrado se obtiene de la tabla 2.5.1 del Código Sísmico de Costa Rica.
- El cielo, las luces y otros elementos que deberá soportar la estructura de techo es un valor obtenido por un cálculo de la suma de los diferentes elementos que soportará ésta.

Seguidamente la hoja realiza un análisis de viento según el Artículo XX del Reglamento de Construcción, obteniéndose el valor de las cargas de viento para la altura especificada del techo.

Luego del análisis de viento se calculan las cargas gravitacionales y los efectos de éstas en el larguero.

La hoja analiza a continuación las propiedades de la sección propuesta y realiza la interacción de cargas.

En el último apartado del programa se calcula la soldadura de unión para el caso de clavadores formados de dos perfiles, en este paso se requiere que el diseñador introduzca las siguientes variables:

- Dirección de la carga con respecto al eje del cordón de la soldadura (Transversal: T ó Longitudinal: L).
- Longitud de apoyo: corresponde a la longitud de contacto de la viga con su apoyo.
- Diámetro del electrodo: El diseñador tiene libertad de escoger el diámetro del electrodo a utilizar, que está ligado con el espesor de material a soldar.

La hoja resuelve todos los algoritmos planteados con las variables suministradas y determina si los supuestos del diseñador cumplen con los requerimientos mínimos del AISI. Al final agrupa las conclusiones obtenidas proporcionando el o los tipos de perfil a emplear; si requiere de tensores longitudinales; proporciona además la carga que transmite el larguero a la cercha o apoyo; el tipo de lámina a emplear en la cubierta de techo. Además proporciona el tamaño y la longitud del cordón de soldadura con su separación a centros e indica el diámetro y tipo de electrodo a usar.

6. Diseño de elementos para armaduras:

Corresponde al diseño de todos aquellos elementos de una armadura, que mediante un cálculo previo de sus nudos, se han determinado los valores de las fuerzas internas que actúan en cada miembro y su condición o estado (compresión o tracción).

En esta hoja de cálculo se solicitan las siguientes variables:

- El número del elemento es un asunto de orden para la memoria de cálculo con el fin de que una vez calculados varios elementos de una misma armadura, sean fácilmente identificables.
- La carga máxima ($P_{\text{máx}}$) aplicada en los ejes X y Y: corresponde a la carga que algunos elementos deben soportar entre sus apoyos; como es el caso de uno de los elementos que forme parte de la cuerda superior de una cercha y que en la longitud que comprende su luz se apoye un clavador.
- El momento máximo ($M_{\text{máx}}$): se refiere al momento que se produce por la carga que soporta el elemento en su luz libre ($S_{\text{máx}}$). Por tanto si no existe una carga normal al elemento, este momento no existirá.
- El estado de la barra: se refiere la definición del comportamiento del elemento dentro de la armadura (C = compresión o T = tracción).
- La longitud del elemento: se estima como su longitud total de extremo a extremo del elemento en análisis.

-El valor de K: corresponde a la constante de esbeltez del elemento que se obtiene de la deformación elástica del elemento que se muestra en la tabla C1.8.1. del AISC. Para el caso de estructuras tipo cerchas se considera igual a la unidad.

-El tipo de perfil: es el perfil escogido de la tabla de perfiles C que el mismo libro de cálculo contiene. Debe ser descrito igual a como se muestra en esa tabla.

-El F_y corresponde al esfuerzo de fluencia del acero del perfil, y es especificado por el fabricante.

-El módulo de elasticidad del acero (E) con que se esté trabajando.

-Las unidades de perfil: se refiere a la cantidad de perfiles que conforman la sección del elemento (uno o dos).

-Valor de C_m en los ejes X y Y.

El análisis comienza por el cálculo de las características de diseño del perfil o perfiles escogidos, seguidamente se analizan los esfuerzos debido a las cargas actuantes y los esfuerzos característicos del perfil o los perfiles escogidos, para llegar a la obtención de la sección transversal recomendada para la estructura, indicando el o los tipos de perfiles que se deben emplear.

Adicionalmente el programa analiza el diseño del tipo de soldadura a utilizar así como el tipo de electrodo. A continuación se detallan las variables utilizadas para el análisis de soldaduras:

Para el cálculo de la soldadura deben introducirse otras variables como lo son:

– Dirección de la carga con respecto al eje del cordón de la soldadura (Transversal: T ó Longitudinal: L).

– Longitud de la soldadura: El diseñador tiene la libertad de escoger la longitud del cordón de soldadura que empleará, considerando que será más práctico desde el punto de vista constructivo y que resista la carga impuesta.

– Redondeo de la separación máxima de la soldadura: este valor se introduce a criterio del calculista en forma redondeada, o sea números cerrados sin considerar decimales. El redondeo debe hacerse considerando el valor de separación máxima calculado en las celdas anteriores, por cuanto no se puede introducir un valor que sea mayor a ésta.

– Tipo de electrodo: se debe escoger de acuerdo con el tipo de material a unir; generalmente para

perfiles doblados en frío se emplea E 6012 ó E 6013.

– Diámetro del electrodo: El diseñador tiene libertad de escoger el diámetro del electrodo a utilizar, que está ligado con el espesor de material a soldar.

La hoja calcula las formulas con las variables suministradas y corrobora si los supuestos del diseñador cumplen con las regulaciones mínimas dadas por el AISI.

Al final agrupa las conclusiones obtenidas proporcionando el o los tipos de perfil a emplear, además de la longitud de la soldadura, la separación de centro a centro, con el tipo y diámetro de electrodo especificado por el diseñador.

7. Diseño de vigas cajón o vigas I con o sin soporte lateral.

A cada una de estos tipos de vigas les corresponde una hoja del libro de Excel, para su referido análisis, pudiéndose calcular las viguetas de entepiso y sus respectivas vigas de apoyo, así como vigas para soporte de clavadores de techos.

La hoja de cálculo está estructurada de la siguiente manera:

Primeramente se deben de calcular las cargas que intervienen, según el uso que se le de a la viga e introducir los valores en las celdas respectivas coloreadas de celeste.

El tipo de cubierta se introduce para el caso de entrepisos en donde la formaleta usada sea una lámina de techo. En cualquier caso esta debe especificarse tal y como lo indica la tabla descrita en la hoja de calculo denominada como tipos de cubierta.

Seguidamente debe introducirse las cargas muertas y vivas actuantes sobre la viga, el momento máximo que debe soportar la viga debido a las cargas actuantes sobre ésta, el cortante máximo corresponde al valor máximo obtenido del diagrama de cortante del elemento en estudio.

El F_y corresponde al esfuerzo de fluencia del acero especificado por el fabricante.

K_v es el coeficiente de pandeo por cortante que se especifica como 5.34 en la condición de almas no reforzadas. En el caso de almas reforzadas debe de referirse a la sección 3.4.1. del AISI.

Los tipos de perfiles se toman de la tabla de Perfiles Estructurales C suministrada por este libro de cálculo.

La longitud entre largueros corresponde al distanciamiento o separación entre clavadores (caso de vigas de techo) o entre viguetas (caso de vigas de entrepiso).

La longitud sin arriostrar en la zona de compresión corresponde a la distancia mas larga entre arriostres en la zona de compresión de la viga.

La longitud entre apoyos de la viga es la longitud de la viga de extremo a extremo. Debe indicarse si se tiene o no soporte lateral.

La memoria de cálculo electrónica inicia con la solución de distintas fórmulas matemáticas para la obtención de los datos de las características del perfil o los perfiles escogidos. Posteriormente se realiza el análisis para vigas con soporte y sin soporte lateral, para determinar si la sección cumple por flexión, seguidamente se analiza el esfuerzo por cortante para determinar si cumple con lo permitido por AISI y el CSCR.

Para el cálculo de la soldadura debe indicarse:

- La dirección de la carga sobre la viga (longitudinal o transversal).
- La longitud del cordón de soldadura propuesto por el diseñador.
- El tipo de electrodo a utilizar según la experiencia y conocimiento.
- El diámetro del electrodo y la longitud de apoyo de la viga sobre el elemento que la soporta.

Se determinan una serie de ecuaciones que conllevan a la verificación de los datos propuestos y luego se obtiene un resumen o recomendación acerca de si cumple o no con las normas establecidas. En el caso que no cumpla, se da una recomendación de que debe hacerse para que cumpla.

Al final la memoria de cálculo concluye con el aval o rechazo de las consideraciones tomadas.

8. Columnas cajón y columnas I sencillas ó compuestas:

Antes de iniciar el cálculo de las columnas se supone que el diseñador realizó una serie de cálculos que comprendieron las cargas vivas y muertas actuando sobre todo el edificio y se obtuvieron de este análisis las cargas que actúan sobre cada una de las columnas que conforman la estructura.

- Carga axial (P) es la carga que le llega a la columna.
- M_{max} es el momento máximo actuante sobre la columna.

– La longitud de la columna corresponde a la medida total de esta en metros.

– Se introduce el número que identifica la relación ancho espesor para el análisis del alma y el ala, de acuerdo a la tabla de Limitaciones en las relaciones Ancho – Espesor para Elementos en Compresión (Tabla B5.1 del AISC). Dicha tabla se adjunta en la hoja electrónica para facilitar la escogencia del factor.

– El tipo de perfil debe de escogerse de la hoja “Perfiles Estructurales C” suministrada en este libro.

– El F_y es el esfuerzo de fluencia del acero.

– La variable E que corresponde al módulo de elasticidad del acero.

– La constante K_x-x y K_y-y son valores que deben de tomarse de la tabla de factores de longitud efectiva K para columnas con carga axial y varias condiciones idealizadas de los extremos (esta tabla se muestra al inicio de la hoja de cálculo).

– Las longitudes no arriostradas en los ejes X-X y Y-Y corresponden a las longitudes con posibilidades de presentar pandeo o deformación lateral en la columna en cada uno de los ejes de la sección transversal.

– La longitud no arriostrada a lo largo del eje donde se aplica la soldadura corresponde a la mayor longitud propensa a deformaciones laterales de la columna, en el eje donde se aplica el cordón de soldadura; en caso de que se aplique soldadura en los dos ejes debe colocarse la longitud mayor.

– El valor de CM es un coeficiente que toma valor de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para miembros en compresión en estructuras sujetas a juntas de traslación (ladeo), C_m es igual a 0.85

- Para miembros en compresión empotrados en estructuras arriostradas contrajuntas de traslación y no sujetas a cargas transversales entre sus apoyos, en el plano de flexión, $C_m = 0,6 - 0,4*(M1/M2)$, pero no menor de 0,40

- Para miembros en compresión arriostrados contra juntas de traslación en el plano de flexión y sujetos a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de C_m puede ser determinado por análisis racional. Sin embargo en lugar de dicho análisis, los siguientes valores pueden ser usados:

- e) Para miembros cuyos extremos están empotrados, $C_m = 0,85$

f) Para miembros cuyos extremos no están empotrados, $C_m = 1,0$

Donde: $\frac{M_1}{M_2}$ es la relación del momento menor al

momento mayor en los finales de la porción del miembro no arriostrado en el plano de flexión que está en consideración.

$\frac{M_1}{M_2}$ Es positivo cuando el miembro en

consideración está en curvatura inversa y negativo cuando está en curvatura simple.

La memoria de cálculo inicia con el análisis de pandeo lateral del ala y el alma, obteniendo la información de dos tablas que se suministran al inicio de la hoja. Luego mediante una serie de ecuaciones matemáticas se obtienen las características de diseño de la sección de la columna. Posteriormente se obtienen los valores de los esfuerzos debido a las cargas y momentos actuantes y los esfuerzos permisibles de la sección propuesta.

Estos valores anteriormente obtenidos son aplicados como variables a una ecuación de interacción donde debe cumplirse una desigualdad matemática.

La hoja electrónica analiza el cálculo para arriostres en paredes de acuerdo con las siguientes variables que el diseñador debe suministrarle:

– El tipo de edificación: si es una edificación cerrada de paredes planas o si es una edificación abierta, tipo galerón. Estas variables se introducen con el fin de determinar el área afectada por las corrientes de viento.

– Posición de la pared en análisis (debe tomarse la pared en la que la columna en análisis interviene): Esta puede ser frente al viento (fv), de fondo (f) o lateral al viento (lv).

– Sitio de construcción: campo o ciudad. Esto debido a que la condición de fuerza de viento cambia según la ubicación, por cuanto el viento es más fuerte en zonas abiertas como el campo.

– Altura de pared incluyendo el tapichel o la proyección del techo: la altura total del nivel de terreno hasta la parte más alta del edificio.

– Área total de pared expuesta a las fuerzas de viento: es el área comprendida por el producto de la altura de proyección total frente al viento por el ancho total de esa pared incluyendo el techo.

– Altura de buque de pared hasta donde se coloca el arriostre: corresponde a la altura de pared en la cual se colocaran los arriostres.

– Ancho del buque a arriostrar: corresponde al ancho del vano de pared a arriostrar.

– Numero de tensores por pared: se obtiene de la multiplicación del número de buques por dos; ya que cada buque lleva dos arriostres que van de las esquinas para pegarse en sus esquinas opuestas.

– F_y del acero utilizado para arriostres corresponde al esfuerzo de fluencia del acero que se utiliza para arriostrar los vanos de pared.

Con las variables anteriores la hoja de cálculo analiza mediante una regla de tres, la presión de viento adecuada para el diseño, de acuerdo con la altura de la edificación.

Seguidamente se calculan los esfuerzos de tensión y se determina cual es el área y diámetro de acero a utilizar.

Para el cálculo de la soldadura el programa requiere de las siguientes variables:

– Dirección de la carga con respecto al eje del plano de colocación de la soldadura.

– Longitud de la soldadura propuesta: el diseñador debe proponer una longitud inicial del cordón de soldadura, de acuerdo con lo que crea de más fácil aplicación en el campo.

Redondeo de la separación máxima de la soldadura (S_{max}), este valor se introduce a criterio del calculista en forma redondeada, o sea números cerrados sin decimales. El redondeo debe hacerse considerando el valor de separación máxima calculado en las celdas anteriores, por cuanto no se puede introducir un valor que sea mayor a ésta; también debe considerarse un valor que sea práctico para los soldadores (llegar a un número fácil de medir).

– Tipo de electrodo escogido de acuerdo a la experiencia del calculista o a las recomendaciones para perfiles doblados en frío.

– Diámetro del electrodo a usar, de acuerdo con el espesor del material.

La hoja de cálculo resuelve una serie de algoritmos matemáticos para llegar a determinar que los supuestos de longitud de soldadura, tipo y diámetro de electrodo cumplen o no.

Al final se concluye con un resumen de la especificación de soldadura a utilizar.

En los anexos se incluye un ejemplo desarrollado para la hoja de cálculo a fin de ilustrar los procedimientos expuestos anteriormente.

Dimensiones de perfiles

TABLA 5: CANTIDAD DE PERFILES QUE PRESENTAN VARIACIÓN EN ALGUNA DE SUS DIMENSIONES FUERA DE LA NORMA			
# de Medición	Variación en Altura (H)	Variación en Lado (B)	Variación en Atiesador (d)
40	5*u	3**u	1*u

Word XP

Simbología:

* Perfiles con variación positiva

** 2 Perfiles con variaciones positivas y 1 perfil con variación negativa

u = Unidad

TABLA 6: PERFILES DE METALCO ATIESADOS Y NO ATIESADOS POR SU LABIO						
PERFIL	DIMENSIONES NOMINALES			ESPESOR NOMINAL	labio min	CONSIDERACION DEL ELEMENTO SEGÚN ECUACION 2.3.2-2 DEL AISI
	h	b	c			
	mm			t nom	mm	
M-RT0-16(HN)	70	50	15	1,5	7,20	Elemento atiesado
M-RT1-16(HN)	100	50	15	1,5	7,20	Elemento atiesado
M-RT1-13(HN)	100	50	15	2,37	11,38	Elemento atiesado
M-RT1-11(HN)	100	50	15	3,17	15,22	Elemento no atiesado
M-RT3-16(HN)	150	50	15	1,5	7,20	Elemento atiesado
M-RT3-13(HN)	150	50	15	2,37	11,38	Elemento atiesado
M-RT4-16(HN)	200	50	15	1,5	7,20	Elemento atiesado
M-RT4-13(HN)	200	50	15	2,37	11,38	Elemento atiesado
M-RT4-11(HN)	200	50	15	3,17	15,22	Elemento no atiesado
M-RTG018	70	50	15	1,2	5,38	Elemento atiesado
M-RTG0-16	70	50	15	1,5	6,82	Elemento atiesado
M-RTG1-18	100	50	15	1,2	5,38	Elemento atiesado
M-RTG1-16	100	50	15	1,5	6,82	Elemento atiesado
M-RTG1-14	100	50	15	1,9	8,74	Elemento atiesado
M-RTG1-12	100	50	15	2,7	12,58	Elemento atiesado
M-RTG3-18	150	50	15	1,2	5,38	Elemento atiesado
M-RTG3-16	150	50	15	1,5	6,82	Elemento atiesado
M-RTG3-14	150	50	15	1,9	8,74	Elemento atiesado
M-RTG4-14	200	50	15	1,9	8,74	Elemento atiesado
M-RTG4-12	200	50	15	2,7	12,58	Elemento atiesado

Word XP

Simbología:

RTG = Perfil de acero galvanizado

HN = Perfil de acero negro

**TABLA 7: PERFILES DE TUBOTICO ATIESADOS Y
NO ATIESADOS POR SU LABIO**

PERFIL	DIMENSIONES NOMINALES			ESPESOR NOMINAL	labio min	CONSIDERACION DEL ELEMENTO SEGÚN ECUACION 2.3.2-2 DEL AISI
	h	b	c			
	mm			t nom mm	mm	
TT-7X0.140 (HN)	70	50	15	1,4	6,72	Elemento atiesado
TT-7X0.158 (HN)	70	50	15	1,58	7,58	Elemento atiesado
TT-7.50X0.158(HN)	75	50	15	1,58	7,58	Elemento atiesado
TT-7.50X0.238 (HN)	75	50	15	2,38	11,42	Elemento atiesado
TT-10X0.158 (HN)	100	50	15	1,58	7,58	Elemento atiesado
TT-10X0.238 (HN)	100	50	15	2,38	11,42	Elemento atiesado
TT-10X0.317 (HN)	100	50	15	3,17	15,22	Elemento no atiesado
TT-12.50X0.158 (HN)	125	50	15	1,58	7,58	Elemento atiesado
TT-12.50X0.238 (HN)	125	50	15	2,38	11,42	Elemento atiesado
TT-12.50X0.317 (HN)	125	50	15	3,17	15,22	Elemento no atiesado
TT-15X0.158 (HN)	150	50	15	1,58	7,58	Elemento atiesado
TT-15X0.238 (HN)	150	50	15	2,38	11,42	Elemento atiesado
TT-15X0.317 (HN)	150	50	15	3,17	15,22	Elemento no atiesado
TT-20X0.158 (HN)	200	50	15	1,58	7,58	Elemento atiesado
TT-20X0.238 (HN)	200	50	15	2,38	11,42	Elemento atiesado
TT-20X0.317 (HN)	200	50	15	3,17	15,22	Elemento no atiesado
TT-G7X0.120	70	50	15	1,2	5,38	Elemento atiesado
TT-G7X0.158	70	50	15	1,58	7,21	Elemento atiesado
TT-G7.50X0.120	75	50	15	1,2	5,38	Elemento atiesado
TT-G7.50X0.158	75	50	15	1,58	7,21	Elemento atiesado
TT-G10X0.158	100	50	15	1,58	7,21	Elemento atiesado
TT-G15X0.158	150	50	15	1,58	7,21	Elemento atiesado

Word XP

Simbología:

G = Perfil de acero galvanizado

HN = Perfil de acero negro

Ensayos de tracción

TABLA 8: ESFUERZOS OBTENIDOS PARA PROBETAS DE ACERO GALVANIZADO		
Muestra #	Esf. Máximo kg/cm ²	Esf. Fluencia kg/cm ²
A	3743,4	3162
B	3758,7	3039,6
C	3794,4	3100,8
D	0	3111

Word XP

TABLA 9: ESFUERZOS OBTENIDOS PARA PROBETAS DE ACERO NEGRO		
Muestra #	Esf. Máximo kg/cm ²	Esf. Fluencia kg/cm ²
E	3687,19	2805,54
F	3668,07	2574,64
*G	3658,67	0,00
H	3216,88	2227,72

Word XP

* No se pudo determinar el punto de fluencia

TABLA 10: ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO Y REPORTADO	
Esfuerzo de Fluencia Promedio de Probetas kg/cm ²	Esfuerzo de Fluencia Reportado por Fabricante kg/cm ²
2860	2310

Word XP

Análisis de Resultados

Libro de Cálculo

Al examinar el libro de cálculo obtenido para el dimensionamiento de elementos estructurales formados por perfiles doblados en frío, puede deducirse que éste constituye una herramienta que facilita la tarea de cálculo, ahorrando recursos y tiempo, además de brindar un respaldo al emplear fórmulas y procedimientos del AISI y del CSCR.

Permite emplear secciones transversales compuestas por hasta cuatro perfiles diferentes en los casos de vigas y columnas y especifica las soldaduras de unión de dichos elementos.

Contempla los casos de esfuerzos que mayormente se presentan en una estructura bajo condiciones normales de servicio como lo son: compresión pura, flexión, una combinación de ambas y tensión.

Interactúa con tablas de propiedades de los perfiles y de sobrecargas contempladas en el CSCR y el Reglamento de Construcción, aplicando los valores automáticamente según la condición dada, por lo que no es necesario andar arrastrando esos valores e introduciéndolos en cada situación que se requieran.

Su funcionamiento es muy fácil de aprender, la misma hoja va guiando al calculista sobre el proceso en forma secuencial y lógica de cuáles datos debe introducir y que condiciones contempla, al final del proceso de cálculo especifica los tipos de perfiles a emplear, las condiciones de apoyo y la soldadura requerida de unión.

El libro de cálculo desarrollado está conceptualizado en la teoría de esfuerzos de trabajo o diseño elástico, por cuanto en nuestro país las condiciones imperantes en la construcción con respecto a mano de obra calificada y apego a las normas, reglamentos y códigos, no son las más adecuadas en muchas oportunidades, lo que hace que se deba contar con un alto factor de seguridad. Además de hacer

referencia directa el CSCR en su Capítulo 2.13; la situación atrás expuesta conjuntamente constituyen las razones por las cuáles se emplea como referencia el Manual de Diseño para Perfiles Formados en Frío del AISI en su edición de 1980, y no la última versión edición 1996, en la que se utiliza el diseño basado en las propiedades del acero en el rango plástico, por cuanto se considera que nuestro medio aun no esta preparado para llevar a la práctica las especificaciones bajo este método.

Por la naturaleza propia del programa en las hojas de cálculo electrónicas, se puede corregir las fórmulas, adicionar otras, variar el procedimiento agregar datos y actualizar las tablas, es muy accesible y flexible en este particular. Sin embargo éstas mismas propiedades se convierten en desventaja al hacerlo vulnerable, por cuanto se pueden borrar y alterar las fórmulas y datos previamente programados, lo que afectaría los resultados obtenidos y el fin mismo del libro de cálculo.

El formato del libro de Excel permite adicionar hojas de cálculo, lo cual es ventajoso porque se puede realizar el análisis de cuantos elementos se desee, copiando el procedimiento de hoja en hoja y agruparlos en un solo libro; sin embargo se debe ser cuidadoso en el proceso de copia por cuanto en el pegado no se debe variar la posición de las celdas ya que se distorsionan las formulas al encontrarse referenciadas con respecto a éstas.

Para su ejecución debe de previo haberse realizado el análisis estructural correspondiente, a fin de definir las cargas y condiciones imperantes que se introducen en cada hoja.

Una importante limitante al uso general del libro de cálculo, se debe al hecho que el calculista debe poseer conocimientos de computación, específicamente dominio del programa Microsoft Excel, sin estos conocimientos no será capaz de ejecutar las rutinas de cálculo.

Dimensiones de Perfiles

La tolerancia en la forma y dimensiones de los perfiles doblados en frío está regida por la Norma JIS G 3350 SSC 41, Tabla 11. (ver anexo 3)

Al comparar los datos tomados en planta para las dimensiones de los perfiles, se encontró que de los 40 analizados, 9 no cumplen en alguna de sus dimensiones. Cinco de esas intolerancias se dieron en un exceso de la dimensión del peralte, tres en un exceso de la dimensión correspondiente al labio o atiesador, y una, a un valor inferior en ésta misma dimensión.

Las variaciones permitidas por la norma en las dimensiones del perfil están dadas desde el punto de vista de manufacturación exclusivamente, sin contemplar efectos en las propiedades mecánicas, esto es, que no se considera el efecto que tiene variar una dimensión durante el proceso de fabricación, en las características propias del perfil necesarias para el diseño de estructuras. Se encontró que las variaciones permitidas en el labio del perfil C oscilan entre $\pm 2,0$ milímetros pero no se está considerando el criterio dado por el AISI en 2.3.2-2 en donde se especifica que un perfil tiene sus alas atiesadas por el labio cuando éste tiene una dimensión mayor o igual a 4,8 veces el espesor. Con base en esto se dedujo que los perfiles que tiene un espesor de 3.17 mm deben tener como mínimo un labio de 15.22 mm; no obstante los perfiles circulantes en el mercado nacional poseen una dimensión del atiesador de 15,0 mm nominalmente, si se le resta 2,0 mm como lo permite la norma de fabricación, se estaría alejando todavía más de la dimensión que se considera mínima para atiesar el ala, según AISI.

Esta discrepancia en consecuencia afecta el proceso de cálculo, por cuanto la condición de atiesado incide directamente en los valores computados para las propiedades mecánicas a saber: área de la sección transversal, momento de inercia, radio de giro, módulo de elasticidad y posición del centro de cortante, que varían en función del labio.

Puede que se esté dando un error en muchos cálculos de estructuras, por cuanto los diseñadores en general tienden a confiar en los datos proporcionados por los catálogos y no se detienen a corroborar estos pequeños detalles que al final son de enorme importancia.

A modo de ejemplo para los perfiles que produce METALCO en espesor nominal de 3,17 mm, la variación del área de la sección transversal oscila entre un 5,96% y 8,84%; el módulo de sección en el eje X la variación oscila entre 6,07% y 8,67%, mientras que para el eje Y entre 33,1% y 33,66%, con respecto a los datos obtenidos tomando el elemento como atiesado. Para los perfiles producidos por TUBOTICO en espesor nominal de 3,17 mm se encontró una variación en el área que oscila 5,87% a 8,72%; en el módulo de sección en el eje X se varía de 8,35% a 8,74% y 32,41% a 33,15 % en el eje Y.

Aún cuando las dimensiones nominales de los perfiles que producen ambas empresas son iguales, la diferencia en los porcentajes de variación se da debido a que el radio de curvatura de los perfiles de una y otra son diferentes, METALCO reporta un radio de curvatura promedio de 6,0 mm para todos sus perfiles; mientras que TUBOTICO proporciona un radio de curvatura diferente para cada uno de sus perfiles que va desde 2.38 a 6.35 mm.

En otro orden se determinó que para los perfiles galvanizados, el acero importado por TUBOTICO posee un espesor de galvaniz de 91.55 g/m², mientras que METALCO reporta 275 g/m². Ambos valores están dados por lado del fleje.

Para efectos de cálculo estructural, esto tiene una enorme trascendencia por cuanto debe considerarse el espesor del galvaniz, restándolo en la determinación de las propiedades mecánicas para trabajar con dimensiones efectivas de acero.

Ensayos de tracción

En los esfuerzos de fluencia obtenidos para las probetas de acero falladas, se comprueba que los valores obtenidos están por encima del valor reportado por TUBOTICO en el orden de 62,05 a 64,26 % para el acero galvanizado; mientras que para el acero negro los valores encontrados para la fluencia superan en un rango de 39,26 a 59,62 % el valor reportado.

El esfuerzo de fluencia promedio de las probetas falladas es de 2860 kg/cm², valor superior al reportado por el fabricante de 2310 kg/cm². En este sentido para efectos de seguridad en los cálculos y en la estructura final, se tiene una ventaja por cuanto más bien, el valor de diseño es superado por el que realmente ofrece el acero empleado.

Las probetas de acero se fallaron según norma ASTM 370 y la deformación corresponde a la real para cada carga.

..

Recomendaciones para la Construcción

Consideraciones en la fábrica y en los sitios de distribución y venta.

Almacenamiento y manipulación:

1. No sobrepasar la capacidad del montacargas a emplear.
2. En el apilamiento de fardos en los camiones o en bodega es recomendable emplear apoyos de madera a una distancia de 2,0 m para minimizar la deflexión del perfil así como facilitar la maniobra de carga; con esto también se evita el contacto con elementos contaminantes depositados en el piso que produzcan corrosión.
3. La altura de las estibas no debe sobrepasar los 2,0 m de altura para evitar la sobrecarga en los perfiles
4. Los locales destinados al almacenamiento de perfiles, deben contar con buena ventilación para evitar la concentración de humedad, que inicia la corrosión del acero

Compra de perfiles

1. No adquirir perfiles que se encuentren golpeados y que presenten pandeos u otras deformaciones de consideración en zonas como el atiesador o el alma.
2. Un aspecto de mucha importancia y que debe ser estimado al momento de seleccionar y adquirir un determinado perfil, consiste en verificar que la altura del labio, sea tal que cumpla con el requerimiento para considerar el elemento como atiesado. Esto se verifica corroborando que dicha altura sea mayor o igual a 4,8 veces el espesor del perfil. Por ejemplo, para un perfil con un espesor de 2,38 mm, la altura mínima del labio para que el perfil sea considerado como atiesado, debe ser de 11,4 mm .

Consideraciones en el sitio de construcción

Almacenamiento:

1. Usar un lugar seco para guardar los perfiles, preferiblemente bajo techo, si no se puede bajo techo entonces proteger los perfiles contra la humedad cubriéndolos
2. Evitar el contacto con el suelo, estibarlos sobre apoyos o una tarima. Si se colocan calzas entre los perfiles, ponerlas de manera que el perfil no sufra esfuerzos de flexión innecesarios, colocar los apoyos debidamente espaciados, se recomienda una separación entre apoyos de 2,0 m.
3. Los perfiles empleados en nuestro medio traen de fabrica una capa de aceite que lo protege de la humedad presente en el medio ambiente, sin embargo esta protección es temporal limitada al momento de su despacho y transporte a la obra. Una vez en el sitio de construcción, es una buena práctica aplicar un protector primario al perfil como el minio rojo, que es una pintura de secado lento con aceites y pigmentos anticorrosivos de buena humectación, lo que la hace perfecta para perfiles a los que se les ha retirado la protección aceitosa de fabrica mediante un solvente, como acostumbra hacerse en nuestro medio. La aplicación de este protector primario antes de la fabricación de la estructura tiene como objeto aumentar la cobertura en aquellas zonas del perfil que son difíciles de pintar una vez se ha armado la estructura final, por ejemplo en la parte interior del labio del RT.

Manipulación:

1. Al ser los perfiles elementos de una gran longitud, sección transversal pequeña y espesor muy delgado, es aconsejable que su traslado y manipulación sea realizado por al menos dos personas para evitar el alabeo en este.
2. Para no producir deformaciones y pandeos, los perfiles no deben ser nunca arrojados ni golpeados contra el piso ni entre ellos.

Consideraciones en la construcción

Corte y armado de elementos:

1. Por causa del proceso de fabricación, concretamente al corte final en la formación del perfil, se produce una deformación en ambos extremos. Por lo anterior es recomendable eliminar esta sección deformada cortando cinco centímetros aproximadamente en cada extremo del perfil.
2. Para el corte de perfiles se recomienda emplear herramientas que no sobrecalienten el elemento a fin de evitar sobreesfuerzos y deformaciones iniciales, en este caso además de economía y rapidez, el empleo de discos para cortar metal es una buena práctica.
3. Para conformar los diferentes elementos de una estructura, por ejemplo secciones cajón, secciones I o armado de cerchas, se debe trabajar en una superficie nivelada y debidamente apoyada. Para este fin es recomendable implementar mesas de armado o "burras" que den el debido apoyo y aislamiento de la humedad del piso.

Largueros o clavadores:

1. Los perfiles empleados como largueros deben colocarse con la abertura mirando hacia la parte más elevada que se le de al techo para que la resultante de las cargas aplicadas pase por el centro de cortante del perfil.
2. En largueros a fin de evitar el volcamiento del perfil, se recomienda dar un apoyo mediante una platina en forma de z (pie de amigo) que sujete al perfil por su parte superior al elemento de apoyo. Así mismo es aconsejable colocar un angular de apoyo al pie del perfil en su espalda para evitar el deslizamiento.

3. Es una buena práctica la colocación de tensores longitudinales entre largueros, ya sea al centro o en sus tercios medios según lo arroje el diseño, con el propósito de disminuir la flexión del elemento en su eje débil. No debe olvidarse colocar el tensor entre los perfiles que rematan en la cumbrera puesto que este tensor es el que permite la conformación de un todo en la estructura de largueros. (Ver Figura 14)

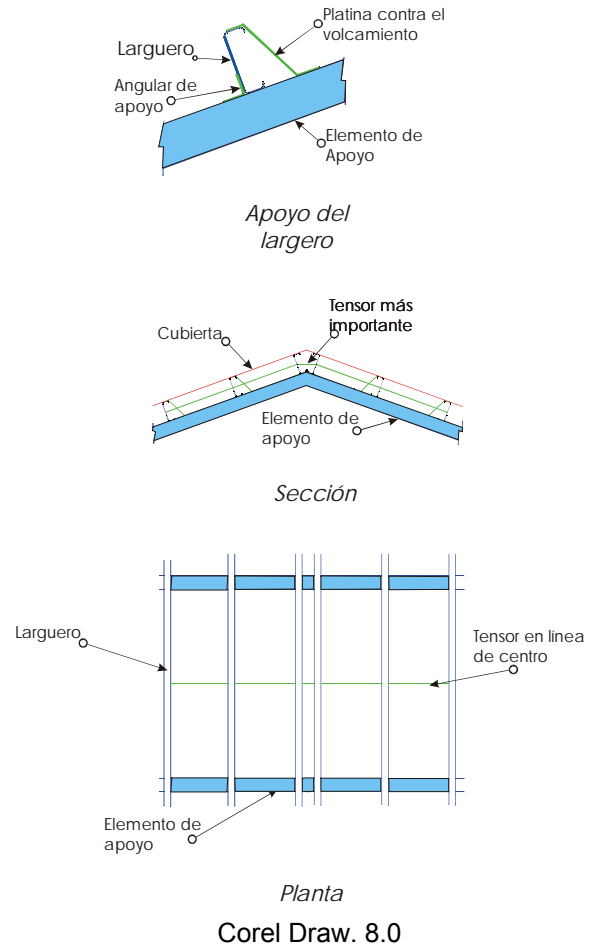
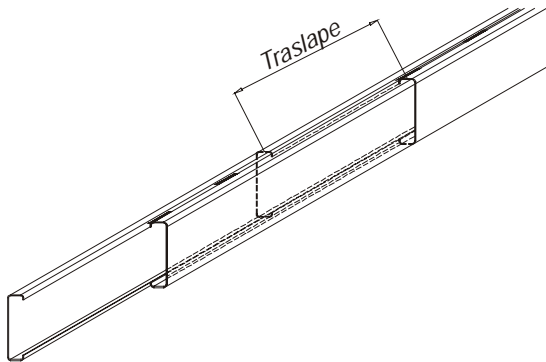


Figura 14: Detalle de Largueros

Armaduras:

1. En armaduras a fin de reforzar las uniones soldadas, es recomendable emplear placas de unión por ambos lados.
2. En elementos tipo cajón, cuando sea necesario realizar una junta para dar continuidad, debe traslaparse uno de los perfiles que conforma dicho cajón, a una distancia de por lo menos 50,0 cm con el fin de minimizar la falla en la junta. (Ver Figura 15)



Corel Draw. 8.0

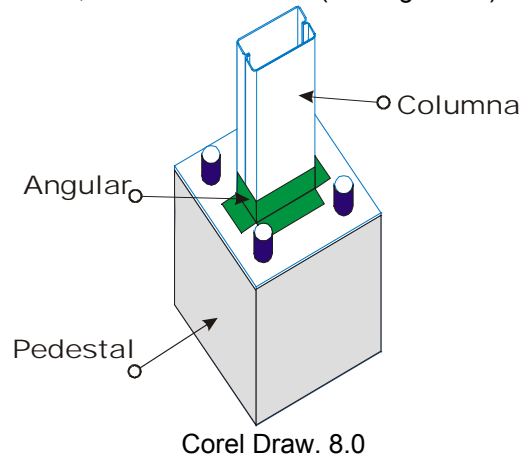
Figura 15: Detalle de Traslape

3. En la erección de armaduras se debe guardar todas las precauciones para evitar que ésta sufra deflexiones y pandeos. Estas deben ser sujetadas por sus puntos más altos.
4. Se debe poner mucho cuidado durante el trazado y armado a efecto de comprobar que se están colocando los elementos conforme a los planos y respetando las líneas de centro. Una inconsistencia en la colocación de los elementos con respecto a las líneas de centro provocará una variación en la aplicación de las cargas que puede generar comportamientos no previstos en el diseño.

Columnas:

1. Cuando se empleen elementos de concreto armado como cimiento de una columna a base de perfiles laminados en frío, es conveniente emplear placas metálicas que ayuden a la transmisión de cargas y momentos en un área uniforme. Dichas placas se sueldan a la columna y se anclan al elemento de concreto por medio de pernos, obteniéndose un apoyo simple empleando dos pernos, y un empotramiento con cuatro pernos. (Ver Figura 16).

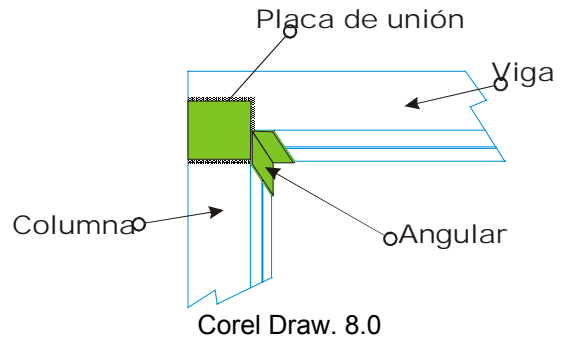
2. Para minimizar el efecto cortante en la base de las columnas, es buena práctica soldar un angular a todo el alrededor entre la placa y la columna, formando un anillo (Ver Figura 16).



Corel Draw. 8.0

Figura 16: Detalle de Unión Columna-Pedestal

3. El elemento a usar como columna debe tener total rectitud, hay que abstenerse de emplear elementos golpeados o pandeados, a fin de no variar las propiedades consideradas en el diseño.
4. La correcta verticalidad es un aspecto que debe ser contemplado en todo momento al erigir columnas. Para conseguir ésta verticalidad, se aploman las columnas por todas sus caras y se colocan al menos dos puntales en sentidos opuestos. Es conveniente corroborar el plomo antes de realizar el cordón final de la soldadura.
5. En las uniones entre vigas y columnas es buena práctica usar cabos de angulares que se suelden inicialmente a las columnas en el punto donde va la viga y que permitan que la viga se apoye fácilmente sobre esta y se pueda alinear y soldar sin ninguna incomodidad y con buena precisión. (Ver Figura 17).



Corel Draw. 8.0

Figura 17: Detalle de Unión Viga-Columna

6. Es recomendable arriostrar las columnas entre sí para evitar que en un movimiento sísmico o carga de viento el elemento tenga un comportamiento de forma aislada y distinta de las otras columnas a su alrededor. Los tensores deberán unir esquinas opuestas de un marco. La junta del tensor al marco se realiza mediante placas.

El arriostre entre marcos también puede ser provisto por una pared de mampostería o concreto.

7. Al erigir columnas esbeltas se deben tomar las previsiones necesarias ante el riesgo de una deformación por la acción del viento. En este caso es recomendable proporcionar los debidos arriostres temporales a la columna mediante pies de amigo por ejemplo.

8. Para evitar la entrada de agua y humedad en las columnas en proceso de construcción, se recomienda usar un cobertor temporal en su extremo superior (caso de cajones).

9. Las secciones en caja que queden abiertas en sus finales o remates, deberán taparse con una placa que evite la entrada de humedad que inicie el procesó de corrosión. (Ver Figura 18)

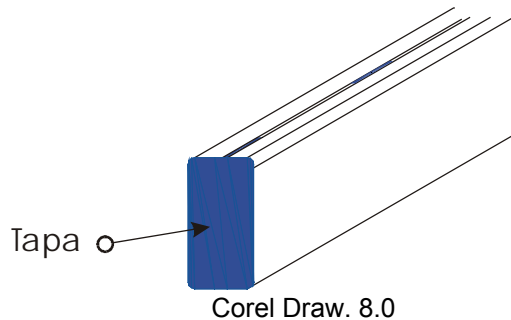
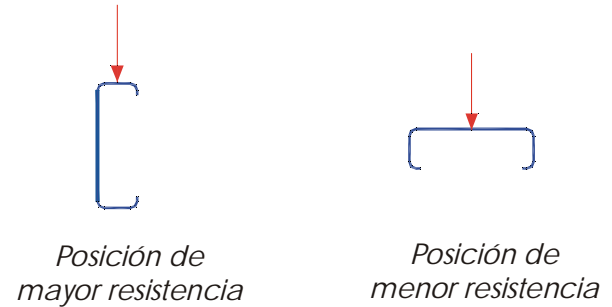


Figura 18: Detalle de Tapa

Vigas:

1. Por las propiedades mecánicas del perfil se conoce que su mayor inercia corresponde en el sentido de su altura, por lo que su uso lógico es de canto para obtener su mayor resistencia a la flexión. (Ver Figura 19)



Corel Draw. 8.0

Figura 19: Posiciones del Perfil

2. Para colocar vigas o elementos a alturas considerables sobre el piso, se recomienda en la medida de lo posible, usar andamios por seguridad de los operarios y para evitar sobrecargar la estructura apoyando escaleras a ésta.

3. Al momento de colocar las vigas en su posición final, es deseable manipularla dándole apoyo en los tercios medios de su longitud, a fin de evitar deformaciones perjudiciales. (Ver Figura 20)

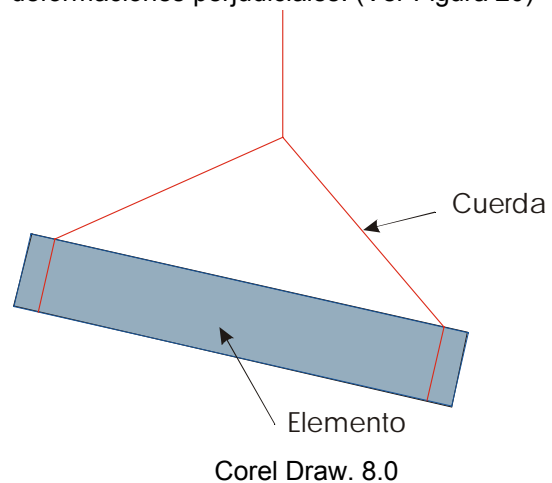


Figura 20: Manipulación de Elementos

4. En el caso de viguetas de entrepiso, estas deberán ser arriostradas mediante elementos que restrinjan el volcamiento de la sección. Lo anterior se logra colocando elementos en cruz entre viguetas, que vayan de la parte superior de una vigueta a la inferior de la adyacente. (Ver Figura 21)

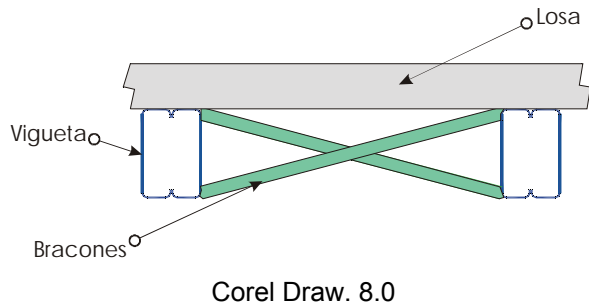


Figura 21: Detalle de Arriostre en Viguetas

5. En losas de piso apoyadas sobre viguetas de perfiles laminados en frío, para dar un anclaje entre la losa y la vigueta, deberán colocarse conectores de cortante; dichos conectores se obtienen soldando ganchos de varilla con un diámetro mínimo de 12,5mm y con un desarrollo no menor de 50,0 mm, que se amarran a la malla de refuerzo del entrepiso. La separación entre estos conectores se realizará según el diseño, pero en ningún caso es recomendable que exceda de un metro. (Ver Figura 22)

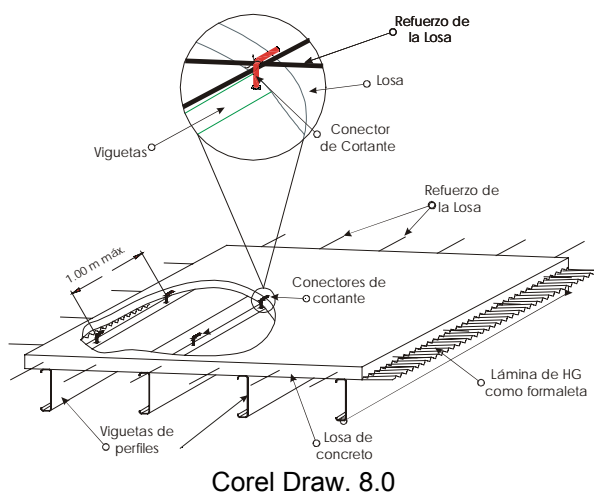


Figura 22: Detalle de Entrepiso y Conectores

6. En el caso de construcciones con paredes de mampostería o concreto en donde se especifiquen entrepisos con viguetas de perfiles laminados en frío; estas pueden ser apoyadas a la pared de varias formas:

a. En el proceso de armado de la viga de concreto que soportará el entrepiso, empotrar las viguetas a dicha viga y luego proceder al colado del concreto.

b. Dejar placas metálicas ancladas a la viga de soporte del entrepiso con sus respectivos ganchos de anclaje y luego soldar las viguetas a estas placas.

7. Al colar entrepisos de concreto sobre perfiles laminados en frío, debe tenerse el cuidado de no sobrecargar la estructura con carga temporal, que produzca deformaciones adicionales en las viguetas. Por lo tanto es buena práctica que el ingeniero a cargo de la obra planifique el grupo de trabajo máximo y las cargas del equipo que se utilizarán para el colado de la losa, así como el peso propio del concreto. Esto para evitar sorpresas desagradables por deformaciones en el entrepiso o falla de formaletas que podrán ocasionar pérdidas materiales y poner en peligro la vida de los trabajadores

Uniones Soldadas

1. Antes de comenzar a soldar el operario debe cuidar aspectos como la limpieza del metal base dejándolo libre de escoria, óxidos, pintura, grasa etc. así como la preparación de las piezas y corregir defectos que presenten.

2. Durante el proceso de soldadura se deben identificar errores como un arco largo o demasiado corto, una velocidad de avance lenta o rápida, una inclinación incorrecta del electrodo, un amperaje alto o bajo o un movimiento inapropiado del electrodo.

3. Al concluir una soldadura el operario puede determinar visualmente la calidad de ésta verificando factores como:

- dimensión del ensamble soldado y grado de distorsión.
- conformidad con los requerimientos especificados en cuanto a separación o distribución de los cordones; tamaño y continuidad de la soldadura.
- apariencia de la soldadura.
- detectar defectos en la soldadura como grietas, porosidad, cráteres sin rellenar, salpicaduras y socavación.

La inspección se debe efectuar después de haberse limpiado la soldadura y el metal base adyacente a la junta soldada.

4. Para reducir los efectos provocados por dilatación y contracción en una pieza que se este soldando hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No depositar metal en exceso.
- Preparar adecuadamente la junta.
- Utilizar el menor número de pasadas posibles.
- De ser posible aplicar soldaduras salteadas.
- Colocar la pieza ligeramente desalineada ya que al terminar el cordón la fuerza de contracción la alineara.
- Separar las piezas antes de soldarlas porque a medida que avance el cordón estas tienden a juntarse.
- También se pueden utilizar prensas manuales, soportes y armaduras que mantengan la pieza en forma rígida durante la soldadura.

5. Para realizar una junta soldada se debe considerar las condiciones de servicio a que va estar sometida la pieza (erosión o corrosión etc.), también hay que tener en cuenta como se aplicaran los esfuerzos durante el servicio ya sea en forma de tensión, compresión, cortante, o torsión.

6. El electrodo más apropiado para la soldadura de perfiles doblados en frío por sus propiedades de soldabilidad, posición, penetración y tipo de cordón obtenido es el E-6013. También puede emplearse el E-6012 aunque presenta pequeñas diferencias, como lo son en su revestimiento y en los tipos de corriente con que se puede emplear.

7. El empleo de un determinado diámetro de electrodo responde al espesor del perfil a soldar; nunca debe soldarse con un electrodo cuyo diámetro sea mayor al espesor del perfil.

8. Un factor de enorme importancia y que frecuentemente es descuidado se refiere a la regulación del equipo para soldadura. El amperaje a utilizar para soldar un perfil depende del diámetro del electrodo escogido, los fabricantes proporcionan la información respectiva a su electrodo, sin embargo en forma general se recomiendan el siguiente ámbito de amperaje para los diámetros mas comúnmente usados en nuestro medio.

Diámetro electrodo		Intensidad de corriente
(pulg)	(mm)	(Amperios)
5/64	2	25- 50
3/32	2.5	30- 80
1/8	3.2	80-120

Word XP

Por el estilo académico de este primer informe del proyecto, posiblemente por el momento, el acceso a las recomendaciones dadas por parte de un sector de la construcción metálica, conformado por maestros de obra y operarios, sea escaso y limitado. Sin embargo no debe perderse de vista que el presente proyecto constituye un paso inicial en la propagación de las correctas prácticas constructivas y que a la luz de este hecho, existe un objetivo que no es inherente al proyecto. Este objetivo extra informe es el de hacer del conocimiento de ese sector escasamente cubierto, las recomendaciones aquí formuladas, a través de un medio de fácil empleo como por ejemplo, una publicación tipo catálogo o manual que a futuro podría ser emitido por la Escuela de Ingeniería en Construcción o alguna empresa interesada.

Aclarando el alcance de ésta limitante, se puede entonces realizar un análisis de las recomendaciones, encontrándose que se enfocaron al igual que el libro de cálculo, en cuatro elementos básicos de una edificación común; largueros de techo, elementos de armaduras y cerchas, vigas y columnas.

Incorporan ilustraciones gráficas para ayudar a su compresión y correcta aplicación; previniendo y propiciando la corrección de errores que se dan comúnmente en la construcción de estructuras metálicas a base de perfiles doblados en frío.

En éstas recomendaciones se buscó la practicidad y sencillez a fin de hacerlas efectivas y de bajo costo de implementar.

Conclusiones

1. Se obtuvo un libro de cálculo que sirve para dimensionar elementos estructurales compuestos por perfiles doblados en frío; de manera ágil, eficiente y sencilla.
2. Es fundamental la importancia de las uniones soldadas, aspecto frecuentemente dejado de lado por diseñadores y constructores.
3. Las soluciones de construcción recomendadas con base al desarrollo de este trabajo, son fáciles de implementar, mejoran la calidad de las estructuras y no requieren de inversiones altas en recursos.
4. Se revisan las propiedades mecánicas requeridas para el diseño con perfiles doblados en frío, encontrándose que los de mayor espesor no cumplen con la condición de atiesamiento.
5. Las probetas de acero falladas en laboratorio arrojan valores para el esfuerzo de fluencia mayores al reportado en el catálogo del fabricante.
6. Se facilita el criterio requerido para el diseño y construcción de estructuras metálicas a base de perfiles doblados en frío.

Apéndices

Se incluyen tres apéndices, el primero corresponde a los formularios empleados para tabular los datos de las dimensiones de los perfiles, tomados en la planta de TUBOTICO; el segundo tabula los datos obtenidos en la prueba de tensión de las probetas de acero; por ultimo se adjunta una muestra de cálculo desarrollado en la hoja electrónica correspondiente al cálculo de un larguero, a manera de ilustración del método de cálculo realizado en el trabajo.

Toma de Datos de Dimensiones de Perfiles

Perfil Nominal 70x50x1,4 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	70	70	50	50	15	15,5	1,41
2	70	70	50	50	14,5	15	1,41
3	69,5	69,5	51	51	14,5	15	1,41
4	70	70	51	51	14,5	15	1,41
5	70	70	50	50	15	16	1,41

Perfil Nominal 70x50x1,58 Galvanizado

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	70	70	50,5	50,5	13,5	14	1,55
2	70	70	50,5	50,5	13,5	13,5	1,55
3	70,5	70,5	50,5	50,5	13	14	1,55
4	70	70	49,5	49,5	16,5	16,5	1,55
5	70	70	49,5	49,5	16,5	16,5	1,55

Perfil Nominal 75x50x1,58 Galvanizado

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	74	76	50,5	50,5	13,5	14	1,54
2	75	76	50,5	50,5	13,5	13,5	1,54
3	76	76	50,5	50,5	13	14	1,54
4	76	76	49,5	49,5	16,5	16,5	1,54
5							

Perfil Nominal 100x50x1,58 Galvanizado

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	100	100	49	49	15	16	1,55
2	100,5	100,5	50	50	15,5	17	1,55
3							
4							
5							

Perfil Nominal 100x50x1,40 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	100	100	49	49	16	16	1,41
2	100	100	49	49,5	16	16,5	1,41
3	100	100	49	49,5	15,5	16,5	1,41
4	100,5	100,5	49,5	50	15	16	1,41
5							

Excel XP

Perfil Nominal 100x50x2,37 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	101	101	50	50	15,5	15,5	2,46
2	101	101	50	50	15	16	2,46
3	100,5	100,5	50	50	17	17,5	2,46
4							
5							

Perfil Nominal 150x50x2,37 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	150	150	50	50	16	16,5	2,46
2	150,5	150,5	50,5	50,5	15,5	16,5	2,46
3	151	151	50	50	16	17	2,46
4	151	151	50	50	16	17	2,46
5	151	151	50	50	15	16	2,46

Perfil Nominal 150x50x3,17 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	152	152	51,5	51,5	16	17	3,19
2	152	152	51,5	51,5	16,5	16,5	3,19
3	152	152	51	51	15,5	16,5	3,19
4	152	152	51	51	16,5	16,5	3,19
5	152	152	51	51	16	17	3,19

Perfil Nominal 200x50x2,38 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	201,5	201,5	52	52	15,5	15,5	2,39
2	200,5	200,5	49,5	49,5	16,5	16,5	2,39
3							
4							
5							

Perfil Nominal 200x50x3,17 Acero Negro

Medición	Altura (H)		Lado (B)		Atiesador (d)		Espesor (t)
	H1(mm)	H2(mm)	B1(mm)	B2(mm)	d1(mm)	d2(mm)	t(mm)
1	202	202	51,5	51,5	15	17	3,19
2	201,5	201,5	51,5	51,5	15,5	15,5	3,19
3	201,5	201,5	51	51	15	15,5	3,19
4	202	202	51	51	16	17	3,19
5	202	202	51	51	16	17	3,19

Excel XP

Resultados Prueba de Tracción Probetas de Acero Galvanizado

Muestra #	Espesor mm	Ancho mm	Long. Inicial mm	Long. Final mm	Elongación mm	Esf. Máximo kg/cm ²	Esf. Fluencia kg/cm ²
A	1,22	12,35	50,5	59,8	9,3	3743,4	3162
B	1,22	12,5	50	59,1	9,1	3758,7	3039,6
C	1,21	12,5	50,6	60,25	9,65	3794,4	3100,8
D	1,21	12,3	50			0	3111

Resultados Prueba de Tracción Probetas de Acero Negro

Muestra #	Espesor mm	Ancho mm	Long. Inicial mm	Long. Final mm	Elongación mm	Esf. Máximo kg/cm ²	Esf. Fluencia kg/cm ²
E	1,55	12,45	50,8	60,62	9,82	3687,19	2805,54
F	1,53	12,5	50,9	60,62	9,72	3668,07	2574,64
*G	1,53	12,45	50,6	58,79	8,19	3658,67	0,00
H	1,51	12,45	50,2	62,49	12,29	3216,88	2227,72

* No se pudo determinar el punto de fluencia

Excel XP

DISEÑO DE LARGUEROS

1) INTRODUCCION DE PARAMETROS DE DISEÑO:

SITIO DE CONSTRUCCION: (CAMPO O CIUDAD)= CAMPO
 CIUDAD

TIPO DE EDIFICACION (EDIFICACIONES CERRADA DE PAREDES PLANAS: ECPP, EDIFICACIONES ABIERTAS: EA)= ECPP
 EA

ALTURA MAXIMA DEL TECHO(m)= 6,41m

DIMENSIONES DE LA CERCHA:
 ALTURA DE LA CERCHA(m)= 2,91m
 LONGITUD DE LA CERCHA(m)= 12,02m

NUMERO DE PENDIENTES, TIPO DE CUBIERTA, TIPO DE PERFIL Y OTROS:

PENDIENTES (1= Techo a una agua, 2= Techo a dos aguas)= 1 AGUA
 2 AGUAS

TIPO DE CUBIERTA= G-HG3.66-C26

TIPO DE PERFIL= TT-10X0.238 (HN)

UNIDADES DE PERFIL= 1 PERFIL
 2 PERFILES

Fy (kg/cm2)= 2310,00kg/cm2
 SEPARACION ENTRE LARGUEROS(m)= 1,10m
 LUZ ENTRE CERCHAS(m)= 5,00m
 CARGAS DEBIDAS A CIELOS, LUCES, ETC (kg/m2)= 10,00kg/m2

2) CALCULO DE CARGAS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO:

	kg/m ²	kg/m		
PESO (kg/m ²)=	4,24kg/m ²	4,66kg/m		
CARGA VIVA TECHOS (T: Sobrecargas mínimas CSCR)=	40,00kg/m ²	44,00kg/m		
Cielo, luces, etc.=	10,00kg/m ²	11,00kg/m		
PESO PERFIL RT=		7,88kg/m	PESO TOTAL (kg/m)=	67,54kg/m

3) CALCULO DE LA CARGA DE VIENTO (VER ARTICULOS XX.9 y XX.12 DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCION):

CALCULO DE LA PRESION BASICA DEL VIENTO (SEGÚN TABLA XX.9.1 Y TABLA XX.9.2):

INTERPOLACION:

ALTURA(H1)	1,00m
PRESIÓN(q1)	70,00kg/m ²
ALTURA(H2)	7,00m
PRESIÓN(q2)	95,00kg/m ²

PRESIÓN:
q(Adecuada)= 92,54kg/m²

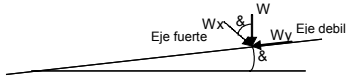
ANALISIS DEL FACTOR FORMA PARA TECHOS FRENTE AL VIENTO:

EDIFICACIONES ABIERTAS:

ANGULO DEL TECHO=	25,84GRAD
PRESIÓN=1,2*SEN(A)-0,40; C=	0,123
PRESIÓN DEBE SER=>0,8	RIGE C=0,80

Excel XP

4) CALCULO DE LA CARGA GRAVITACIONAL:



$W_x = W \cdot \cos \alpha = \text{PESO} \cdot (\cos \text{ DEL ANGULO DE TECHO}) = 60,79 \text{ kg/m}$
 $W_y = W \cdot \sin \alpha = \text{PESO} \cdot (\sin \text{ DEL ANGULO DE TECHO}) = 29,43 \text{ kg/m}$

5) CALCULO DE LA CARGA TOTAL APLICADA (GRAVITACIONAL MAS VIENTO):

$W_x \text{ TOTAL} = 142,23 \text{ kg/m}$
 $W_y \text{ TOTAL} = 29,43 \text{ kg/m}$

6) CALCULO DE LOS MOMENTOS GRAVITACIONALES APLICADOS:

EJE FUERTE:	$M_x = (W_x \cdot L^2) / 8$	189,97 kg*m	18.996,61 kg*cm
EJE DEBIL:	SIN APOYO EN LINEA DE CENTRO: $M_y = (W_y \cdot L^2) / 8$	91,98 kg*m	9.198,03 kg*cm
	SE SUPONE UN APOYO EN LINEA DE CENTRO: $M_y = (W_y \cdot L^2) / 32$	23,00 kg*m	2.299,51 kg*cm
	SE SUPONE APOYO EN TERCIOS MEDIOS: $M_y = (W_y \cdot L^2) / 90$	8,18 kg*m	817,60 kg*cm

7) ANALISIS DEL RT ESCOGIDO:

MODULO DE SECCION: (I/C)	1 RT	2 RT
$S_x = I_x / C$	0,00 cm ³	31,23 cm ³
$S_y1 = I_y / C1$	0,00 cm ³	15,58 cm ³
$S_y2 = I_y / C2$	0,00 cm ³	

8) CALCULO DE LOS ESFUERZOS PERMISIBLES EN FLEXION (Fbx y Fby):

$F_{bx} = 0,6 \cdot F_y = 1386,00 \text{ kg/cm}^2$
 $F_{by} = 0,6 \cdot F_y = 1386,00 \text{ kg/cm}^2$

9) INTERACCION CON CARGA GRAVITACIONAL: FORMULA DE BRESLER $(f_{bx}/F_{bx}) + (f_{by}/F_{by}) \leq 1.0$

	1 RT			2 RT		
	SIN APOYO EN LC	CON UN APOYO EN LC	CON APOYO TERCIOS MEDIOS	SIN APOYO EN LC	CON UN APOYO EN LC	CON APOYO TERCIOS MEDIOS
$f_{bx} = M_x / S_x$	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²	608,22 kg/cm ²	147,57 kg/cm ²	52,47 kg/cm ²
$f_{by1} = M_y / S_{y1}$	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²	590,29 kg/cm ²		
$f_{by2} = M_y / S_{y2}$	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²	0,00 kg/cm ²			
$(f_{bx}/F_{bx}) + (f_{by1}/F_{by})$	0,0000	0,0000	0,0000	0,8647	0,5453	0,4767
ENTONCES=	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
$(f_{bx}/F_{bx}) + (f_{by2}/F_{by})$	0,0000	0,0000	0,0000			
ENTONCES=	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			

10) CALCULO DE LOS MOMENTOS DEBIDOS A CARGA GRAVITACIONAL MAS CARGA DE VIENTO:

EJE FUERTE:	$M_x = (W_x \cdot L^2) / 8$	444,46 kg*m	44.445,57 kg*cm
-------------	-----------------------------	-------------	-----------------

Excel XP

11) INTERACCION CON CARGA GRAVITACIONAL MAS VIENTO: FORMULA DE BRESLER $(f_{bx}/F_{bx})+(f_{by}/F_{by})\leq 1.33$

	1 RT			2 RT		
	SIN APOYO EN LC	CON UN APOYO EN LC	CON APOYO TERCIOS MEDIOS	SIN APOYO EN LC	CON UN APOYO EN LC	CON APOYO TERCIOS MEDIOS
$f_{bx}=M_x/S_x$	0,00kg/cm2	0,00kg/cm2	0,00kg/cm2	1423,03kg/cm2	147,57kg/cm2	52,47kg/cm2
$f_{by1}=M_y/S_{y1}$	0,00kg/cm2	0,00kg/cm2	0,00kg/cm2	590,29kg/cm2		
$f_{by2}=M_y/S_{y2}$	0,00kg/cm2	0,00kg/cm2	0,00kg/cm2			
$(f_{bx}/F_{bx})+(f_{by1}/F_{by1})$	0,0000	0,0000	0,0000	1,4526	1,1332	1,0646
ENTONCES=	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
$(f_{bx}/F_{bx})+(f_{by2}/F_{by2})$	0,0000	0,0000	0,0000			
ENTONCES=	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			

12) CALCULO DE SOLDADURAS DE UNION:

SOLDADURAS DE UNION:

SE REQUIERE CALCULAR SOLDADURAS DE UNION

Dirección de la carga con respecto a la dirección del cordón de soldadura=

TRANSVERSAL
 LONGITUDINAL

Longitud del cordón de soldadura propuesta

:L1=	3,00cm	1,18 pulg
Espesor del elemento (espesor mayor): t =	2,38mm	0,09 pulg
Tipo de electrodo escogido =	E-6013	
Diámetro del electrodo =	3/32" (2,38mm)	0,09 pulg
Garganta efectiva: tw =	1,68mm	0,07 pulg
Labio del perfil : lb =	15,00mm	0,59 pulg
Esf. Permissible en tracción : Fu =	1.386,00Kg/cm2	19,71ksi
Fuerza de tensión permissible en la conexión :Tsp =	329,86kg	0,73kips
Cortante en el apoyo : V =	203,59kg	0,45kips
Longitud de la viga sin arriostrar : L=	500,00cm	196,85 pulg
Distancia vertical entre filas de soldadura : g =	100,00mm	3,94 pulg

Longitud de apoyo (longitud que se asienta la viga en el apoyo) : La=

	5,00cm	1,97 pulg
Intensidad de carga en la viga : q =	40,72kg/cm	0,23kips/pulg
Proyección del ala : wf =	50,00mm	1,97 pulg
Peralte del perfil o viga : d =	100,00mm	3,94 pulg
Inercia del perfil en el eje X : Ix =	78,08cm4	1,88 pulg4
Distancia del centro de cortante: m =	1,88cm	0,74 pulg
s max1 =	83,33cm	32,81 pulg
s max2 =	86,41cm	34,02 pulg

Usar la separación menor=

	70,00cm	27,56 pulg
Por sección 4,3(b) AISI		
Fuerza de tensión aplicada en la soldadura : T	295,84kg	0,65Kips

CUMPLE

13) CONCLUSIONES:

Emplear como larguero =

1 RT= 2TT-10X0.238 (HN) cada 1,1 m
2 RT=

Tensor = 1 TENSOR AL CENTRO

Reacción del larguero en la cercha = 203,59 Kg → Carga por larguero a emplear en el cálculo de la cercha o viga de soporte

Lámina a emplear en la cubierta = Lámina G-HG3.66-C26



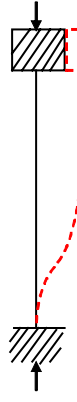
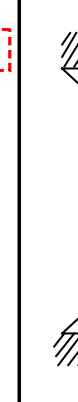

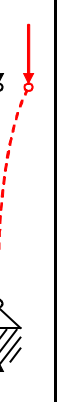




Soldadura de unión = Aplicar un cordón de soldadura de 2,38 mm con una longitud de 3 cm y con separación centro a centro de

Excel XP

Anexos

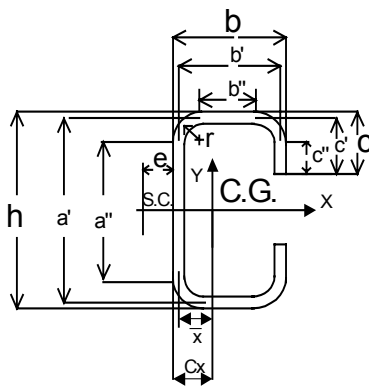
Se incluyen tres anexos. El número 1 corresponde a los factores de longitud efectiva k , fue tomado del Manual AISC; el 2 corresponde a la deducción de las fórmulas de las propiedades características de los perfiles, se tomó del Manual AISI, edición 1980. El anexo 3 se refiere a las tolerancias permitidas en las dimensiones de los perfiles para su proceso de manufactura, se tomó de la Norma JIS G 3350.

Anexo 1: Factores de Longitud Efectiva k para Columnas con Carga Axial y Varias Condiciones Idealizadas de Extremo

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
LA LINEA PUNTEADA MUESTRA EL PERFIL PANDEADO DE LA COLUMNA						
VALOR TEORICO DE K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
VALORES RECOMENDADOS DE K CUANDO SE APROXIMA A LAS CONDICIONES IDEALES	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00
SIMBOLOGIA DE LA CONDICION DE LOS EXTREMOS	 ROTACION IMPEDIDA TRASLACION IMPEDIDA		 ROTACION LIBRE TRASLACION IMPEDIDA		 ROTACION IMPEDIDA TRASLACION LIBRE	
			 ROTACION LIBRE TRASLACION LIBRE			

Excel XP

Anexo 2: Fórmulas para el Cálculo de las Características de Diseño Típicas de los Perfiles



Excel XP

$$a'' = h - (2 * r + t)$$

$$a' = h - t$$

$$b'' = b - \left[r + \left(\frac{t}{2} \right) + \alpha * \left(r + \left(\frac{t}{2} \right) \right) \right]$$

$$b' = b - \left[\left(\frac{t}{2} \right) + \alpha * \left(\frac{t}{2} \right) \right]$$

$$c'' = \alpha * \left[c - \left(r + \left(\frac{t}{2} \right) \right) \right]$$

$$c' = \alpha * \left[c - \left(\frac{t}{2} \right) \right]$$

$$u = 1.57 * r$$

h efectivo:

$$\text{si } \frac{wh}{t} < \frac{1430}{\sqrt{f}}$$

$$h_{ef} = wh$$

$$\text{si } \frac{wh}{t} > \frac{1430}{\sqrt{f}}$$

$$h_{ef} = \frac{2117}{\sqrt{f}} * \left(1 - \left(\frac{463}{\left(\frac{wh}{t} \right) * \sqrt{f}} \right) \right) * t$$

b efectivo:

$$\text{si } \frac{wh}{t} < \frac{1430}{\sqrt{f}}$$

$$h_{ef} = wh$$

si:

$$\frac{wb}{t} > \frac{1430}{\sqrt{f}}$$

$$b_{ef} = \frac{2117}{\sqrt{f}} * \left(1 - \left(\frac{463}{\left(\frac{wb}{t} \right) * \sqrt{f}} \right) \right) * t$$

$$wh = h - 2 * t - 2 * r$$

$$wb = b - 2 * t - 2 * r$$

$$A_{ef} = (h_{ef} + 2 * (b - 2 * r - 2 * t) + 2 * (c - r - t)) * t + \pi * (r + t)^2 - \pi * r^2$$

$$Q = \frac{A_{ef}}{A_{tot}}$$

En caso de que $h_{ef} = h$ y $b_{ef} = b$, $Q = 1.0$

$$\bar{X} = \frac{2 * t}{A} * \left(\left(b * \left(\frac{b}{2} \right) + r \right) + u * (0.363 * r) + \alpha * (u * (b + 1.637 * r) + c * (b + 2 * r)) \right)$$

$$Cx = \bar{X} + \frac{t}{2}$$

$$A_{tot} = t * (a + 2 * b + 2 * u + \alpha * (2 * c + 2 * u))$$

$$I_x = 2 * t * (0.0417 * a^3 + b * (a/2 + r)^2 + u * (a/2 + 0.637 * r)^2 + 0.149 * r^3 + \alpha * (0.0833 * c^3 + c/4 * (a - c)^2 + u * (a/2 + 0.637 * r)^2 + 0.149 * r^3))$$

$$I_y = 2 * t * (b * (b/2 + r)^2 + 0.0833 * b + 0.356 * r^3 + \alpha * (c(b + 2 * r)^2 + u * (b + 1.637 * r)^3 + 0.149 * r^3)) - Atot * (\bar{X})^2$$

$$S_x = \frac{I_x}{(h/2)}$$

$$S_y = \frac{I_y}{C_x}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{Atot}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{Atot}}$$

Anexo 3: Tolerancia en la Forma y las Dimensiones para Perfiles de Pequeño Espesor Doblados en Frío

Descripción y dimensión		Tolerancia
Altura (H)	Menos de 150 mm	±1, 5 mm
	Más de 150 y menos de 300 mm	±2, 0 mm
	Más de 300 mm	±3, 0 mm
Lado (A) o (B)		±1, 5 mm
Reborde (C)		±2, 0 mm.
Angulo formado por las partes planas adyacentes		±1. 5°
Longitud	Menos de 7 m	+40mm 0
	Más de 7 m	Por cada aumento de 1 m o fracción sobre el largo, se agregará a la tolerancia arriba mencionada 5 mm más.
Comba		Menos de 0, 2% de la longitud total
Espesor de la parte plana (t)	1,6mm	± 0,22 mm.
	2, 0 mm, 2,3 mm,	± 0,25 mm,
	2,8 mm	± 0,28 mm
	3,2mm.	± 0,30 mm
	4, 0 mm, 4,5 mm	± 0,45 mm.
	6,0 mm	± 0,60 mm

Word XP

Referencias Bibliográficas

- 1 **NORMA INDUSTRIAL JAPONESA. 1974.**
Asociación de Exportadores de Hierro y Acero de Japón.
- 2 Poveda, A. 1995. **CURSO DE ESTRUCTURAS DE ACERO.** Escuela de Ingeniería en Construcción (I.T.C.R.)
- 3 Catálogo de Productos **METALCO**
- 4 Mc Cormac, J. 1995. **DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS.**
Alfaomega Grupo
Editor, S.A. de C.V. P. 137 – 173
- 5 **COLD-FORMED STEEL DESIGN MANUAL.** 1980. American Iron and Steel Institute
- 6 Bowles, J. 1994. **DISEÑO DE ACERO ESTRUCTURAL.** Editorial Limusa, S.A. de C.V. P. 186
- 7 Gutiérrez, J. 1986. **CODIGO SISMICO DE COSTA RICA.**
Editorial Tecnológica de Costa Rica
8. Alfaro, D. 1999. **CODIGO URBANO.** Editorial Porvenir S.A.
9. **Catálogo TUBOTICO S.A.**
10. Fitzgerald, R. 1990. **MECANICA DE MATERIALES.** Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V.
11. **MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION** 1970
1973. American Institute of Steel Construction. P. 5-36, 5-138
12. **ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.**
METALS TEST METHODS AND ANALYTICAL PROCEDURES. Volume 03.01. 1995 American Society For Testing and Materials.
13. Laroche, J. 1999. **PROCESOS DE SOLDADURA.** I.T.C.R.)