

UNA ESCULTURA PARA LA ENSEÑANZA DE PROYECTOS DE ESTRUCTURAS DE ACERO

Quizá debemos aprender que lo imperfecto
es otra forma de la perfección:
la forma que la perfección asume
para poder ser amada.

Roberto Juarroz, 6^a. Poesía vertical

Arnaldo Gutiérrez
AISC No. 943730

CRONOLOGÍA

La escultura es una idea y diseño originales del Prof. Duane S. Ellifrit [Ellifrit, 1987], construida e instalada por primera vez en 1986, en el College of Engineering, University of Florida, Gainesville [U. de Florida, 1997]. Los planos fueron adquiridos por el Prof. Arnaldo Gutiérrez, de la Universidad Católica “Andrés Bello” en Enero de 1988; quien desde entonces empezó a promover su construcción. En 1997 el Prof. Gutiérrez modificó las conexiones de momento para adecuarlas a las enseñanzas dejadas por el terremoto de Northridge de 1994 [Gutierrez, 2000]. La escultura fue fabricada por primera vez en Venezuela por PLUSMETAL C.A en Octubre 2000 a solicitud de la Comisión Técnica Asesora de SIDETUR para ser expuesta en la ocasión del Seminario Técnico *Normas para el proyecto de Estructuras de Acero* del 21 de Noviembre de 2000. Posteriormente la Gerencia de Mercadeo y Ventas de SIDETUR - Antímamo decidió donarla a la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UCAB, donde fue instalada a la entrada del edificio de Laboratorios en Febrero 2001 y entregada oficialmente a las autoridades universitarias el 12 de Diciembre de 2001 [UCAB, 2002]. Bajo la tutoría del Prof. Gutiérrez, la Br. Paulina Faundes Pool presentó en enero 2002 como Trabajo Especial de Grado una guía para la enseñanza del diseño de conexiones aprovechando las existentes en la escultura [Faundes, 2002].

La Gerencia de Mercadeo y Ventas de SIDETUR tiene contemplado realizar más esculturas para donarla a otras Universidades, especialmente las del interior del país, previa modificación y sustitución de los perfiles importados por perfiles nacionales, de manera que *El muchacho*, como se conoce a esta escultura, seguirá siendo única.

MOTIVACIÓN

Durante muchos semestres ha sido una aspiración de la Cátedra de Proyecto de Estructuras de Acero familiarizar a los alumnos con las conexiones. No ha sido fácil porque las visitas a talleres y obras es difícil. Por razones de seguridad industrial y de logística, los talleres, y particularmente los montadores de estructuras de acero al igual que la mayoría de los constructores no simpatizan con la idea de que sus obras sean visitadas. Otra desventaja de las visitas es que no siempre es posible ver en una misma obra una amplia variedad de tipos de conexiones, por el contrario, hay mucha repetición de un mismo tipo.

La fabricación de algunas conexiones para mostrarlas en el salón de clases también presenta inconvenientes. Debido a sus dimensiones y peso no son fácilmente transportables y manejables, y su almacenamiento mientras no están en uso también es problemático.

Las nuevas soluciones virtuales disponibles en los programas de computadora son apropiadas pero después que se tiene alguna experiencia con conexiones reales. Por todos

estos motivos e inspirado en las esculturas artísticas de acero existentes en algunas ciudades norteamericanas, como por ejemplo las de Chagall y Picasso en Chicago, el Prof. Duane S. Ellifritt concibió esta escultura didáctica, cuyos principales propósitos son:

- Asistir a los profesores de Estructuras de Acero y Proyectos de Estructuras de Acero en sus clases de diseño.
- Ejemplificar los diferentes métodos para realizar las juntas, conexiones y nodos de una estructura de acero.
- Llamar la atención permanentemente a los futuros profesionales sobre las ventajas de la construcción en acero.

Además de la estructura, SIDETUR donó los planos de taller y diferentes vistas de la escultura, re-elaborados a partir de los planos originales y montados fotográficamente en una superficie resistente a la intemperie. De esta manera se cumple con el objetivo de introducir y facilitar al estudiante en el fascinante campo del detallado de estructuras de acero.

La escultura no pretende ilustrar todas las posibles conexiones, pero cubre un gran porcentaje de las conexiones típicas más usadas en la construcción de acero. Como parte del proceso educativo, las conexiones se han concebido para presentar varios conceptos o detalles, más que para presentar exhaustivamente un tipo de conexión. Por este mismo motivo, se han incorporado algunos detalles inapropiados o que pueden resolverse de manera más conveniente (contra-ejemplos). Como herramienta educativa, la escultura propicia la dinámica alumno – profesor para desarrollar la visión tridimensional de las estructuras, facilitar la comprensión de su ejecución y comportamiento. Se espera que el educando logre tener una mayor claridad para construir el modelo matemático de la estructura de acero así como su posterior representación y especificación en los planos de fabricación y montaje. Desde el punto de vista del diseño y detallado, la escultura es una herramienta valiosa en la formación de los futuros proyectistas de acero. También se deja a la creatividad del docente la explicación de los requisitos sismorresistentes de las conexiones según el Nivel de Diseño exigido por las normas COVENIN 1618:1998 *Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites* y 1756-2001 *Estructuras Sismorresistentes* [Arnal, 2001].

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La escultura fue fabricada según las Normas COVENIN 1618-98, AISC- LRFD 1999, ASTM A307 y AWS D1.1-1999.

Materiales: Perfiles HEA, IPE, UPE, L y planchas en calidad ASTM A36. Barra lisa como tensor, de calidad SAE 1010.

Pernos estructurales ASTM A307 de 1/2 pulg. con apriete de tuerca 1/3 de vuelta. Soldaduras de 4mm de espesor con electrodos E70XX

Tratamiento superficial según SSSP SP6 más una 1 capa de fondo anticorrosivo. Pintura de acabado de color por el Laboratorio de la UCAB.

Peso total estimado: 719 kgf.

Fundación: Losa concreto reforzado de 25 cm de espesor, de 1.10 m x 1.10 m ; con doble capa de barras de acero No. 4 cada 15 cm.

Pernos de anclajes: Cesta formada por 4 pernos A307 de diámetro 5/8 de pulg.

DESCRIPCIÓN DE LAS CONEXIONES Y SUS APLICACIONES

Como se observa en las isometrías y plantas anexas, la columna está constituida por los segmentos C1 y C2, a las cuales se fijan las vigas principales, designadas por la letra B y el correlativo según el sentido horario comenzando por la cara Oeste. La viga de celosía y el tensor se han designado con la letra T. Las vigas secundarias se designan con la letra B y el número correlativo de la viga a la cual se vinculan; conservando el sentido horario, el sufijo A o B indicará de que lado con respecto a la viga principal se encuentra.

Como se indica en la Tabla No. 1, en cada una de las caras de la columna se identifican los elementos (planchas, angulares, etc) que viene ya soldados en taller, y sobre los cuales se empernan o sueldan los miembros que se conectarán en la obra.

A continuación se describen cada una de las conexiones. Se indica la correspondencia con la clasificación de la Norma COVENIN 1618-98 en su Artículo 3.4: Tipo TR, conexiones totalmente restringidas; Tipo PR, conexiones parcialmente restringidas.

El docente tiene la oportunidad de discutir e ilustrar los medios de unión (soldadura y pernos). En la cabeza de los pernos se aprecian las marcas que facilitan su apriete. En esta escultura no hubo necesidad de disponer los pernos alternados para facilitar el uso de la llave de impacto, pero el docente advertirá de este cuidado a sus alumnos.

Viga B-1

Conexión TR Viga – columna

Se muestra una conexión Totalmente Restringida, TR, diseñada después de las enseñanzas dejadas por los terremotos de Northridge y Kobe. La plancha del alma soldada en taller al ala de la columna se emperna al alma de la viga debido a que existe espacio suficiente para apretar los pernos.

Viga B-1A

Conexión viga – viga PR.

La viga B1-1 A está entre las alas de la viga B1, y no es necesario recortar sus alas para ejecutar la conexión. Los pernos de la conexión están diseñados para la condición de corte simple.

Viga B1- B

Conexión PR viga B1-B al mismo nivel que la viga B1, por eso se recorta el ala superior. La conexión al alma de la viga B1 con dos ángulos empernados , mientras que al alma de la B1-B, están soldados.

TABLA No. 1 COMPONENTES DE LA ESCULTURA DIDÁCTICA

| MIEMBRO | PERFIL | UBICACIÓN | | DESCRIPCIÓN DE LA CONEXIÓN |
|---------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| C - 1 | HEA 320 | Columna 1er. nivel | | Diferenciar las piezas colocadas en taller de las montadas en obras. |
| C - 2 | HEA 300 | Columna 2do. nivel | | |
| B - 1 | IPE 300 | C-1 | Cara W | Viga - ala de columna; TR |
| B - 1 A | IPE 200 | | | Viga - viga ; centrada; PR |
| B - 1B | IPE 300 | | | Viga- viga; igual altura ; PR |
| B - 2 | IPE 300 | | Cara N | Viga - alma de columna; empernada; TR |
| B - 2 A | IPE 200 | | | Viga - viga; plancha extrema de corte; PR |
| B - 2B | IPE 200 | | | Viga - viga; alas inferiores al mismo nivel.; PR |
| B3 | IPE 300 | | Cara E | Viga - ala de columna; plancha extrema de momento; PR |
| B - 3A y B3-B | IPE 200 | | | Viga- Viga; ala superior al mismo nivel; PR |
| B - 4 | IPE 300 | | Cara S | Viga - alma de columna; soldada;TR |
| B - 4 A y B | UPN 180 | | | Vigas C - viga I;PR |
| B - 5 | IPE 200 | C-2 | Cara W | Viga - columna; conex. de asiento no rigidizado; PR |
| B - 5A | UPN 120 | | | Viga - Viga; esviada; PR |
| B - 6 | IPE 300 | | Cara N | Viga - alma de columna; conex. de asiento no rigidizado; PR |
| B - 6 A | IPE 200 | | | Viga- viga; centrada;PR |
| T - 6 | Barra diám. 5/8 pulg. | | | Tensor |
| T - 7 | Celosía | | Cara E | Cercha con pares de perfiles L dispuestos en TL |
| B - 8 | IPE 300 | | Cara S | Viga- alma de columna; PR |
| B - 8 A | IPE 200 | | | Viga -viga; centrada; PR |
| B - 9 | Z 160 x 7 | | En el tope | Fijación de correa; PR |
| Empalmes | Viga B-3 | | C-1 | Alas y alma |
| | Columna | C1 - C2 | Alma. Cara W Alas, Caras E y N- S | Empalme empernado;TR Empalme soldado; TR |
| Plancha Base | Columna C-1 | C1 | Cara E Cara W | Planchas rigidizadoras; TR Rigidizador triangular; TR |

Viga B-2

Conexión TR viga – columna empernada en obra

Se ilustra una conexión totalmente restringida ejecutada en obra. Las planchas entre las alas de las columnas, se sueldan en taller, y actúan como rigidizadores del alma de la columna y transmiten las fuerzas de las alas de la viga a la columna. Los pernos deben diseñarse para resistir todo el corte. En este ejemplo en particular, se observa la presencia de una plancha de relleno sobre el ala superior de la viga B2.

La plancha soldada al alma de la columna y empernada al alma de la viga, en cuanto al espacio requerido para apretar los pernos, en estos casos es preferible colocar los pernos lo más exteriormente posible a las alas de la columna.

Viga B2-A

Conexión PR viga – viga mediante plancha extrema

Se ilustra una conexión parcialmente restringida con plancha extrema de corte, solución muy usual en perfiles IPN y similares, de ala estrecha. La plancha soldada en taller es solo está unida al alma del perfil. El taller debe asegurar la perpendicularidad entre la plancha y el alma a la cual se suelda.

La conexión de la viga B2A al alma de la viga B2 mediante plancha extrema soldada al alma de la viga B2A. La plancha extrema está empernada a ambos lados del alma de la viga B2, pernos en corte simple. El ala inferior al mismo nivel del ala de la viga B2 y por eso está recortada en el ala inferior.

Viga B-2B

Conexión de la viga B2-B a la viga B2, ala inferior está recortada. Unión al alma de la viga B2 por plancha con pernos, en corte simple. La conexión del alma de la viga a la columna mediante una plancha es una de las conexiones Parcialmente Restringida, PR, más ampliamente difundida en los Estados Unidos por ser su facilidad de instalación, pero tiene la desventaja de que los pernos trabajan a corte simple, por lo que se limita su uso a condiciones de cargas livianas.

VIGA B-3

Conexión de la viga al ala de la columna mediante plancha extrema. Ver detalles en Figura No. 7.

Esta conexión Parcialmente Restringida (PR) se realiza mediante empernando en obra una plancha soldada en taller al extremo de la viga. Los pernos alrededor de las alas de la viga transmiten las fuerzas a la columna. En vigas muy altas, se necesita un número mayor de pernos. Para garantizar total contacto entre la plancha extrema y el ala de la columna, se pueden colocar pernos próximos al eje neutro de la viga.

Empalme de la Viga B-3

Conexión Totalmente Restringida. Las planchas y pernos en el empalme deben transferir todas las fuerzas de un ala a la otra. La plancha y pernos del alma colaboran en la resistencia a momento, pero su función principal es la transferencia de corte a través del empalme. En este ejemplo se han utilizado planchas sobre las caras externas de las alas, pero en algunos casos se requiere de planchas en las caras internas de las alas.

Viga B3-A

Conexión viga – viga Parcialmente Restringida

Se ilustra una conexión con dos angulares a ambos lados del alma. Conexión de sendas vigas a nivel del ala superior de la viga B3, por lo tanto sus respectivas alas superiores están destajadas. Los angulares están soldados al alma de las vigas B3A y empernados al alma de la viga B3, por lo tanto los pernos trabajan en corte doble.

Viga B-4

Conexión TR al alma de la columna

Las planchas entre las de la columna son soldadas en taller, de manera que la viga se desliza entre ellas y posteriormente se suelda. Para facilitar el montaje pueden separarse las planchas convenientemente y luego colocar planchas de relleno, tal como se ilustró en la viga B-2. Véase también las notas de B-2 en lo referente a la conexión al alma de la viga.

En el ala superior de la viga B4 y en el ala inferior de la viga B8 se observan 4 agujeros dispuestos para colocar la plancha que conecta a otro miembro. Por lo tanto a ambos lados del alma de las vigas se deben colocar rigidizadores. En este caso se ilustra en la viga B-4, colocando en la cara Este del alma un rigidizador de apoyo (solo por fines académicos) y en la cara Oeste un rigidizador intermedio (condición real).

Viga B4-A y B4- B

Conexión PR viga – viga.

Se ilustran conexiones típicas de los perfiles canal laminados. Se trata de la conexión de perfiles UPN a nivel del ala superior de la viga B-4, en sus variantes soldado y empernado. El ala superior de los perfiles canal está destajada, y la unión al alma de la viga B-4 es mediante un perfil angular .

Viga B-5

Conexión viga – columna PR mediante angulares de asiento.

Las conexiones de asiento utilizan pocos pernos de montaje y tienen la ventaja de ofrecer un apoyo a la viga durante su montaje. El angular debe fijarse previamente a la columna . En este ejemplo se fija mediante pernos pero puede ser fácilmente soldado en taller. Todo el corte es resistido por el angular de asiento, por eso es el más pesado, mientras que el angular del ala superior solo suministra estabilidad torsional. Los angulares de asiento se unen a las alas de las columnas como también a las almas de las columnas o vigas, Cuando las fuerzas cortantes son significativas, debe colocarse un rigidizador debajo del angular de asiento.

Viga B5-A

Conexión viga – viga no ortogonal.

Se ilustra la manera de realizar una conexión entre miembros no ortogonales. En este ejemplo, se ha soldado una plancha doblada al alma del perfil UPN 120 cuya conexión a las vigas B5 y B8 se realiza mediante pernos.

Viga B-6

Conexión PR de asiento viga – columna

Se muestra la conexión de asiento de una viga al alma de una columna. El angular de asiento unido al alma de la columna ha sido soldado en taller, de manera que la conexión a

la viga se emperna en la obra. La plancha soldada a la columna y empernada en el alma de la viga es para la estabilidad de la viga, porque todo el cortante está siendo resistido por el angular de asiento.

Vigas B6-A y B-8A

Conexión PR Viga – Viga

Conexión totalmente soldada. viga a viga mediante perfiles L El par de ángulos del alma de la viga se sueldan en taller, y posteriormente a la columna en la obra. Si bien es una conexión sumamente versátil, puede requerirse de un par de pernos de montaje o un angular de asiento provisional durante su montaje

T-6

Tensor sobre la viga B-6. Para ilustrar como se detalla.

T-7

Viga de celosía

La celosía conformada por perfiles L y sus respectivas cartelas se fabrican en taller, de manera que se empernan a las planchas, también soldadas en taller a la columna. Todos los miembros de las celosías son pares de perfiles L espalda a espalda, es decir, TL.

Viga B- 8

Conexión PR viga al alma de la columna.

Solución soldada de una conexión parcialmente restringida. La viga está conectada al alma de la columna mediante dos angulares soldados también a su alma.

Viga B-9

Conexión de una correa constituida por un perfil Z formado en frío.

C1 – PLACA BASE

Conexión TR (Cara Oeste)

En una conexión totalmente restringida en la base de una columna, es esencial que los pernos de anclaje impidan el movimiento de las alas. Cuando la soldadura no es suficiente para transmitir a la plancha base las fuerzas sobre las alas, se recurre a planchas o perfiles soldados a las alas y al alargamiento de los pernos de anclaje. Se incrementa la soldadura y se logra rigidizar la plancha base. La columna se nivela mediante tuercas de debajo de la plancha base, y posteriormente se coloca un cemento expansivo (“grout”).

Conexión TR (Cara Este)

Se ha añadido un rigidizador triangular para reducir la flexión en la placa base además de incrementar la longitud del filete de soldadura requerido por corte. No debe intersectarse los cordones de soldadura

EMPALMES DE COLUMNA

Empalme empernados (cara Oeste)

Las planchas se sueldan en taller en ambas alas de la columna inferior, para realizar en obra el empalme empernado sobre la columna superior. Cuando las columnas son de diferentes

dimensiones deben utilizarse planchas de ajuste o de relleno como se observa en este ejemplo.

Empalmes soldados (Caras Este y N-S)

Cuando el empalme se ejecuta por soldadura en la obra, la columna inferior trae soldada a de taller una plancha en el alma que facilite el montaje y alineamiento de la columna superior; por esto la plancha soldada viene con los agujeros necesarios para alojar a los pernos de montaje

AGRADECIMIENTOS

A SIDETUR: Gerencia de Mercadeo y Ventas - Antímamo, Comisión Técnica Asesora, Arq. Ricardo Fernández.

A PLUSMETAL: Sr. Manuel Pires, Ing. Félix Achabal

A LA UCAB: Profesores María Barreiro, Francisco Morera y su equipo de Laboratorios.

A la Ing. Paulina Faundes Pool, cuyas figuras ilustran el presente trabajo.

GLOSARIO

Se recomienda a los interesados revisar en el Apéndice G de la Norma COVENIN 1618 *Estructuras de Acero. Métodos de los Estados Límites*, los siguientes términos:

Empalmes, planchas de relleno, planchas de continuidad, cortes en las vigas, agujeros de ranura corta, larga, agrandados, de tamaño estándar, cartela o plancha de nodo, conexión de aplastamiento, de deslizamiento crítico; planchas o pletinas de ajuste (*shims*), plancha de cubierta (*cover plate*), plancha de respaldo (*backing plate*), plancha extrema (*end plate*), zona del panel (*panel zone*), junta (*joint*) soldadas o empernadas, Conexión (*connection*), nodo (*node, connection assembly*), plancha de relleno (*filler*), plancha de continuidad (*continuity plate*)

REFERENCIAS

Arnal, Eduardo, 2001. *Aplicación de la Norma COVENIN 1756-98 a las Edificaciones Sismo- resistentes Usuales*. Fondo Editorial SIDETUR. Caracas, Agosto, 103 págs.

Ellifritt, Duane S., 1987. *A steel sculpture that teaches*. **Modern Steel Construction**, No.1 January, págs 29-30. AISC, Chicago.

Faundes Pool, Paulina, 2002. *Diseño y Detallado de Conexiones para Edificaciones de Acero Estructural*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería , Universidad Católica “Andrés Bello”, Caracas, Enero. 75 págs y Anexo. Ver *Revista Tekhne*, No. 6, 2003, págs 5 –18, Universidad Católica “Andrés Bello”, Caracas.

Gutiérrez, Arnaldo, 2003. *Una escultura para la enseñanza de Proyectos de Estructuras de Acero*. *Revista Tekhne*, Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica “Andrés Bello”, No. 6, págs. 5 a 18, Caracas.

Gutiérrez, Arnaldo, 2000. *Diseño sismorresistente de estructuras de acero. Diseño de miembros y conexiones según la norma COVENIN 1618-98*. Seminario Técnico para el Proyecto de Estudios de Acero. SIDETUR, Caracas, Noviembre, 59 págs.

UCAB, 2002. *El arte como herramienta didáctica*. Nota de prensa en **El Ucabista**, Año. No. 7 No.52, pág.11. Universidad Católica “Andrés Bello”. Caracas, Enero.

University of Florida, 1997. *Connecting Steel Members. A Teaching Guide*. AISC Publication T460. AISC, Chicago, 47 págs.

AISC, 2002. *Modern Steel Construction*, June. Page 25.