

# Diseño, ejecución e inspección de soldaduras en edificaciones según la nueva norma COVENIN — MINDUR 1618-98

Trabajo aceptado por la American Welding Society, AWS, para su presentación en la II Conferencia y Exhibición del Caribe Soldadura 2000, Caracas 15-16 de marzo 2000.

**Arnaldo Gutiérrez**

## INTRODUCCIÓN

Los terremotos de Northridge 1994, en Estados Unidos, y el de Hyogo-Ken-Nambu (Kobe 1995), en Japón, han obligado a modificar radicalmente los criterios y prácticas de diseño, ejecución e inspección de las estructuras de acero, y muy particularmente el de sus juntas y conexiones soldadas.

La nueva Norma venezolana COVENIN — MINDUR **ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICACIONES. MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES**, declarada de obligatorio cumplimiento en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 36635 del 3 de Febrero de 1999, ha adoptado los criterios del American Institute of Steel Construction, AISC, que particularizan y complementan algunos de los requisitos de la Norma AWS D1.1 *Structural Welding Code — Steel*. Se alerta sobre las condiciones de inseguridad de las actuales edificaciones construidas con perfiles tubulares.

En este trabajo, dirigido principalmente a ingenieros civiles y mecánicos involucrados en el proyecto, la ejecución y la inspección de edificaciones civiles e instalaciones industriales, se presenta y discute la filosofía y los criterios fundamentales para las juntas y conexiones soldadas del sistema resistente a sismos, con énfasis en la preparación de las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura

(WPS) exigidas por el AISC y el AWS D1.1. al responsable del proyecto estructural.

## DISEÑO, EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURAS EN EDIFICACIONES SEGUN LA NUEVA NORMA COVENIN — MINDUR 1618-98

El propósito de este trabajo es informar a los profesionales de la soldadura de la existencia de requisitos especiales para el diseño, la ejecución y la inspección de soldaduras en edificaciones.

La Norma venezolana COVENIN --- MINDUR 1618-98 integra los requisitos especiales de diseño no contempladas en la *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural*

## TABLA NO. I DIFERENCIAS ENTRE LOS REQUISITOS AISC — COVENIN Y AWS

Articulado AWS D1.1-1996	Se sustituye por el Articulado COVENIN - MINDUR 1618-98
Sección 5.17 <i>Cortes en las vigas y agujeros de acceso</i>	Sección 21.7.3 <i>Empalmes en secciones Pesadas</i> Artículo 21.9 <i>Cortes en las vigas y agujeros de acceso</i>
Sección 2.4.1 .1 . <i>Cálculo</i> (garganta efectiva en soldaduras de filete)	Artículo 23.9 <i>Soldaduras de filete</i>
Tabla 2.3 <i>Tensiones Admisibles en conexiones soldadas no tubulares</i>	"Tabla 23.1 <i>Resistencia de las Soldaduras</i>
Sección 2.27.1 <i>Soldadura de ranura de penetración parcial</i>	Tablas DI <i>Parámetros de Diseño por Fatiga</i>
Subsección 2, Parte C <i>Requisitos específicos para conexiones de miembros no tubulares cíclicamente solicitados.</i>	Subsección 8.4.3.1 <i>Diseño por fatiga</i> Apéndice D <i>Diseño para cargas cíclicas (Fatiga)</i>
Sección 5.15.1.2 <i>Reparación</i>	Capítulo 33 <i>Fabricación</i>
Sección 5.15.4.3 <i>Requisitos de rugosidad</i>	
Sección 5.15.4.4 <i>Límites para la remoción de material por arco o entalladuras</i>	

Nota.- Estos cambios se mantienen en la propuesta de la nueva norma 1999 AISC-LRFD] Specification, de Octubre 1999.

*Steel Buildings* del American Institute of Steel Construction, AISC, y el *Structural Welding Code Steel* D1.1, del American Welding Society, AWS, por tratarse de documentos de aplicación general [SEAO, 1999].

Según la COVENIN — MINDUR 1618-98 se aplicarán todas las disposiciones del Código AWS

96, excepto el Capítulo D "Specific Requirements for Tubular Connections" porque escapa al alcance de la Norma, y las sustituciones que se indican en la Tabla No. 1. Véase el Anexo.

La Tabla No. 2 constituye una referencia rápida de las prácticas de soldadura en edificaciones.

**TABLA No. 2 REQUISITOS PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURAS SEGÚN LA COVENIN – MINDUR 1618-98**

TEMA y CONTENIDO	REFERENCIA
<b>MATERIALES</b>	
<b>Metal Base</b> Requisitos de tenacidad para perfiles laminados del Grupo 4 y 5 de la Norma ASTM A6/A6M y para planchas de espesor igual o mayor de 50 mm. Ensayo Charpy (Ensayo de flexión por choque): Temperatura de ensayo $T_{ev} = 21^{\circ} C$ ; Energía de rotura $J = 2.75 \text{ kgf.m}$	Artículo 5.3
<b>Metal de aporte</b> Especificaciones AWS A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.28 y A5.9. Ensayo Charpy (Ensayo de flexión por choque): Temperatura de ensayo $T_{\infty} = 21^{\circ} C$ ; Energía de rotura $J = 2.75 \text{ kgf.m}$	Artículo 5.9  Artículo 23.3
<b>GENERALIDADES</b>	
Simbología y notación normalizada	Artículo 6.7
Anotación para soldaduras	Artículo 6.6
<b>DISEÑO</b>	
Longitud de soldadura (Incide en el cálculo del área efectiva de Miembros en tracción).	Sección 7.3.6
Empalmes en vigas y columnas	Artículo 21.7
Combinación de pernos y soldaduras	Artículos 21.10 y 21.11
Soldadura de ranura	Artículo 23.8
Soldadura de filete	Artículo 23.9
Soldadura de tapón y canal	Artículo 23.10
Fatiga	Subsección 8.4.3.1 Apéndice D
Desgarramiento laminar	Sección 23.6.2
<b>FABRICACIÓN</b>	
Capítulo 33	
Corte mediante gas	Artículo 33.4
Agujeros de acceso para soldar	Artículo 21.9
Pre calentamiento	Artículo 23.5
Prácticas sanas: No cruzar cordones de soldadura	Sección 23.6.1
Desgarramiento laminar	Sección 23.6.2
Remates en soldaduras de filete	Subsección 23.9.2.6
Construcción soldada	Artículo 33.6
Pintura de superficies adyacentes a la soldadura	Artículo 34.6
<b>INSPECCIÓN</b>	
Aseguramiento de la Calidad, Incluye la Especificación del Proceso de Soldadura ( WPS).	Capítulo 32
<b>ESTRUCTURAS EXISTENTES</b>	
Capítulo 36	
Propiedades de los materiales (Incluye propiedades mecánicas, composición química, requisitos de tenacidad para el metal base y el metal de soldadura)	Artículo 36.3
Evaluación e Informe de Evaluación	Artículos 36.4 a 36.6

**TABLA No. 3 REQUISITOS SISMORRESISTENTES PARA EL DISEÑO,  
EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURAS SEGÚN LA  
NORMA VENEZOLANA COVENIN — MINDUR 1618-98**

TEMA y CONTENIDO	REFERENCIA
<b>MATERIALES</b>	
Metal Base	Sección 5.2.1
Requisitos de tenacidad para perfiles laminados del Grupo 3 de la Norma ASTM A6/A6M y para planchas de espesor igual o mayor de 38 mm.	Sección 5.2.3
Ensayo Charpy (Ensayo de flexión por choque): Temperatura de ensayo $T_{cv} = 21^{\circ} C$ ; Energía de rotura $J = 2.75 \text{ kgf.m}$	
<b>Metal de aporte</b>	Artículo 23.2
Requisitos de tenacidad : Ensayo Charpy Temperatura de ensayo $T_{cv} = - 29^{\circ} C$ ; Energía de rotura $J = 2.75 \text{ kgf.m}$	
<b>DISEÑO</b>	Capítulo 11 Capítulo 23
Zona del panel viga — columna	Sección 11.2.5
Planchas de continuidad	Sección 11.4.6
Planchas adosadas	Sección 11.4.5 (c)
<b>FABRICACIÓN</b>	
Eliminación planchas de respaldo y extensión, reparación de la soldadura	Sección 11.2.
<b>INSPECCIÓN</b>	
Aseguramiento de la Calidad. Incluye la Especificación del Proceso de Soldadura (WPS)	Capítulo 32
<b>ESTRUCTURAS EXISTENTES</b>	Capítulo 36
Propiedades de los materiales (Incluye propiedades mecánicas, composición química, requisitos de tenacidad para el metal base y el metal de soldadura)	Artículo 36.3
Evaluación	Artículos 36.4 y 36.5
Informe de evaluación	Artículo 36.6
<b>ENSAYOS</b>	Apéndice F
Soldaduras	F3.5
Informe del ensayo	F7
<u>Criterios de aceptación</u>	<u>F8</u>

Antes de los terremotos del 17 de Enero en Northridge (California, 1994) y de Hyogoken Nanbu (Kobe, Japón, 1995) los ingenieros suponían que las estructuras aporticadas de acero estructural eran uno de los sistemas estructurales más sismorresistentes, sin embargo las fracturas y daños observados han obligado a revisar esta premisa [FEMA, 1999]. El patrón de

falla más comúnmente observado en las conexiones viga — columna de más de 100 edificios en California, fue la fractura de la soldadura en el ala inferior de las vigas, se inicia en la plancha de respaldo y se propaga dentro de la soldadura, y en los casos más severos, la fractura alcanza el ala y el alma de las columnas de acero. Ver Figura No.1.

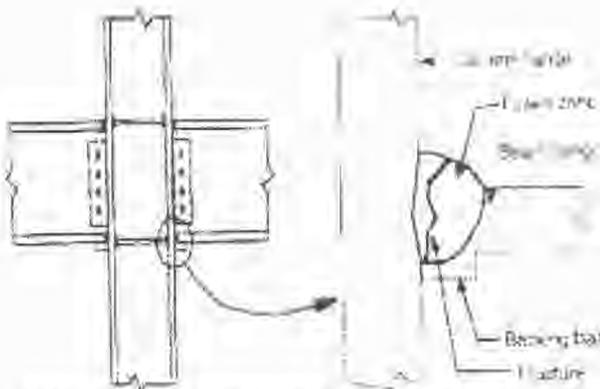


FIGURA No. 1 Patrón de falla frágil observada en edificios aporticados durante el terremoto de Northridge, 1994 [SAC, 1999].

Entre los factores que afectan el desempeño de las conexiones soldadas, se incluyen las siguientes [SEAOC, 1999]:

- Composición química y propiedades mecánicas de los materiales.
- Tensiones residuales generadas en la laminación y enderezamiento de piezas.
- Tensiones residuales generadas durante la soldadura y la fabricación.
- Propiedades de la zona afectada por el calor.
- Propiedades y calidades del metal de soldadura.
- Defectos de soldadura (incluye porosidad excesiva, discontinuidades).
- Geometría de la junta (estado de tensiones triaxiales en elementos restringidos después de incursionar en la rama de cedencia; las limitaciones en el acceso de la soldadura reduce la calidad de la soldadura).
- Gradiente de tensiones locales.
- Procedimientos de soldadura.
- Calidad de los soldadores.
- Condiciones en la obra (incluye humedad, ventilación, temperatura y la velocidad del viento).

- Calidad de los procedimientos de soldadura.
- Características del movimiento sísmico.

Para minimizar soldaduras frágiles en los próximos terremotos, además de los requisitos de la Tabla 2, establecidos por el AISC y el AWS, se aplicará la nueva serie de criterios y requisitos de la Tabla No. 3, orientados a conservar el comportamiento dúctil y la estabilidad del sistema estructural. Entre los nuevos criterios de diseño, se destaca el que las rótulas plásticas deben formarse fuera de la cara de la columna. Como estos nuevos criterios y requisitos reconocen que el sistema estructural puede tener significativas incursiones en el dominio inelástico de la respuesta, se aplicarán según el Nivel de Diseño en que se clasifique la estructura. El Nivel de Diseño, ND, implica el cumplimiento de requisitos normativos en el análisis, diseño, ejecución y mantenimiento del sistema resistente a sismos tipificado en la Norma COVENIN — MINDUR 1756-98 *Edificaciones Sismorresistentes*. La Tabla No. 4 permite definir el Nivel de Diseño en función de la zonificación sísmica y el uso de la edificación.

TABLA No. 4 NIVELES DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA VENEZOLANA COVENININ - MINDUR 1756-98

USO DE LA EDIFICACIÓN	ZONA SÍSMICA		
	Baja Sismicidad (Zonas 1 y 2)	Mediana Sismicidad (Zonas 3 y 4)	Alta Sismicidad (Zonas 5, 6 y 7)
Instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia (Grupo A). Edificaciones densamente ocupadas (Grupo B1)	ND2 ND3	ND3	ND3
Edificaciones públicas o privadas de baja ocupación (Grupo B2).	ND1* ND2 ND3	ND2* ND3	ND3 ND2**

Notas: \* Válido para edificaciones de hasta 10 pisos o 30 m de altura.  
\*\* Válido para edificaciones de hasta 2 pisos u 8 m de altura.

Se supone que las edificaciones proyectadas, construidas, inspeccionadas y mantenidas según los criterios y requisitos de las Normas COVENIN— MINDUR 1756-98 y 1618-98, se comportarán según lo indica la Tabla No.5

**TABLA No. 5 COMPORTAMIENTO  
SISMORRESISTENTE ESPERADO  
SEGÚN LA NORMA COVENIN - MINDUR 1756-98**

MOVIMIENTO SISMICO	DAÑOS	
	ESTRUCTURALES	NO ESTRUCTURALES
Menores o frecuentes	Ninguno	Despreciables. No afectan su operación y funcionamiento.
Moderados u ocasionales	Daños muy limitados	Daños moderados
De diseño (normativo), con una muy baja probabilidad de alcanzar el estado de agotamiento resistente en la estructura.	Reparables	Reparables
Especialmente severos. Exceden los de diseño normativo. Reducida probabilidad de derrumbe de la edificación.	La reparación puede ser inviable económicamente.	La reparación puede ser inviable económicamente.

### CONCLUSIONES

Se han presentado los fundamentos de los requisitos contemplados en la Norma venezolana obligatoria COVENIN — MINDUR 1618-98 para las soldaduras en edificaciones, con énfasis en las disposiciones especiales para las edificaciones localizadas en zonas sísmicas debido a que pueden tener incursiones importantes en el dominio inelástico de la respuesta estructural.

### RECOMENDACIONES

Recomendar al AWS la preparación de la versión en español del Código AWS D1.1 que facilite su divulgación en Latinoamérica, y en el caso particular venezolano, establecer un convenio con FONDONORMA para su adopción como Norma venezolana COVENIN de obligatorio cumplimiento. La versión en español deberá contener glosarios bilingües inglés —español, español —inglés, de los términos técnicos utilizados en la traducción, que además de ayudar a su correcta interpretación servirán para uniformar la terminología.

### REFERENCIAS

American Institute of Steel Construction, AISC; Steel Tube Institute of North America, STI; American Iron and Steel Institute, AISI; 1997. *Hollow Structural Sections. Connections Manual*. AISC.

American Welding Society, 1995. *Structural Welding Committee Position Statement on Northridge Earthquake Welding Issues*. November. AWS. 11 págs.

Collin, A.L. y Putkey, J.J., 1998. *Compatibility of Mixed Weld Metal*. Structural Steel Educational Council, March, 22 págs.

COVENIN — MINDUR, 1998a, *Edificaciones Sismorresistentes*. Norma Venezolana Obligatoria 1756-98, 117 págs.

COVENIN — MINDUR, 1998b. *Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites*. Norma Venezolana Obligatoria 1618-98, 565 págs.

Federal Emergency Management Agency, 1999. *SAC 99-01 interim Guidelines Advisory No.2, Supplement to FEMA 267*. FEMA 2670. June.

Fernández R., Iliana y Castañeda V., Jorge L., 1999. *Evaluación de Uniones Viga-Volumna Soldadas en Estructuras Tubulares Metálicas Aporticadas*. Universidad Metropolitana, UNIMET, Caracas, Marzo, 88 págs.

Gutiérrez, A, 1999. *Comunicación del 6 de Abril de 1999 a la Comisión de Normas y Director de Proyectos del MINDUR, al Comité CT3 Construcción, de COVENIN, y PDVSA, sobre la necesidad de revisar los proyectos construidos con perfiles tubulares*.

Gutiérrez, A, et al., 1982. *Manual de Proyectos de Estructuras de Acero*. Siderúrgica del Orinoco, C.A., SIDOR. Caracas.

International Conference of Building Officials, 1999. *Código Uniforme de la Edificación 1997*. Primera edición en español basada en la 4<sup>a</sup>. Edición en inglés. 2 Volúmenes. ICBO.

SAC, 1999. *Interim Guidelines Advisory No.2, Supplement to FEMA 267*. Federal Emergency Management Agency, Publication 267-B. June, 142 págs.

Seismology Committee Structural Engineers Association of California, SEAOC, 1999. *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary*. Seventh Edition. SEAOC, California, 440 págs.

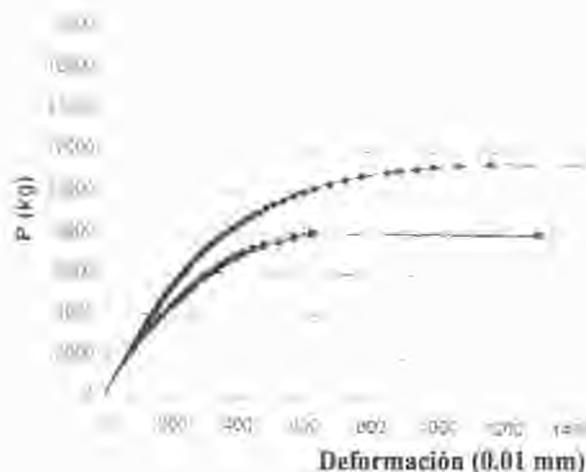
### ANEXO

Respecto a los perfiles tubulares, el autor ha venido alertando, tanto a los fabricantes como a los ingenieros de proyectos, de la urgente necesidad de revisar

tanto en su estructuración como en sus conexiones los proyectos y construcciones con perfiles tubulares, debido a que incumplen los requisitos de seguridad y de comportamiento sismorresistentes, como quedó evidenciado en ensayos recientemente realizados en la Universidad Católica "Andrés Bello" [Fernández y Castañeda, 1999; Gutiérrez, 1999]. Lo acertado del criterio de la Comisión de Normas de MINDUR de excluir los perfiles tubulares del alcance de las Normas 1618-82 y 1618-98 quedó demostrada con la publicación de la Norma y Manual de Perfiles Tubulares del AISC [AISC, 1997; Gutiérrez, A, 1982],

Las fotografías tomadas por este autor en los Laboratorios de la UCAB, un mes después de haber sido realizados, muestran además del patrón típico de falla frágil en las soldaduras, la corrosión acelerada por las tensiones inducidas durante los ensayos y la distorsión de la sección transversal

Del Trabajo Especial de Grado [Fernández y Castañeda, 1999] hemos seleccionado la Gráfica y Tabla 3.1 que evidencian la falta de rigidez ante las fuerzas laterales de las actuales construcciones con perfiles tubulares, condición sumamente peligrosa como se discute en las Conclusiones y Recomendaciones del citado Trabajo de Grado. En su oportunidad, este autor propuso a COVENIN a través de la Comisión de Normas del MINDUR adoptar como Norma COVENIN la metodología de ensayos propuesta por el Tutor del Trabajo, Prof. Ing. Mario Paparoni, la cual complementaría al **Apéndice F Calificación de los Ensayos Bajo Cargas Cíclicas de las Conexiones Viga — Columna y Viga Eslabón** de la Norma COVENIN — MINDUR 1618-98.



**GRÁFICO 3.1 DIAGRAMA TENSION – DEFORMACION TEÓRICO (ELASTO – PERFECTAMENTE PLÁSTICO) VERSUS CURVAS REALES OBTENIDAS DE ENSAYOS (Fernández y Castañeda, 1999).**

**Tabla 3.1 CÁLCULO DE RIGIDECES RELATIVAS (Fernández y Castañeda, 1999)**

110x110+110x110	Esperado	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Deformación	272	241	332	387	320
Rigidez relativa	57.31	25.87	18.78	16.11	20.25
Eficiencia	100%	45.14%	32.77%	18.11%	35.34%



Detalle de la fractura frágil de la conexión tubular soldada. Obsérvese la intensa corrosión en la zona soldada y de máximas tensiones.



Detalles de la fractura frágil de la conexión tubular soldada, la distorsión de la sección transversal y de la corrosión en la zona de máximas tensiones.